

Iwona DESKA¹ i Anna SZEWCZYK¹

WPLYW WŁAŚCIWOŚCI GRUNTÓW NIEHOMOGENNYCH NA RÓŻNICĘ MIĘDZY MIĄŻSZOŚCIĄ POZORNĄ I RZECZYWISTĄ LNAPL NA ZWIERCIADLE WODY PODZIEMNEJ

INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF INHOMOGENEOUS SOILS ON THE DIFFERENCE BETWEEN APPARENT AND ACTUAL THICKNESS OF LNAPL ON THE GROUNDWATER TABLE

Abstrakt: W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań prowadzonych z zastosowaniem gruntów niehomogennych. Badania miały na celu sprawdzenie, czy w przypadku tego typu gruntów wartość współczynnika filtracji ma wpływ na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą LNAPL. Przeanalizowano także znaczenie innych parametrów, takich jak średnica miarodajna i współczynnik nierównomierności uziarnienia. Na podstawie wyników badań laboratoryjnych ustalono, że współczynnik filtracji gruntu może mieć wpływ na obserwowaną różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą LNAPL w przypadku gruntów niehomogennych, zbliżonych do rzeczywistych. Zauważono również, że iloczyn współczynnika filtracji gruntu i współczynnika nierównomierności uziarnienia może odgrywać znaczącą rolę w modelu zależności między miąższością pozorną i rzeczywistą LNAPL na zwierciadle wody podziemnej.

Słowa kluczowe: LNAPL, miąższość rzeczywista, miąższość pozorną, współczynnik filtracji, współczynnik nierównomierności uziarnienia, średnica miarodajna

Lekkie ciecze organiczne niemieszące się z wodą (LNAPL), dostające się do środowiska gruntowo-wodnego, m.in. w wyniku wycieków z podziemnych zbiorników magazynujących paliwo lub na skutek awarii i nieszczelności rurociągów, stanowią bardzo poważne zagrożenie dla gruntów i wód podziemnych [1-3]. W przypadku występowania warstwy LNAPL na zwierciadle wody podziemnej wstępny etap remediacji powinien polegać na jej szczypaniu [1, 2, 4]. W celu prawidłowego zaprojektowania szczypania niezbędne jest ustalenie rzeczywistej miąższości LNAPL na zwierciadle wody podziemnej [1]. Jednak miąższość zmierzona w studni obserwacyjnej (miąższość pozorną) jest zawsze większa od miąższości rzeczywistej, a różnica między nimi zależy zarówno od właściwości gruntu, jak i parametrów LNAPL [5-8]. Istnieje kilka metod ustalania rzeczywistej miąższości LNAPL na podstawie miąższości pozornej, jednak wyniki uzyskiwane przy ich zastosowaniu często są bardzo rozbieżne i nieprecyzyjne [5, 7, 9, 10].

Wyniki badań [7, 8, 10], prowadzonych wcześniej z zastosowaniem gruntów homogennych, wskazują, że prawidłowo opracowany model zależności między miąższością pozorną i rzeczywistą musi uwzględniać zarówno parametry gruntu, jak i właściwości LNAPL. Ustalono, że kluczowym parametrem gruntu może być współczynnik filtracji, natomiast kluczowymi parametrami LNAPL są gęstość i współczynnik lepkości dynamicznej [7, 8, 10].

Celem badań opisanych w niniejszym artykule jest sprawdzenie, czy współczynnik filtracji może również odegrać znaczącą rolę w modelu zależności między miąższościami

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60A, 42-200 Częstochowa, tel. 34 325 09 17, email: ideska@is.pcz.czest.pl

w przypadku gruntów niehomogennych. Przeanalizowano również wpływ średnicy miarodajnej i współczynnika nierównomierności uziarnienia na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą.

