

Skład chemiczny wód porowych górnoplejstoceniowej sekwencji lessowo-glebowej w Zaprężynie (SW Polska)

Jacek Skurzyński^{1,2}, Magdalena Modelska², Jerzy Raczyk¹, Stanisław Staško², Zdzisław Jary¹

Pore water chemical composition of the Upper Pleistocene loess-paleosol sequence in Zaprężynie (SW Poland). *Prz. Geol.*, 65: 1383–1387.

Abstract. The article presents the preliminary results of pore-water chemistry studies of the entire Upper Pleistocene loess-paleosol sequence in Zaprężynie (SW Poland). The pore-water chemical composition provides information about behaviour of the elements in the loess profile during the rock-water interactions. The applied method of *ex situ* water extraction allows only obtaining slightly bound water, which determines physicochemical parameters of the ground. The considerable variability of the values of pH, EC and concentrations of Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- ions and SiO_2 was caused by stratification of sediments. The effect of reduced-permeability barrier on the increased concentrations of some ions was also found.

Keywords: Pore water, loess, paleosol, chemical composition

Skład chemiczny wód infiltracyjnych nieustannie ulega przekształceniom wskutek zmiennych w czasie interakcji pomiędzy elementami mineralnymi skały a zawartymi w jej porach wodą i gazami (Afelt, 2007a). O sile i charakterze tych zmian decyduje m.in. geneza, skład mineralny i porowatość skały oraz jej skład chemiczny i granulometryczny (Pietkiewicz, 1958). Wszystkie te czynniki mogą wpływać na chemizm wód wypełniających pory i szczeliny skały, bez względu na stopień związania ze szkieletem mineralnym (Szczepańska i in., 1980).

Lessy są półprzepuszczalną skałą (Bury, 1995) o znacznej porowatości (Myślińska, 2010), dosyć dobrze rozpoznana pod kątem parametrów hydrogeologicznych. Zasięg infiltracji w lessach jest zależny od wielkości opadu i stosunkowo niewielki, wg różnych autorów wahający się od 2 do 5 m (np.: Tu i in., 2009; Zeng i in., 2016). Mimo to woda może być stosunkowo szybko transportowana do warstwy wodonośnej poprzez powszechne spękania w lessach (Derbyshire, 2001). Pierwszy poziom wodonośny pod utworami lessowymi uznano za podatny na wiele typów zanieczyszczeń, za wyjątkiem silnie sorbowanych takich jak metale ciężkie (Staško i in., 2010). Wbrew pozorom lessy nie są wewnątrznie jednorodne. Występują w nich zazwyczaj gleby kopalne o różnej randze stratygraficznej, a w stopniu rozwija się gleba współczesna. Poziomy gleb kopalnych charakteryzują się, w stosunku do lessów, mniejszymi przeciętnymi współczynnikami filtracji (Zhao i in., 2012), co ma znaczny wpływ na infiltrację (Gvirtzman i in., 2008). Oznacza to, że sekwencja lessowo-glebową powinna być rozpatrywana jako zróżnicowane środowisko hydrogeochemiczne w profilu pionowym, stanowiące bezpośrednio przestrzeń infiltracji wód opadowych i pełniące funkcję izolatora zbiorników wodonośnych.

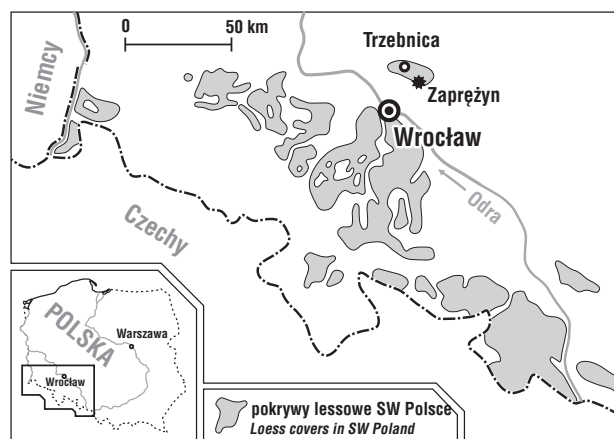
W literaturze niewiele jest danych na temat chemizmu wód porowych w lessach. Do tej pory badania tego typu miały najczęściej charakter eksperymentalny (Zhang i in.,

1990; Lin, Wei, 2006), nie uwzględniający zmienności sekwencji lessowo-glebowej i ograniczony do skał jednorodnych facyjnie (Afelt, 2003; 2007a, b; 2013) lub nawet pojedynczych próbek wyrwanych z szerszego kontekstu geologicznego (Myślińska, 1972).

