

Iwona DESKA¹ i Maciej MROWIEC¹

WPLYW WAHAŃ ZWIERCIADŁA WODY NA NASYCENIE OŚRODKA POROWATEGO LEKKIMI CIECZAMI ORGANICZNYMI

INFLUENCE OF THE WATER TABLE FLUCTUATIONS ON THE POROUS MEDIUM SATURATION WITH ORGANIC LIQUIDS

Abstrakt: Celem badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy było ustalenie, jak zachowuje się warstwa LNAPL (lekkiej cieczy organicznej niemieszającej się z wodą) na zwierciadle wody podziemnej w ośrodku porowatym, w którym wcześniej doszło do zmian wysokości hydraulicznej (obniżenia, a następnie wzniosu zwierciadła wody). Otrzymane wyniki porównano z wynikami uzyskanymi w przypadku ośrodka porowatego, w którym nie nastąpiły wahania poziomu zwierciadła wody podziemnej. Wyniki wskazują, że zmiany wysokości hydraulicznej w znacznym stopniu wpływają na stopień nasycenia górnej części strefy saturacji płynami zwilżającymi i niezwilżającymi (wodą i powietrzem). Obniżenie, a następnie wznios poziomu zwierciadła wody podziemnej, poprzedzające wyciek LNAPL, wpływają na zwiększenie zawartości powietrza w porach gruntu, co utrudnia infiltrację LNAPL i przyczynia się do zmniejszenia stopnia nasycenia górnej części strefy saturacji lekką cieczą organiczną. Zmiany wysokości hydraulicznej mające miejsce jeszcze przed wystąpieniem wycieku lekkiej cieczy organicznej mogą komplikować prawidłowe oszacowanie miąższości warstwy LNAPL oraz objętości lekkiej cieczy organicznej w ośrodku wodno-gruntowym.

Słowa kluczowe: LNAPL, miąższość rzeczywista, miąższość pozorna, wysokość hydrauliczna, nasycenie

Bardzo poważnym zagrożeniem dla zasobów wód podziemnych są lekkie ciecze organiczne niemieszające się z wodą (LNAPL), dostające się do środowiska w wyniku wycieków z uszkodzonych, nieszczelnych podziemnych zbiorników magazynujących paliwa oraz na skutek awarii rurociągów transportujących paliwa, wypadków z udziałem cystern itp. [1]. Źródło zanieczyszczenia substancjami ropopochodnymi (SR) mogą także stanowić m.in. nieprawidłowo zabezpieczone składowiska odpadów (odcieki z tych składowisk) [2] oraz eksploatacja złóż paliw kopalnych [3].

Substancje ropopochodne w fazie ciekłej - zarówno jako wolny produkt (postać mobilna), jak i faza rezydualna (niemobilna, nieciągła) stanowią źródło wtórnego zanieczyszczenia środowiska wodno-gruntowego frakcjami rozpuszczalnymi [4]. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są słabo rozpuszczalne w wodzie, ale w określonych warunkach mogą być wymywane z zanieczyszczonej gleby i dostają się do wód podziemnych [5]. Dodatkowe zagrożenie, jakie wiąże się z zanieczyszczeniem środowiska gruntowo-wodnego SR polega na tym, że substancje te mogą zmieniać pierwotne właściwości gruntów spoistych, stanowiących barierę ochronną dla zbiorników wód podziemnych, co prowadzi do pogorszenia się ich zdolności izolacyjnych [6]. Na obszarach zanieczyszczonych dochodzi nie tylko do zmian morfologii, ale również do skażenia związkami toksycznymi i zakłócenia przebiegu procesów biologicznych [7].