Metodyka badań

Badania zależności między miąższością pozorną i rzeczywistą LNAPL były prowadzone w kolumnach z plexiglasu o średnicy wewnętrznej 10 cm z wbudowanymi studniami obserwacyjnymi o przekroju półkolistym. W każdej kolumnie badawczej umieszczono także kolumnę wyrównawczą, posiadającą perforowane dno, której celem było wyrównywanie poziomów płynów w układzie. Badania prowadzono z użyciem 4-modelowych gruntów piaszczystych (tab. 1) i jednej LNAPL (tab. 2).

Właściwości gruntów użytych w badaniach

Tabela 1

Properties of soils used in the experiments

Table 1

Grunt	Średnica miarodajna d_{10} [mm]	Współczynnik filtracji w temperaturze 10°C k_{10} [m/d]	Współczynnik nierównomierności uziarnienia U [-]
1	0,19	1,123	2,53
2	0,17	1,037	2,18
3	0,33	3,456	1,64
4	0,18	0,778	1,56

Właściwości LNAPL użytych w badaniach (w temperaturze 20°C)

Tabela 2

Properties of LNAPLs used in the experiments (at temperature of 20°C)

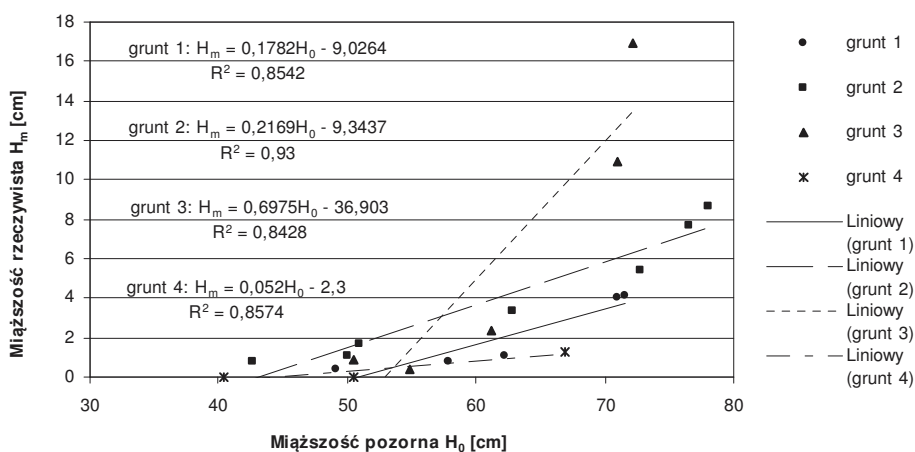
Table 2

Rodzaj LNAPL	Gęstość ρ_o [kg/m ³]	Ciężar właściwy γ_o [N/m ³]	Lepkość dynamiczna η_o [kg/m·s]
Olej rzepakowy	918	9005,58	0,07

Każda kolumna badawcza została wypełniona modelowym gruntem. W górnej części gruntu, nad planowaną strefą wzniosu kapilarnego wody umieszczono pionowo perforowaną rurkę z plexiglasu, służącą do iniekcji LNAPL do gruntu. Kolumnę z gruntem napełniono wodą poprzez kolumnę wyrównawczą do takiej wysokości, by strefa wzniosu kapilarnego znalazła się poniżej wylotu rurki. Po około 3 dniach, nad strefę wzniosu kapilarnego, zatłoczono pierwszą porcję LNAPL (około 100 cm³). Po upływie 3-4 dni zmierzono miąższość pozorną oraz rzeczywistą przy danej ilości LNAPL wprowadzonej do układu. Jako miąższość rzeczywistą traktowano odległość między dolną granicą występowania LNAPL w gruncie a swobodnym zwierciadłem LNAPL w studni. Iniekcję LNAPL i odczytywanie miąższości pozornej i rzeczywistej powtarzano od kilku do kilkunastu razy. Górną część kolumny badawczej zabezpieczono pokrywą w celu zmniejszenia parowania płynów. Badania były prowadzone w temperaturze 20°C.