Prezentowane w pracy badania pilotażowe przedstawiają zmienność składu chemicznego wód porowych jednej, kompletnej sekwencji lessowo-glebowej w odniesieniu do jej budowy litostratygraficznej.

OBSZAR BADAŃ

Sekwencja lessowo-glebową w Zaprężynie (SW Polska) znajduje się w strefie południowej krawędzi morfologicznej Wzgórz Trzebnickich, w nieczynnej piaskowni przy drodze z Łoziny do Węgrowa (ryc. 1). Pokrywa lessowa o przeciętnej miąższości 4–6 m zalega tutaj na piaskach



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań

Fig. 1. Location of the study area

¹ Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław; jacek.skurzynski@uwr.edu.pl, jerzy.raczyk@uwr.edu.pl, zdzislaw.jary@uwr.edu.pl.

² Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; magdalena.modelska@uwr.edu.pl, stanislaw.stasko@uwr.edu.pl.



Ryc. 2. Lokalizacja poboru próbek do analiz wód porowych w profilu lessowo-glebowym w Zaprzęzynie; A – górny odcinek profilu, B – dolny odcinek profilu
 Fig. 2. Location of sampling points for pore water analysis from the loess-paleosol profile in Zaprzęzynie; A – upper part, B – lower part

fluwioglacjalnych i odsłania się w pionowej ścianie o długości ok. 80 m i przebiegu W–E. Jest ona dobrze rozpoznana pod względem litologicznym (np.: Jary, 2007; Raczky i in., 2013). Rozpoznanie chemizmu wód porowych w lessach w tym rejonie Polski wykonano po raz pierwszy.

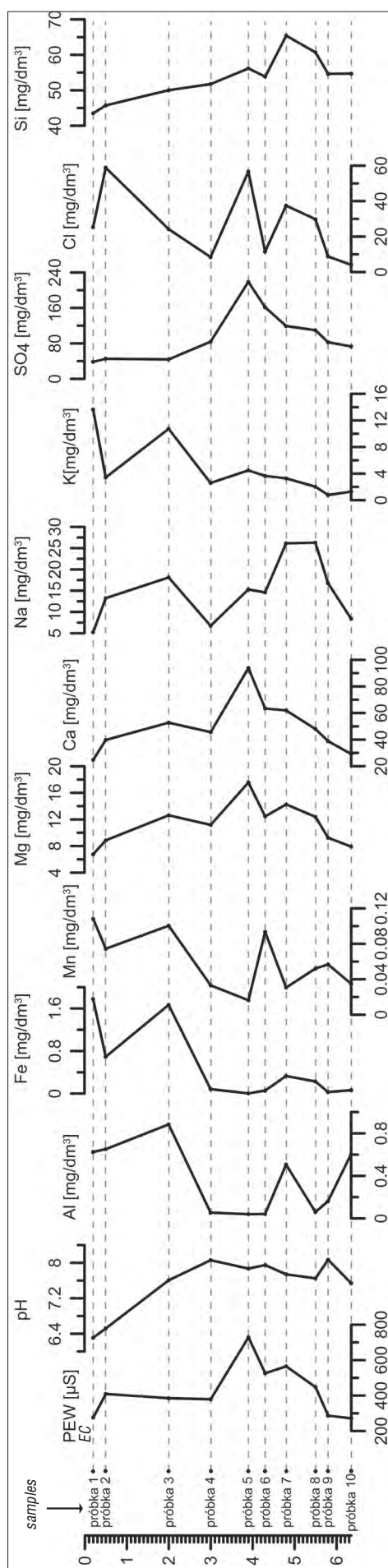
METODYKA BADAŃ

Badanie chemiczne wód porowych wykonano dla 10 próbek materiału reprezentującego zmienność jednostek pedo- i litostratygraficznych (ryc. 2, tab. 1). Próbki pobrano w październiku 2016 r. Prace laboratoryjne przeprowadzono w Pracowni Gruntoznawczej Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego (IGiRR UW).