W związku z tym, w przypadku zidentyfikowania zanieczyszczenia ośrodka wodno-gruntowego SR, należy niezwłocznie podjąć działania mające na celu

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

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

zaprojektowanie i przeprowadzenie remediacji gruntu i/lub wód podziemnych [8]. Jeżeli na zwierciadle wody podziemnej jest obecna mobilna LNAPL (wolny produkt), pierwszy etap remediacji powinno stanowić jej szczypanie [9]. W celu opracowania odpowiedniej strategii szczypania należy określić poziomy zasięg plamy zanieczyszczenia i ustalić, czy przemieszcza się ona na powierzchni zwierciadła wody podziemnej [8]. Bardzo ważnym elementem projektowania operacji szczypania jest oszacowanie objętości wolnego produktu [10], np. na podstawie pomiaru miąższości LNAPL w studniach obserwacyjnych odwierconych w zanieczyszczonym ośrodku wodno-gruntowym [11].

Należy jednak podkreślić, że miąższość LNAPL na zwierciadle wody podziemnej (miąższość rzeczywista) może się znacząco różnić od miąższości zmierzonej w studni obserwacyjnej (tzw. miąższości pozornej) [12, 13], na co wpływ mają zarówno właściwości gruntu, jak i ilość oraz właściwości LNAPL [14-16].

Istnieje wiele metod służących do ustalania pionowego zasięgu strefy zanieczyszczonej na podstawie miąższości pozornej LNAPL, ale często uzyskuje się przy ich zastosowaniu wyniki bardzo rozbieżne i obciążone znacznymi błędami [12, 14, 17].

Część z tych metod służy do określania miąższości rzeczywistej LNAPL, którą, zgodnie z modelem rozwiniętym w latach 80. ubiegłego stulecia (tzw. modelem „Pancake”), można zdefiniować jako miąższość warstwy ośrodka wodno-gruntowego, w którym obecna jest LNAPL [13]. W modelu tym nie uwzględniono wpływu zjawisk kapilarnych na stopień nasycenia gruntu wodą, LNAPL i powietrzem i wprowadzono uproszczenie, że LNAPL na zwierciadle wody podziemnej tworzy ciągłą warstwę, w której pory gruntu prawie w 100% wypełnione są wolnym produktem. Przyjęcie tego typu uproszczenia prowadzi do znacznego przeszacowania objętości LNAPL obecnej na zwierciadle wody podziemnej [13].

W latach 90. XX wieku opracowano nową koncepcję zachowania LNAPL na zwierciadle wody podziemnej (tzw. model wielofazowy - ang. *multiphase model*) [12, 13, 18]. Model ten wprowadza pojęcie tzw. objętości jednostkowej LNAPL (ang. *LNAPL specific volume*), czyli objętości LNAPL przypadającej na jednostkę powierzchni zwierciadła wody [12]. Objętość jednostkowa posiada wymiar liniowy i jest w rzeczywistości wysokością słupa LNAPL w profilu gruntowym, jaka pozostałaby po usunięciu gruntu, wody i powietrza. Objętość jednostkowa LNAPL jest zawsze mniejsza od miąższości rzeczywistej [12].

Model „wielofazowy” uwzględnia fakt, że LNAPL, woda i powietrze równocześnie wypełniają pory w strefie występowania zanieczyszczenia. W związku z tym nasycenie porów ośrodka gruntowego LNAPL nigdy nie osiąga 100% i waha się w granicach od 5 do ok. 70%. Nasycenie LNAPL w strefie ośrodka porowatego poniżej zwierciadła LNAPL w studni jest funkcją ciśnienia kapilarnego na granicy faz woda-LNAPL. Z kolei nasycenie LNAPL w strefie powyżej swobodnego zwierciadła LNAPL w studni jest funkcją ciśnienia kapilarnego na granicy faz powietrze-LNAPL [12, 13].