Wyniki badań i ich omówienie

Zależności między miąższością pozorną i rzeczywistą dla gruntów 1-4, ustalone na podstawie badań laboratoryjnych, przedstawiono na rysunku 1 w postaci wykresów punktowych. Dla każdego wykresu poprowadzono liniową linię trendu, opisaną równaniem regresji liniowej. W każdym przypadku uzyskano stosunkowo duże wartości współczynników determinacji ($R^2 = 0,8428 \div 0,93$).



Rys. 1. Zależność między miąższością pozorną i rzeczywistą dla gruntów 1-4

Fig. 1. The relationships between apparent and actual thicknesses for soils 1-4

Na podstawie otrzymanych równań dla każdego gruntu obliczono, ile wynosi miąższość pozorną dla arbitralnie przyjętej wartości miąższości rzeczywistej równej 5 cm. Następnie ustalono wartości różnic między miąższościami, odpowiadających przyjętej miąższości rzeczywistej równej 5 cm (tab. 3).

Tabela 3

Wartości różnic między miąższościami odpowiadające miąższości rzeczywistej równej 5 cm dla gruntów 1-4

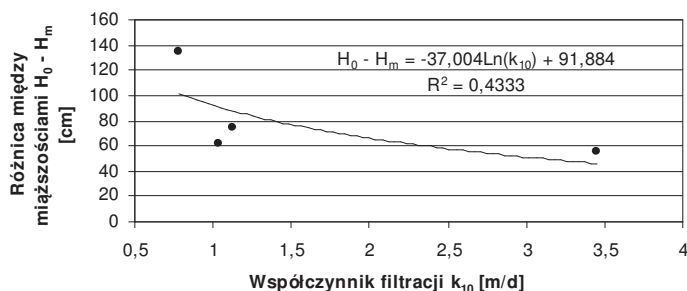
Table 3

Differences between apparent and actual LNAPL thicknesses at actual thicknesses of 5 cm for soils 1-4

Grunt	Miąższość rzeczywista H_m [cm]	Miąższość pozorna H_0 [cm]	Różnica między miąższościami $H_0 - H_m$ [cm]
1	5	78,71	73,71
2	5	66,13	61,13
3	5	60,08	55,08
4	5	140,38	135,38

Na rysunkach 2-5 przedstawiono zależność różnicy między miąższościami od wybranych właściwości gruntów 1-4. Wykres przedstawiony na rysunku 2 pokazuje wpływ współczynnika filtracji względem wody o temperaturze 10°C na różnicę między miąższościami. Wykres opisano równaniem o charakterze logarytmicznym. Uzyskana wartość współczynnika determinacji, wynosząca 0,4333, wskazuje, że zmiany

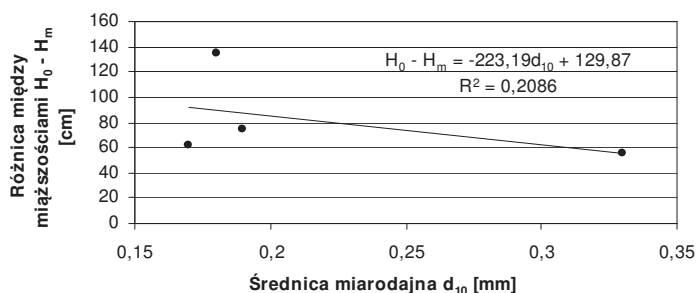
współczynnika filtracji w sposób umiarkowany wpływają na zmiany różnicy między miąższościami.



Rys. 2. Wpływ współczynnika filtracji na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą dla gruntów 1-4

Fig. 2. The influence of the hydraulic conductivity on the difference between apparent and actual thicknesses for soils 1-4

Na rysunku 3 przedstawiono wpływ wartości średnicy miarodajnej d_{10} na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą. W tym przypadku wykres opisano równaniem regresji liniowej, a uzyskana wartość współczynnika determinacji, wynosząca 0,2086, informuje o małym wpływie zmian średnicy miarodajnej na różnicę między miąższościami.

