

Prof. dr hab. Stanisław Staško, dr hab. Robert Tarka, dr Tomasz Olichwer
Zakład Hydrogeologii Podstawowej, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski
pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław
Department of General Hydrogeology, Institute of Geological Sciences, Wrocław University

LESSY A PODATNOŚĆ PIERWSZEGO POZIOMU WODONOŚNEGO NA ZANIECZYSZCZENIE WÓD

LOESSES AND GROUNDWATER VULNERABILITY TO POLLUTION

Streszczenie:

W artykule przedstawiono główne informacje na temat map hydrogeologicznych Polski. Następnie podano opis lessu jako osadu pyłowego pochodzenia eolicznego oraz osadów drobnoziarnistych genezy jeziornej czy pokryw pyłowych eolicznych, omówiono ich własności ochronne. Następnie przedyskutowano wpływ lessów na ochronę wód podziemnych przed zanieczyszczeniem. Metodykę oceny podatności (wrażliwości) wód podziemnych na zanieczyszczenia z powierzchni terenu przyjęto zgodnie z opracowaniem „Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie”. Obliczenia czasu migracji zanieczyszczeń przez warstwę glebową zbudowanych z warstw lessowych zilustrowane dla różnych wartości wskaźnika infiltracji efektywnej i pojemności wodnej profili glebowych wykazały, że pokrywy lessowe tworzą warunki zaliczane do klasy średnio i słabo zagrożonych.

Abstract

The article presents the main information about the Polish hydrogeological maps. Then, given a description of the loess sediment of aeolian origin and fine-grained sediments of a lake origin, discussed their protective properties. Discussed the impact of loess on the protection of groundwater against pollution is presented. A vulnerability assessment method of groundwater contamination from the surface was adopted in accordance with the development of “Map of groundwater vulnerability to pollution”. Calculations of time migration through a layer of soil made up of loess layers illustrated for different values of effective infiltration and storage capacity of soil profiles showed that the loess cover up the conditions included in the class of medium and low risk.

WSTĘP

Wśród wielu map hydrogeologicznych należy wymienić cztery mapy mające związek z analizowanym problemem tj. Mapa Głównych Zbiorników Wód Podziemnych wymagających szczególnej ochrony (GZWP), Mapa Hydrogeologiczna Polski (MhP), Mapa hydrogeologicznej Polski „Pierwszy Poziom

Wodonośny – występowanie i hydrodynamika” (MhP PPW-WH) oraz Mapa Wrażliwości Wód Podziemnych na Zanieczyszczenie (MWWP).

Mapa GZWP opracowana w skali 1:500 000 w roku 1990 pod kierunkiem prof. A.S. Kleczkowskiego jest graficznym obrazem struktur wodonośnych najbardziej zasobnych wód podziemnych o najwyższej jakości w kraju. Celem opracowania było wyznaczenie strategicznych zbiorników wód podziemnych, które winy być chronione dla przyszłych pokoleń jako perspektywiczne źródło zaopatrzenia [6]. Już wówczas wyprzedzała ustalenia Ramowej Dyrektywy Wodnej. Jako kryterium wydzielenia GZWP przyjęto parametry ilościowe i jakościowe tj. wydajność potencjalnego otworu studziennego powyżej 70 m³/h, wodoprzewodność warstwy/poziomu powyżej 10 m²/h i klasa jakości I.

W sumie wydzielono na obszarze kraju 180 zbiorników wymagających wysokiej i najwyższej ochrony. Zbiorniki podlegają aktualizacji a ich liczba uległa zmniejszeniu, obecnie jest ich 163.

Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, zwana dalej MhP, jest tematyczną mapą seryjną obejmującą 1069 arkuszy. Mapa dotyczy użytkowych poziomów zwykłych wód podziemnych z szerszą interpretacją głównego poziomu wodonośnego, stanowiącego najważniejsze źródło zaopatrzenia w wodę. Celem MhP jest kartograficzne odwzorowanie warunków hydrogeologicznych, w tym wskazanie głównego piętra/poziomu wodonośnego i jego charakterystyki jakościowej, ilościowej oraz zagrożeń zasobów wód podziemnych [4]. MhP sfinansowana została ze środków przekazanych przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej a głównym wykonawcą był Państwowy Instytut Geologiczny Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000.