Na wzajemną zależność między miąższością pozorną i rzeczywistą wpływają wahania zwierciadła wody podziemnej, które przyczyniają się do zmian położenia plamy wolnego produktu, oraz do rozszerzenia strefy występowania zanieczyszczenia w fazie rezydualnej, a tym samym do zmniejszenia się ilości mobilnej LNAPL [19, 20]. Generalnie, w przypadku obniżania się wysokości hydraulicznej obserwuje się zwiększenie miąższości pozornej, natomiast wzrost wysokości hydraulicznej prowadzi do zmniejszania się

miąższości pozornej [20-22]. W związku z tym zmiany wysokości hydraulicznej mogą w bardzo znaczącym stopniu komplikować ustalanie rzeczywistej miąższości LNAPL na zwierciadle wody podziemnej [20, 21]. Wpływ na wzajemną zależność między miąższością pozorną i rzeczywistą mogą mieć nie tylko wahania zwierciadła wody podziemnej w obecności wolnego produktu, ale także te, mające miejsce jeszcze przed wystąpieniem wycieku SR. Stopień nasycenia porów ośrodka płynem zwilżającym (wodą) oraz niezwilżającym (powietrzem) zależy bowiem od tego, czy nasycenie to jest wynikiem wzniosu zwierciadła wody czy jego obniżania [12]. Z kolei stopień nasycenia ośrodka płynami zwilżającymi i niezwilżającymi (wodą i powietrzem) może znacząco wpłynąć na infiltrację LNAPL, która jest płynem niezwilżającym względem wody, ale zwilżającym względem powietrza [11].

Celem eksperymentów scharakteryzowanych w niniejszym artykule było ustalenie, jak zachowuje się warstwa LNAPL na zwierciadle wody w gruncie, w którym przed infiltracją lekkiej cieczy organicznej następowały wahania zwierciadła wody podziemnej (najpierw obniżenie, a następnie jego wznios). Uzyskane wyniki porównano z wynikami otrzymanymi dla przypadku, w którym nie następowały zmiany wysokości hydraulicznej przed infiltracją LNAPL.

Metodyka badań

Badania wpływu zmian wysokości hydraulicznej na nasycenie ośrodka porowatego płynami: wodą, LNAPL i powietrzem były prowadzone z zastosowaniem 2 gruntów piaszczystych bardzo równomiernie uziarnionych, których właściwości podano w tabeli 1. Jako LNAPL zastosowano olej rzepakowy o gęstości $\rho = 918 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i lepkości dynamicznej $\mu = 0,07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (w temperaturze 20°C).

Tabela 1

Właściwości gruntów zastosowanych w badaniach

Table 1

Properties of soils used in the experiments

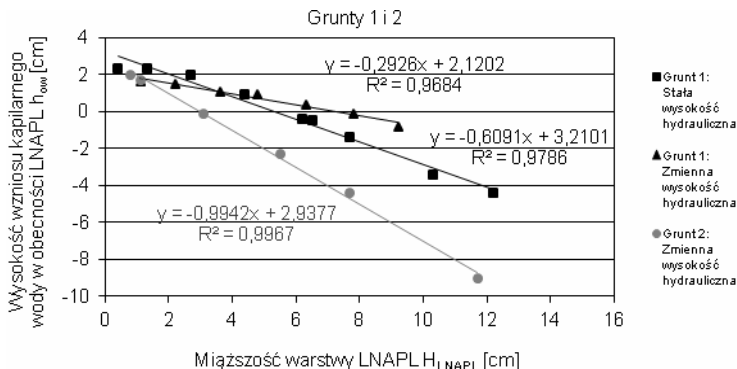
Grunt	Minimalna średnica ziaren d_{min} [mm]	Maksymalna średnica ziaren d_{max} [mm]	Współczynnik filtracji w temperaturze 10°C k_{10} [m/d]	Gęstość objętościowa gruntu suchego $[\text{g}/\text{cm}^3]$	Porowatość [-]
1	0,315	0,5	$7,13\cdot 10^1$	$1,70 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,01$
2	0,5	0,63	$1,07\cdot 10^2$	$1,67 \pm 0,03$	$0,37 \pm 0,01$