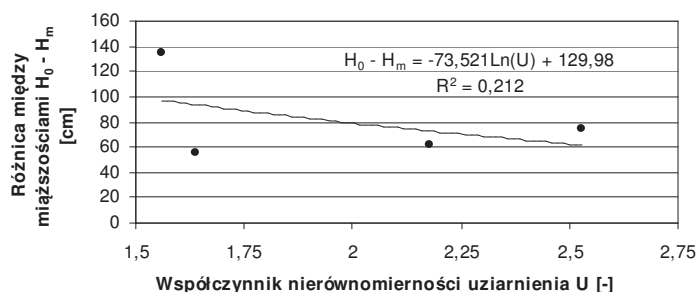


Rys. 3. Wpływ średnicy miarodajnej d_{10} na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą dla gruntów 1-4

Fig. 3. The influence of the effective grain size on the difference between apparent and actual thicknesses for soils 1-4

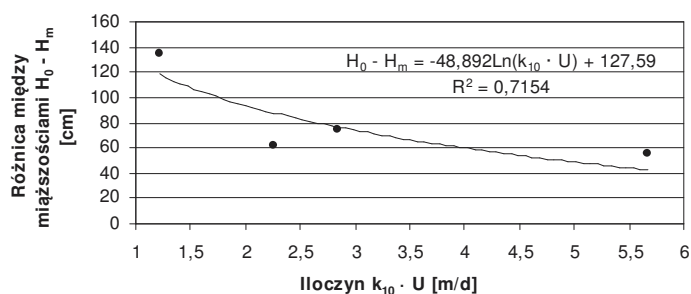
Rysunek 4 przedstawia wpływ współczynnika nierównomierności uziarnienia na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą. Wykres został opisany funkcją logarymiczną, ale wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,212$) również wskazuje na istnienie niewielkiego wpływu współczynnika U na różnicę między miąższościami.

Na rysunku 5 pokazano wpływ iloczynu współczynnika filtracji k_{10} i współczynnika nierównomierności uziarnienia na różnicę między miąższościami. Zależność tę opisano równaniem logarymicznym, a duża wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,7154$) w tym przypadku świadczy o znaczącym wpływie iloczynu $k_{10} \cdot U$ na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą.



Rys. 4. Wpływ współczynnika nierównomierności uziarnienia na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą dla gruntów 1-4

Fig. 4. The influence of the coefficient of grain non-uniformity on the difference between apparent and actual thicknesses for soils 1-4



Rys. 5. Wpływ iloczynu współczynnika filtracji i współczynnika nierównomierności uziarnienia na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą dla gruntów 1-4

Fig. 5. The influence of the product of the hydraulic conductivity and the coefficient of grain non-uniformity on the difference between apparent and actual thicknesses for soils 1-4

Wnioski

1. Na podstawie wyników badań prowadzonych z zastosowaniem gruntów niehomogennych można stwierdzić, że współczynnik filtracji wpłynął na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą, ale nie jest jedynym parametrem decydującym o tej różnicy.
2. Zaobserwowano nieznaczny spadek różnicy między miąższościami wraz ze wzrostem średnicy miarodajnej gruntu. Jednak wartości współczynnika determinacji uzyskane w tym przypadku wskazują, że parametr ten nie może odegrać znaczącej roli w modelu zależności między miąższościami.
3. Wyniki badań wskazały, że współczynnik nierównomierności uziarnienia nie wpłynął znacząco na różnicę między miąższościami. Na podstawie poprowadzonej prostoliniowej linii trendu zaobserwowano nieznaczny spadek różnicy między miąższościami wraz ze wzrostem wartości tego parametru.
4. Wyniki badań wskazują, że iloczyn współczynnika filtracji i nierównomierności uziarnienia gruntu w znaczący sposób wpłynął na różnicę między miąższościami.