Dobór sposobu pozyskiwania wód porowych zależy od możliwości wyekstrahowania ich ze skały (Szczepańska i in., 1980; Afelt, 2007a). Po przetestowaniu praktycznym dostępnych metod stwierdzono, że proste odwirowywanie nie jest możliwe ze względu na niewystarczającą wilgotność naturalną lessów. Zdecydowano się zatem na zastosowanie metody wyciągów wodnych (Myślińska, 1975) polegającej na zalaniu powietrzno-suchego gruntu znormalizowaną ilością wody i odwirowaniu uzyskanego roztworu glebowego. Metoda ta pozwala na wydzielanie wód słabo związanych ze szkieletem mineralnym, warunkujących fizyczno-mechaniczne właściwości skały. Do każdej próbki gruntu powietrzno-suchego (50g) dodawano wodę destylowaną (200 ml) i pozostawiano do odstania na 24 h. Stwierdzono, że dla badanego materiału po tym czasie nie następuje dalszy wzrost przewodności elektrycznej właściwej (PEW) – osiągnięty jest stan równowagi pomiędzy fazą stałą i ciekłą. Dwudziestogramowe naważki materiału o znormalizowanej zawartości wody umieszczano w pojemnikach wirówki (dwa pojemniki na jedną próbkę). Pojemniki te dostosowano do materiału bogatego we frakcje spławialne bazując na pracach: Daviesa i Daviesa (1963), Kabaty-Pendias i Tarłowskiego (1970) oraz Reynoldsa (1984). Odwirowywane wody zbierały się w zbiorniczku poniżej perforowanej przegrody z bibułą filtracyjną. Roztwory porowe odwirowywano przy użyciu wirówki MPW-352 z wirnikiem horyzontalnym, z prędkością 4000 obr./min. (RCF = 2612 G) w czasie 20 min. Uzyskane roztwory dla danej próbki zlewano z dwóch pojemników wirówki do jednej próbki i rozcieńczano do 20 ml. Tak przygotowane wody porowe analizowano metodami spektrofotometrycznymi, elektrochemicznymi oraz kalorymetrycznymi.

WYNIKI I DYSKUSJA

Uzyskane wyniki oznaczeń składu chemicznego wód porowych wykazywały wyraźne zróżnicowanie w profilu pionowym (ryc. 3, tab. 2), nawiązujące do stratyfikacji sekwencji lessowo-glebowej. Zróżnicowane były też uzyski roztworów glebowych wahające się od 14 ml z piasków fluwioglacjalnych, przez ok. 10 ml z lessów, do 2,5 ml z gleby współczesnej. Uzysk wody był ujemnie skorelowany z zawartością silnie hydrofilnej frakcji ilastej, nie zaobserwowano jednak zależności między wilgotnością higroskopijną badanych próbek skał a stężeniami oznaczonych wskaźników. Należy zaznaczyć, że metoda ekstrakcji mogła mieć wpływ na uzyskane bezwzględne rezultaty oznaczeń składu chemicznego (Szczepańska i in., 1980), jednak zunifikowana metoda zastosowana do całego badanego



Ryc. 3. Zmienność oznaczanych parametrów w profilu pionowym w Zaprzęzynie
Fig. 3. Variability of measured parameters in the vertical profile in Zaprzęzynie