Badania prowadzono w wyskalowanych kolumnach z plexiglasu o średnicy wewnętrznej 5 cm i długości 25 cm z jednym końcem zafiltrowanym przy pomocy siatki metalowej o rozmiarach oczek odpowiednio 0,2 i 0,5 mm, w zależności od uziarnienia gruntu. W tak przygotowanych kolumnach umieszczono próbki gruntów o wysokości ok. 12 cm. Przygotowano po dwie kolumny z każdym z gruntów (1 i 2). Próbki gruntów przed umieszczeniem w kolumnie były gotowane przez ok. 20 minut w celu usunięcia z nich pęcherzyków powietrza. Tak przygotowane próbki gruntów porcjami przenoszono do kolumn umieszczonych w zlewce z wodą w ten sposób, aby do przestrzeni porowej nie dostało się powietrze. Każdą porcję gruntu po umieszczeniu w kolumnie zagęszczano przy użyciu drewnianego ubijaka. Kolumny umiejscowiono w zlewkach w takim położeniu, aby

swobodne zwierciadło wody w zlewce (krawędź przelewowa) znajdowało się ok. 2 cm pod powierzchnią gruntu w kolumnie. Następnie podwyższono położenie dwóch kolumn (po jednej z każdym rodzajem gruntu) w celu obniżenia się poziomu swobodnego zwierciadła wody w próbkach gruntu. Po upływie 24 godzin ponownie obniżono kolumny w taki sposób, aby swobodne zwierciadło wody znalazło się w poprzednim położeniu, czyli ok. 2 cm pod powierzchnią gruntu. Po ok. 3 dniach do każdej z kolumn na powierzchnię gruntu dodano pierwszą dawkę LNAPL zabarwionej przy zastosowaniu barwnika Sudan III. Do gruntu 1 aplikowano dawki po 20 oraz 10 cm³, natomiast do gruntu 2 - pierwsza wynosiła 4 cm³, a kolejne po 2 cm³. Następnie, po ok. 7 dniach obserwowano położenie dolnej i górnej krawędzi warstwy LNAPL w każdej kolumnie. W większości przypadków górną krawędź warstwy LNAPL stanowiło jej swobodne zwierciadło położone nad powierzchnią gruntu. Procedury iniekcji LNAPL i rejestracji położenia warstwy LNAPL powtarzano kilka razy. Między kolejnymi iniekcjami LNAPL zachowywano przerwę min. 7 dni (w celu ustalenia się równowagi hydrostatycznej w układzie badawczym). Badania były prowadzone w temperaturze ok. 20°C.

Wyniki badań i dyskusja

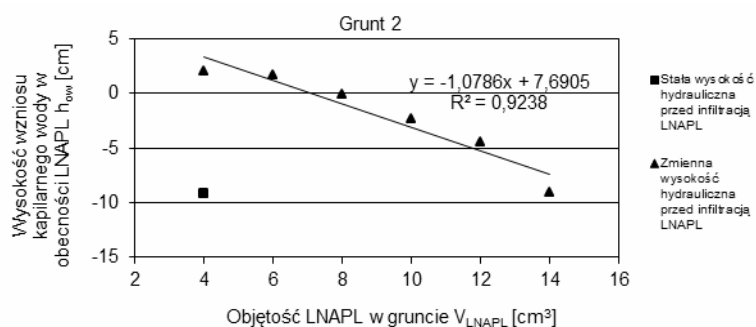
Na rysunku 1 przedstawiono zależność między wysokością wzniosu kapilarnego wody w obecności warstwy LNAPL a miąższością tej warstwy w kolumnach dla dwóch przypadków: (a) stałego położenia zwierciadła wody przed infiltracją LNAPL (tylko dla gruntu 1), (b) wahań (obniżenia, a następnie wzniosu) poziomu zwierciadła wody przed infiltracją LNAPL (dla gruntów 1 i 2). Dodatnia wartość wzniosu kapilarnego wody w obecności LNAPL oznacza, że dolna granica warstwy LNAPL znajdowała się nad zwierciadłem wody podziemnej. Z kolei ujemna wartość tego parametru świadczy o tym, że dolna granica warstwy LNAPL znalazła się pod poziomem zwierciadła wody podziemnej.