Parametr ten może odegrać znaczącą rolę w modelu opisującym zależność między miąższością pozorną i rzeczywistą w gruntach niehomogennych.

Podziękowania

Praca została sfinansowana w ramach badań statutowych BS-401/301/10.

Literatura

- [1] Cooper G.S., Peralta R.C. i Kaluarachchi J.J.: *Optimizing separate phase light hydrocarbon recovery from contaminated unconfined aquifers*. Adv. Water Resour., 1998, **21**, 339-350.
- [2] Cooper G.S., Peralta R.C. i Kaluarachchi J.J.: *Stepwise pumping approach to improve free phase light hydrocarbon recovery from unconfined aquifer*. J. Contam. Hydrol., 1995, **18**, 141-159.
- [3] Newell C.J., Acree S.D., Ross R.R. i Huling S.G.: Light Non-aqueous Phase Liquids. Ground Water Issue, EPA/540/S-95/500, 1995.
- [4] Adamek M., Koślacz R. i Zieliński W.: Wskazówki metodyczne wykonywania rekultywacji gruntów i wód podziemnych zanieczyszczonych produktami naftowymi. MOŚZNiL, Dep. Geologii, Multimedia s.c., Wrocław 1995.
- [5] Lenhard R.J. i Parker J.C.: *Estimation of free hydrocarbon volume from fluid levels in monitoring wells*. Ground Water, 1990, **28**(1), 57-67.
- [6] Deska I. i Malina G.: *Influence of fluid properties on difference between actual and apparent LNAPL thicknesses on groundwater table*. Proc. 4th Int. Conf. „Oils and Environment. AUZO 2005”. Gdańsk 2005, 120-125.
- [7] Deska I.: Ustalanie rzeczywistej miąższości lekkich cieczy organicznych na zwierciadle wody podziemnej. Praca doktorska WliOŚ, Polit. Częstochowska, Częstochowa 2008 (niepublikowane).
- [8] Deska I. i Malina G.: *Model empiryczny wyznaczania rzeczywistej miąższości lekkich cieczy organicznych (LNAPL) na zwierciadle wody podziemnej*. XIII Konferencja Naukowo-Szkoleniowa nt. Rekultywacja i Rewitalizacja Terenów Zdegradowanych, Puck 25-28 kwietnia 2007, 189-200.
- [9] EPA: How to effectively recover free product at leaking underground storage tank sites: A guide for state regulators. (EPA 510-R-96-001), 1996.
- [10] Deska I. i Malina G.: *Laboratory verification of models for estimation of LNAPL actual thickness on the groundwater table*. Proc. 14th Central European Conference ECOpole'05. Duszniki Zdrój - Hradec Kralove 2005, 55-59.

INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF INHOMOGENEOUS SOILS ON THE DIFFERENCE BETWEEN APPARENT AND ACTUAL THICKNESS OF LNAPL ON THE GROUNDWATER TABLE

Institute of Environmental Engineering, Czestochowa University of Technology

Abstract: The paper presents the results of laboratory experiments conducted with use of the inhomogeneous soils. The focus of these experiments was to investigate if the hydraulic conductivity plays an important role in the case of such soils. Another aim of the research was to investigate the influence of the coefficient of graining non-uniformity and the effective grain size on the difference between apparent and actual thicknesses. The obtained results indicate that the hydraulic conductivity influences the difference between apparent and actual thickness of LNAPL in the case of inhomogeneous soils. The results confirmed that the product of the hydraulic conductivity of soil and the coefficient of graining non-uniformity can play an important role in the model describing the relationship between apparent and actual thickness of LNAPL on the groundwater table.

Keywords: LNAPL, actual thickness, apparent thickness, hydraulic conductivity, coefficient of graining non-uniformity, effective grain size