Tab. 1. Charakterystyka próbek z badanego profilu lessowo-glebowego w Zaprężynie

Table. 1. Characteristics of the loess-paleosol profile in Zaprężynie

Nr próbki Sample no.	Głęb. [m p.p.t.] Depth [m a.s.l.]	Stratygrafia Stratigraphy	Charakterystyka próbki Sample description
1	0,20	gleba współczesna recent soil	poziom akumulacyjny Ap gleby brunatnej, spulchniony i zhomogenizowany w efekcie zabiegów agrotechnicznych; zwiększony udział frakcji ilastej i humusu; HCl ⁻ humic Ap horizon of brown soil homogenized by cultivation; increased amount of clay minerals and humus; HCl ⁻
2	0,50	gleba współczesna recent soil	poziom przejściowy BC gleby współczesnej; stopniowy zanik wpływu procesów glebotwórczych; HCl ^{+/-} transitional BC horizon of the recent soil; gradual disappearance of effects of the soil processes; HCl ^{+/-}
3	2,00	less loess	less masywny; wyraźna, ciągła lamina Fe oraz liczne, drobne laminy Mn; HCl ⁺ massive loess; a clear continuous layer of Fe and fine Mn lamination; HCl ⁺
4	3,00	less loess	less laminowany; ślady oglejenia oraz конкреcje węglanowe; HCl ⁺ laminated loess; traces of gleying and carbonate concretions; HCl ⁺
5	3,90	less loess	less z wyraźnymi śladami oglejenia, tuż ponad pierwszym wyraźnym poziomem glejowym; wyraźny wzrost udziału frakcji ilastej; HCl ^{+/-} loess with traces of gleying above first clearly visible gley horizon; a marked increase of clay minerals amount; HCl ^{+/-}
6	4,30	less loess	less ze śladami oglejenia, poniżej pierwszego wyraźnego poziomu glejowego; HCl ^{+/-} loess with traces of gleying below first clearly visible gley horizon; HCl ^{+/-}
7	4,80	less loess	less ze śladami oglejenia, powyżej drugiego wyraźnego poziomu glejowego (strop kopalnej gleby śródlessowej interpretowanej jako gleba interstadialna); liczne laminy Fe, конкреcje Mn; HCl ⁻ loess with traces of gleying above second clearly visible gley horizon (top of the interstadial soil); lamination of Fe, concretions of Mn; HCl ⁻
8	5,50	deluwia glebowe soil deluvium	less ze śladami oglejenia, zwiększony udział humusu; HCl ^{+/-} loess with traces of gleying; increased amount of humus; HCl ^{+/-}
9	5,80	gleba eemsko- wczesnoglejowa eemian-early glacial soil	poziom akumulacyjny A pedokompleksu; wzbogacenie we frakcję ilastą i humus; HCl ⁻ humic A horizon of the pedocomplex; enrichment in clay minerals and humus; HCl ⁻
10	6,35	piaski zlodowacenia warty sands of the Warta glaciation	fluwioglejowe piaski różnofrakcyjne z domieszką żwirów; HCl ⁻ heterogranular fluvioglacial sands with admixture of gravel; HCl ⁻

profilu pozwoliła na porównawczą analizę zmienności otrzymanych wyników.

Analizowane wyciągi wodne charakteryzowały się stosunkowo niską mineralizacją (271–729 $\mu\text{S}/\text{cm}$) typową dla utworów czwartorzędowych (Myślińska, 1972), a wartości PEW były skorelowane pozytywnie ze stężeniami jonów SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} i Mg^{2+} . Pod względem parametrów fizykochemicznych (PEW i pH) zaznaczała się dwudzielność omawianego profilu (ryc. 3, tab. 2). Do głębokości 3 m (próbki 2–4) wartości PEW były stosunkowo niskie i stabilne (ok. 400 μS), a pH sukcesywnie wzrastało (od 6,3 do ok. 8,0). Poniżej 3 m (próbki 5–8) wartości PEW wyraźnie wzrastały i wykazywały znaczne zróżnicowanie a pH stabilizowało się. Odrębną kategorię stanowią poziomy akumulacyjne gleby współczesnej i eemsko-wczesnoglejowej oraz podścielające sekwencję piaski fluwioglejowe (próbki 1, 9 i 10) – stwierdzono w nich najniższe profilowe wartości PEW, poniżej 300 μS .

Podobną zmienność zaobserwowano dla stężeń badanych wskaźników chemicznych. Poziom akumulacyjny gleby współczesnej charakteryzował się stosunkowo wysokimi stężeniami Fe^{3+} , Mn^{2+} i K^+ i niskim udziałem jonów: Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ i Cl^- . Lessy były wyraźnie wzboga-

cone w: Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , K^+ i Na^+ aż do głębokości 2 m (próbka 3). Na etapie prac terenowych na tej głębokości odnotowano wyraźną, ciągłą laminę żelazistą oraz drobne laminy manganowe. Może to wskazywać na współczesny przeciętny zasięg infiltracji wód opadowych (Tu i in., 2009; Zeng i in., 2016).

W dolnej części profilu, poniżej 3 m, wyodrębniono dwie strefy zwiększonych stężeń większości oznaczanych wskaźników. Są one prawdopodobnie związane z mechanicznym zatrzymywaniem jonów nad poziomami glejowymi, stanowiącymi barierę o obniżonej przepuszczalności. Ponad pierwszym poziomem glejowym (próbka 5) zaznaczył się bardzo wyraźny wzrost stężenia jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} i Cl^- (tab.1, ryc. 2). Druga ze stref wzrostu, wyrażona zmianą stężeń SiO_2 , Na^+ , Cl^- , Fe^{3+} i Al^{3+} , zaczyna się tuż ponad drugim wyraźnym poziomem glejowym (próbka 7) i ciągnie się (za wyjątkiem Al^{3+}) aż do deluwii glebowych (próbka nr 8). Wzrost stężeń wyżej wymienionych jonów w strefie silnie przekształconej przez procesy wietrzeniowo-glebowe (Raczyk i in., 2013) sugeruje intensyfikację chemicznego wietrzenia glinokrzemianów, zmianę składu chemicznego i mineralnego osadów lub wzrost mobilności niektórych wskaźników (Afelt, 2013).