Rys. 1. Zależność wysokości wzniosu kapilarnego wody w obecności LNAPL od miąższości warstwy LNAPL dla gruntów 1 i 2

Fig. 1. The relation between height of the water capillary fringe in presence of LNAPL and the thickness of LNAPL layer for soils 1 and 2

W przypadku gruntu 2 nie było możliwe wykreślenie krzywej zależności między wysokością wzniosu kapilarnego wody w obecności LNAPL a miąższością warstwy LNAPL dla próbki, w której nie następowały wahania położenia zwierciadła wody podziemnej, ponieważ już po zatłoczeniu pierwszej porcji LNAPL (4 cm^3) dotarła ona do dolnej części kolumny. Poza tym swobodne zwierciadło LNAPL znajdowało się w tym przypadku pod powierzchnią gruntu i nie można było dokładnie ustalić jego położenia. W związku z tym na rysunku 2 przedstawiono zależność między objętością zatłoczonej LNAPL a wysokością wzniosu kapilarnego wody w obecności LNAPL dla gruntu 2.



Rys. 2. Zależność wysokości wzniosu kapilarnego wody w obecności LNAPL od objętości LNAPL w gruncie 2

Fig. 2. The relation between height of the water capillary fringe in presence of LNAPL and the volume of LNAPL in soil 2

Otrzymane wyniki wskazują, że infiltracja LNAPL w głąb strefy saturacji przebiegała znacznie szybciej w przypadku gruntów, w których nie doszło do wahań zwierciadła wody przed iniekcją LNAPL, a więc przestrzeń porowa była prawie w 100% nasycona wodą. W przypadkach tych dla takich samych miąższości warstwy LNAPL uzyskiwano mniejsze wysokości wzniosu kapilarnego wody w obecności LNAPL (dolna granica warstwy LNAPL szybciej przemieszczała się poniżej poziomu swobodnego zwierciadła wody). Z kolei w gruntach, w których obniżono, a następnie podwyższono wysokość hydrauliczną, pewna część powietrza została uwięziona w przestrzeni porowej w strefie aeracji i saturacji. Nasycenie ośrodka wodą nie wynosiło w tym przypadku 100%, a pęcherzyki powietrza unieruchomione w porach gruntu stanowiły płyn niezwilżający, zarówno w odniesieniu do wody, jak i LNAPL. Wyniki wskazują, że obecność pęcherzyków powietrza w przestrzeni porowej wyraźnie hamowała infiltrację LNAPL. Poza tym zaobserwowano, że dla gruntu w 100% nasyconego wodą infiltracja przebiegała w dużym stopniu równomiernie na całym obwodzie kolumny, podczas gdy w gruncie nasyconym wodą i powietrzem infiltracja LNAPL odbywała się w sposób bardzo nieregularny. W tym drugim przypadku LNAPL wnikała tylko do określonych partii przestrzeni porowej, a pozostała część gruntu pozostawała zajęta tylko przez wodę i powietrze, nawet w przypadku iniekcji następnych dawek LNAPL.

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 2 można stwierdzić, że w przypadku gruntu 2, w kolumnie, w której nie następowały zmiany wysokości hydraulicznej, już po iniekcji pierwszej dawki LNAPL (4 cm^3) infiltracja cieczy

organicznej zachodziła bardzo intensywnie i ciecz ta dotarła prawie do dolnej części kolumny. Można przypuszczać, że LNAPL w tym przypadku infiltrowała głównie przy ściankach kolumny tam, gdzie przestrzenie porowe były względnie największe, ponieważ tak niewielka ilość LNAPL nie mogła zanieczyścić całej objętości gruntu w kolumnie. Na uwagę zasługuje fakt, że w drugiej kolumnie z gruntem 2 (w której miały miejsce zmiany wysokości hydraulicznej) pęcherzyki powietrza widoczne przy ściankach kolumny znacząco blokowały infiltrację i przy tej samej ilości LNAPL (4 cm^3) swobodnie zwierciadło oleju utrzymywało się kilka milimetrów nad powierzchnią gruntu.