Mapa MhP PPW-WH jest mapą seryjną, pozyskiwaną w cieciu arkuszowym analogicznie do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000. Mapa wykonywana jest od 2004 roku. W trzech pierwszych transzach zrealizowanych w latach 2005-2006 i 2006-2007 oraz 2008-2009 wykonano 534 arkusze. Obecnie realizowana jest IV transza obejmująca kolejne 150 arkuszy. Zakończenie transzy nastąpi 30 września 2011 roku. Mapa obejmują wybrane elementy charakterystyki hydrogeologicznej pierwszej od powierzchni terenu warstwy wodonośnej lub zespołu warstw wodonośnych, wykazujących dobrą łączność hydrauliczną, osiągających łączną miąższość, co najmniej 2 m przy średnim stanie retencji wód podziemnych. Charakterystyka obejmuje w szczególności elementy istotne dla ustalenia związków hydraulicznych pierwszego poziomu wodonośnego z wodami powierzchniowymi, ekosystemami zależnymi od wód podziemnych oraz obiektami zagospodarowania powierzchni terenu [3].

MWWP jest pierwszą mapą tego typu, obejmująca obszar całego kraju i w związku z tym oceniającą podatność naturalną płytkich wód podziemnych, z zastosowaniem jednolitej metodyki dla zróżnicowanych warunków ich wystę-

powania. Mapę MWWP wykonano w skali 1:500 000 w roku 2007 ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska na zlecenie Ministerstwa Środowiska. Na podstawie pozyskanych, a następnie zweryfikowanych materiałów stworzono mapę wynikową składającą się z 2 plansz:

- Plansza 1: Podatność na zanieczyszczenie wód podziemnych związanych z wodami powierzchniowymi oraz ekosystemami lądowymi zależnymi od wód podziemnych.
- Plansza 2: Podatność na zanieczyszczenie głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP).