Tab. 2. Wartości oznaczanych parametrów w profilu pionowym w Zaprężynie

Tab. 2. Values of measured parameters in the vertical profile in Zaprężyn

Nr próbki Sample no.	Głęb. [m p.p.t.] Depth [m a.s.l.]	PEW EC [μS]	pH	Al ³⁺ [mg/dm ³]	Fe ³⁺ [mg/dm ³]	Mn ²⁺ [mg/dm ³]	Mg ²⁺ [mg/dm ³]	Ca ²⁺ [mg/dm ³]	Na ⁺ [mg/dm ³]	K ⁺ [mg/dm ³]	SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	Cl ⁻ [mg/dm ³]	SiO ₂ [mg/dm ³]
1	0,20	276,00	6,31	0,62	1,77	0,11	6,76	24,79	5,22	13,62	38,46	25,30	43,52
2	0,50	408,94	6,52	0,65	0,69	0,07	8,86	39,73	13,24	3,42	45,16	58,82	45,74
3	2,00	385,00	7,61	0,88	1,67	0,10	12,62	52,76	18,11	10,73	43,84	24,20	50,02
4	3,00	379,05	8,06	0,05	0,08	0,03	11,18	45,62	6,74	2,59	83,82	8,41	51,75
5	3,90	728,57	7,87	0,04	0,00	0,02	17,55	93,79	15,29	4,48	218,78	56,63	56,16
6	4,30	525,83	7,95	0,04	0,05	0,09	12,46	63,39	14,59	3,65	161,58	11,55	53,84
7	4,80	564,71	7,74	0,51	0,33	0,03	14,26	61,95	26,13	3,28	119,21	37,46	65,41
8	5,50	447,20	7,65	0,06	0,23	0,05	12,39	47,92	26,27	2,03	109,74	29,76	60,66
9	5,80	286,82	8,07	0,16	0,03	0,06	9,24	38,85	16,76	0,79	82,68	8,79	54,64
10	6,35	271,29	7,54	0,60	0,06	0,03	7,91	29,14	8,40	1,28	73,09	4,05	54,69

PODSUMOWANIE

Badania pilotażowe wykazały znaczne zróżnicowanie składu chemicznego wód porowych (wolnych i słabo związanych) w profilu pionowym sekwencji lessowo-glebowej w Zaprężynie. Stwierdzono wyraźną dwudzielność wód porowych w profilu odzwierciedlającą poziom niezwiązanych chemicznie lessów oraz leżący głębiej poziom wyraźnie przekształcony przez procesy wietrzeniowo-glebowe. Największy wpływ na zmienność stężeń poszczególnych wskaźników chemicznych miały poziomy gleb kopalnych o różnej randze stratygraficznej, w których były uruchamiane lub wiązane poszczególne jony. Prawdopodobnie duży wpływ na stężenia wskaźników w profilu pionowym badanej sekwencji miał również proces mechanicznego zatrzymywania jonów nad barierą o obniżonej przepuszczalności. Uzyskane wyniki wykazały celowość przeprowadzenia dalszych rozszerzonych analiz obejmujących parametry chemiczne zarówno wód porowych, jak i skał budujących badany profil.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Recenzentom za poświęcony czas oraz wszelkie uwagi merytoryczne i redakcyjne, które pozwoliły na udoskonalenie pracy. Badania zrealizowano w ramach działalności statutowej 1015/S/IGiRR/2016 i 1017/ING/S/2016.

LITERATURA

AFELT A. 2003 – An influence of soil water sampler substance on chemical composition of porous moisture. *Acta Univ. Carol.*, 1: 5–10.
 AFELT A. 2007a – Wpływ rzeźby i zasilania na właściwości wód porowych w lessach. *Annales UMCS*, sec. B., 62 (10): 223–242.
 AFELT A. 2007b – Cechy hydrochemiczne wód przesiąkowych w lessach. [W:] Ziulkiewicz M. (red.), Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. Uniwersytet Łódzki. Komisja Hydrologiczna Polskiego Towarzystwa Geograficznego: T. V: 275–282.
 AFELT A. 2013 – Wpływ transformacji lessu na cechy filtracyjne. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 27–32.
 BURY W. 1995 – Prognozowanie pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przez utwory przepuszczalne i półprzepuszczalne przy wykorzystaniu znaczników naturalnych i sztucznych. [W:] Szczepański A. (red.), Współczesne Problemy Hydrogeologii. Wyd. ZHIOW AGH, Kraków: T. VII, cz. 1: 57–68.
 DAVIES B.E., DAVIES R.I. 1963 – A simple centrifugation method for obtaining small samples of soil solution. *Nature*, 198: 216–217.