Uzyskane wyniki wskazują, że historia wahań zwierciadła wody podziemnej ma wpływ na przebieg infiltracji LNAPL, a co za tym idzie na ostateczny stopień nasycenia ośrodka płynami: wodą, LNAPL i powietrzem. Ustalanie miąższości rzeczywistej LNAPL na podstawie miąższości zmierzonej w studni obserwacyjnej, bez uwzględnienia wpływu wahań zwierciadła wody podziemnej, występujących w obecności plamy LNAPL, bądź mających miejsce jeszcze przed jej pojawieniem się, może prowadzić do otrzymania nieprecyzyjnych wyników.

Wnioski

1. Infiltracja LNAPL była w znacznym stopniu spowalniana i hamowana, gdy poprzedzało ją obniżenie, a następnie wznios poziomu zwierciadła wody podziemnej.
2. Nasycenie ośrodka porowatego LNAPL, zarówno w strefie aeracji, jak i saturacji, przy tej samej ilości zatłoczonej LNAPL, było wyższe w przypadku gruntu, w którym przed infiltracją LNAPL nie następowały zmiany wysokości hydraulicznej.
3. Infiltracja LNAPL i obniżanie powierzchni rozdziału faz LNAPL-woda przebiegały bardziej równomiernie na całym obwodzie kolumny w przypadku gruntu, w którym nie wystąpiły wcześniej wahania zwierciadła wody, niż w przypadku gruntu, w którym następowały zmiany wysokości hydraulicznej.
4. Wyniki wskazują, że plama LNAPL o niewielkiej miąższości może utrzymywać się na powierzchni strefy wzniosu kapilarnego wody. Jednak w miarę zwiększania się miąższości wolnego produktu znaczna jego część przemieszcza się poniżej poziomu zwierciadła wody podziemnej, zwłaszcza w przypadku gruntów grubiej uziarnionych.

Podziękowania

Praca została sfinansowana w ramach badań statutowych BS-PB/401/306/11.

Literatura

- [1] Malina G. Wielofazowa migracja zanieczyszczeń ropopochodnych w strefie aeracji i saturacji. *Inż Ochr Środow.* 1998;1(1):85-105.
- [2] Rosik-Dulewska C, Karwaczyńska U, Ciesielczuk T. Migracja WWA z nieuszczelnionego składowiska odpadów do wód podziemnych. *Rocznik Ochr Środow.* 2007;9:335-343.
- [3] Jabłońska B. Sorption of phenol on rock components occurring in mine drainage water sediments. *Int J Miner Process.* 2012;104-105:71-79. DOI: 10.1016/j.minpro.2011.12.008.
- [4] Newell CJ, Acree SD, Ross RR, Huling SG. Light Nonaqueous Phase Liquids, *Ground Water Issue.* EPA/540/S-95/500. 1995.
- [5] Włodarczyk-Makuła M, Janosz-Rajczyk M. Wymywanie WWA, AOX i metali ciężkich z mieszaniny gleby i osadów ściekowych. *Inż Ochr Środow.* 2006;9(4):409-420.