DERBYSHIRE E. 2001 – Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China. *Earth Sci. Rev.*, 54: 231–260.

GVIRTZMAN H., SHALEV E., DAHAN O., HATZOR Y. 2008 – Large-scale infiltration experiments into unsaturated stratified loess sediments: Monitoring and modeling. *J. Hydrol.*, 349: 214–229.

JARY Z. 2007 – Zapis zmian klimatu w górnopolejskich sekwencjach lessowo-glebowych w Polsce i w zachodniej części Ukrainy. *Rozpr. Nauk. IGiRR UW.*, 1.

KABATA-PENDIAS A., TARŁOWSKI P. 1970 – Wydzielanie roztworów glebowych metodą wirowania. *Rocz. Gleb.*, 21 (2): 457–461.

LIN R., WEI K. 2006 – Tritium profiles of pore water in the Chinese loess unsaturated zone: Implications for estimation of groundwater recharge. *J. Hydrol.*, 326: 192–199.

MYŚLIŃSKA E. 1972 – Chemizm roztworów porowych gruntów spoiстых o różnej genezie. *Kwart. Geol.*, 16 (1): 205–215.

MYŚLIŃSKA E. 1975 – Badanie wód porowych. [W:] Grabowska-Olszewska B. (red.), Metody badań gruntów spoiстых. Wydaw. Geol., Warszawa: 198–204.

MYŚLIŃSKA E. 2010 – Laboratoryjne badania gruntów i gleb. WUW, Warszawa.

PIETKIEWICZ S. 1958 – Wody kuli ziemskiej. PWN, Warszawa.

RACZYK J., JARY Z., KORABIEWSKI B., KRAWCZYK M., SKURZYŃSKI J. 2013 – Właściwości geochemiczne późnoplejstocenyjskiej sekwencji lessowo-glebowej w Zaprężynie (Wzgórza Trzebnickie). [W:] Pokrywa lessowa północnego Przyczarnomorza. Monografia naukowa (XVIII ukraińsko-polskie seminarium, Roksolany, 8–13 września 2013 r.). Kartpol s.c., Lublin: 225–235.

REYNOLDS B. 1984 – A simple method for the extraction of soil solution by high speed centrifugation. *Plant and Soil*, 78: 437–440.

STAŚKO S., TARKA R., OLIHWER T. 2010 – Lessy a podatność pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie wód. [W:] Mońka B. (red.), Zarządzanie Zasobami Wodnymi w dorzeczu Odry. Wyd. RZGW, Wrocław: 55–63.

SZCZEPAŃSKA J., SZCZEPAŃSKI A., KY V.N. 1980 – Wpływ ciśnienia na wyniki badań chemizmu wód porowych. *Kwart. Geol.*, 24 (4): 905–919.

TU X.B., KWONG A.K.L., DAI F.C., THAM L.G., MIN H. 2009 – Field monitoring of rainfall infiltration in a loess slope and analysis of failure mechanism of rainfall-induced landslides. *Eng. Geol.*, 105: 134–150.

ZENG R.Q., MENG X.M., ZHANG F.Y., WANG S.Y., CUI Z.J., ZHANG M.S., ZHANG Y., CHEN G. 2016 – Characterizing hydrological processes on loess slopes using electrical resistivity tomography – A case study of the Heifangtai Terrace, Northwest China. *J. Hydrol.*, 541, B: 742–753.

ZHANG Z.G., LIU F.Z., ZHANG H.P., LIU E.K. 1990 – Study of soil water movement and recharge rate of rainfall infiltration in aeration zone of loess by measuring natural tritium. *Hydrogeol. Eng. Geol.*, 3: 5–7.

Zhao J., LONG T., WANG C., ZHANG Y. 2012 – How the Quaternary climatic change affects present hydrogeological system on the Chinese Loess Plateau: A case study into vertical variation of permeability of the loess-palaeosol sequence. *Catena*, 92: 179–185.