- [6] Korzeniowska-Rejmer E, Izdebska-Mucha D. Ocena wpływu zanieczyszczeń ropopochodnych na uziarnienie i plastyczność gruntów spoistych. *Inż Ochr Środow.* 2006;9(1):89-103.
- [7] Nowak M, Kacprzak M, Grobelak A. Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. *Inż Ochr Środow.* 2010;13(2):121-131.
- [8] Light Non-Aqueous Phase Liquid Management Strategy, Guidance Document 2-02. Minnesota Pollution Control Agency; July 2010.
- [9] Hernández-Espriú A, Martínez-Santos P, Sánchez-León E, Marín L.E. Free-product plume distribution and recovery modeling prediction in a diesel-contaminated volcanic aquifer. *Phys Chem Earth.* 2012;37-39:43-51. DOI:10.1016/j.pce.2010.12.007.
- [10] Dippenaar MA, Sole MD, Van Rooy JL, du Toit GJ, Reynecke JL. Determining actual LNAPL plume thickness: review and case study in a fractured aquifer. *Bull Eng Geol Environ.* 2005;64:347-360. DOI: 10.1007/s10064-005-0278-5.
- [11] Charbeneau RJ. LNAPL Distribution and Recovery Model. Distribution and Recovery of Petroleum Hydrocarbon Liquids in Porous Media. Vol. 1. API Publication 4760. Washington, DC: API Publications; 2007.
- [12] Lenhard RJ, Parker JC. Estimation of free hydrocarbon volume from fluid levels in monitoring wells. *Ground Water.* 1990;28(1):57-67. DOI:10.1111/j.1745-6584.1990.tb02229.x
- [13] Golder Associates Ltd. Report on guidance on assessment of light non-aqueous phase liquid mobility for site classification purposes in British Columbia. Report Submitted to BC Ministry of Environment. October 9, 2008. 46 pp. (no. 08-1436-0016).
- [14] USEPA. How to effectively recover free product at leaking underground storage tank sites: A guide for state regulators. EPA 510-R-96-001. 1996.
- [15] Deska I, Tkaczyńska A. Empirical model for estimating the actual LNAPL thickness based on the hydraulic conductivity. *Ecol Chem Eng A.* 2012;19(7):787-794. DOI: 10.2428/ecea.2012.19(07)078.
- [16] Deska I, Ociepa E. Wpływ parametrów gruntów na zależność między miąższością rzeczywistą i pozorną LNAPL na zwierciadle wody podziemnej. *Inż Ochr Środow.* 2012;15(2):191-202.
- [17] Deska I, Malina G. Estimation of actual free product thickness on the groundwater table based on soil and LNAPL properties. *Proc ECOpole.* 2008;2(2):303-308. http://tchie.uni.opole.pl/ecoproc08b/DeskaMalina_08b.pdf.
- [18] Farr AM, Houghtalen RJ, McWhorter DB. Volume estimation of light nonaqueous phase liquids in porous media. *Ground Water.* 1990;28(1):48-56. DOI: 10.1111/j.1745-6584.1990.tb02228.x.
- [19] Aral MM, Liao B. Effect of groundwater table fluctuations on LNAPL thickness in monitoring wells. *Environ Geol.* 2002;42:151-161. DOI: 10.1007/s00254-001-0485-8.
- [20] Kembłowski MW, Chiang CY. Hydrocarbon thickness fluctuations in monitoring Wells. *Ground Water.* 1990;28:244-252. DOI: 10.1111/j.1745-6584.1990.tb02252.x.
- [21] Marinelli F, Durnford DS. LNAPL thickness in monitoring wells considering hysteresis and entrapment. *Ground Water.* 1996;34(3):405-414. DOI: 10.1111/j.1745-6584.1996.tb02021.x.
- [22] Deska I, Ociepa E. Wpływ wahań poziomu zwierciadła wody podziemnej na różnicę między miąższością pozorną i rzeczywistą LNAPL. *Proc ECOpole.* 2013;7(1):303-309. DOI: 10.2429/proc.2013.7(1)041.

INFLUENCE OF THE WATER TABLE FLUCTUATIONS ON THE POROUS MEDIUM SATURATION WITH ORGANIC LIQUIDS

Institute of Environmental Engineering, Czestochowa University of Technology

Abstract: The major objectives of this study became to investigate the behavior of LNAPL (light non-aqueous phase liquid) on the groundwater table in the porous medium, in that, before LNAPL infiltration, the hydraulic head fluctuations have occurred (the fall and the subsequent rise of the hydraulic head). These results were compared with results obtained for porous medium without the groundwater table fluctuations. The results show that the hydraulic head changes (the fall, and subsequently rise) influence the water and air saturations in the upper part of the phreatic zone. They have an impact on an increase of the air content in the soil pores, what inhibits the LNAPL infiltration and causes the decrease of LNAPL saturation in the upper part of the phreatic zone. The water table fluctuations occurring before the spill and infiltration of LNAPL may complicate the proper estimation of the thickness and volume of LNAPL layer.

Keywords: LNAPL, actual thickness, apparent thickness, hydraulic head, groundwater table, saturation