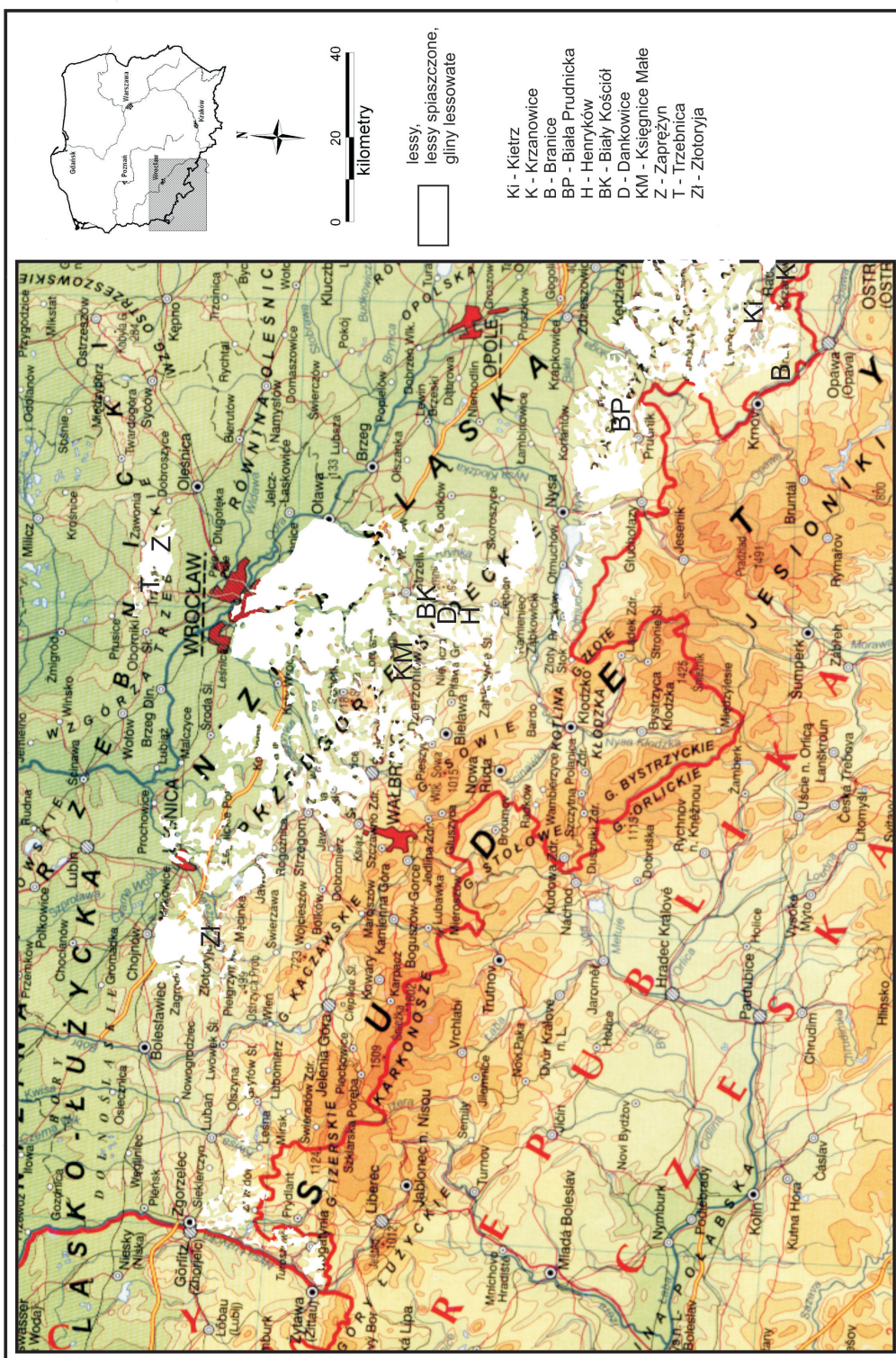
2. LESSY

Wg definicji less to osad pyłowy pochodzenia eolicznego, a ściślej „less to luźny osad składający się głównie z ziaren grubego pyłu niewarstwowany, porowaty, wodoprzepuszczalny, utrzymujący pionowe ściany, łatwo erodowalny przez wodę, lekka glina strukturalna blado-żółtego koloru będącego rezultatem drobno rozproszonego limonitu (wodorotlenku żelaza), w którym głównym składnikiem jest kwarc (40-80%) podrzędnie występują skalenie oraz zróżnicowane ilości minerałów ilastych (5-20%) i węglanów (1-20%)” [7].

Lessy w Polsce występują w pasie przedgórzy od Ukrainy (Wołyń i Podola) poprzez Wyżynę Sandomierską, Lubelszczyznę, Wyżyny Krakowską i Płaskowyż Głubczycki po Dolny Śląsk i Niemcy. Na obszarze południowo-zachodniej Polski obejmują one przedgórze Sudetów (blok przedsudecki) i pas wzgórz. Główne obszary występowania to Płaskowyż Głubczycki, Wzgórze Niemczańsko-Strzelińskie, Wzgórze Trzebnickie oraz Nizina Śląska aż po Nieckę Węgliniec-Żytawa (rys.1).

Najbardziej znane z Dolnego Śląska w literaturze wystąpienia tych skał na powierzchni terenu to takie stanowiska jak: Kietrz, Krzanowice, Branice, Biała Prudnicka, Henryków, Biały Kościół, Dankowice, Księginice Małe, Zapreżyn, Trzebnica i Złotoryja.

W składzie mineralnym lessów dominują krzemionka (SiO_2) – 80÷85% wagowych oraz węglany (CaCO_3 2÷12%) i domieszki Fe_2O_3 – 3,3÷7,4%, Al_2O_3 – 2,8÷3,7% oraz MgO 1,0÷2,0% wagowych. Ich wiek jest określany na górny plejstocen. W profilu lessów Dolnego Śląska można wyróżnić: lessy smugowate, laminowane, masywne i piaszczyste oraz towarzyszące im poziomy konkrecji węglanowych, manganowo-żelazistych, poziom glejowy, wietrzeniowo-glebowy, poziom brunatnienia, iluwialny, eluwialny i humusowy. Domieszka piaszczysta często przekracza 20% [5]. Miąższość osadów lessowych i kompleksów glebowo-lessowych w rejonie Zapreżyna, Białego Kościoła, Dankowic i Księginic Małych wynosi od 4,7 do 9,0 m.



3. METODA OCENY PODATNOŚCI NA ZANIECZYSZCZENIE PIERWSZEGO POZIOMU WODONOŚNEGO

Metodykę oceny podatności (wrażliwości) przyjęto za modyfikacją sposobu opracowania warstw informacyjnych „Mapy Wrażliwości Wód Podziemnych na Zanieczyszczenie” [1].

Miarą stopnia naturalnej podatności jest zasadniczo suma czasu przesączania i/lub przesiąkania pionowego zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu do zbiornika (t_a) oraz czasu migracji poziomej zanieczyszczeń konserwatywnych spoza obszaru zbiornika do jego granic (t_p) w rejonach jego zasilania:

$$t = t_a + t_p$$

Czas przesączania pionowego (t_a) jest uzależniony od litologii skał, a szczególnie od ich zdolności do nasycenia por wodą, miąższości strefy aeracji i intensywności zasilania, czyli infiltracji efektywnej. Dla oceny podatności pierwszej od powierzchni warstwy wodonośnej określa się czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przez profil glebowy i niższą część strefy aeracji. Podatność głębszych, drugich od powierzchni, naporowych warstw wodonośnych określa się poprzez sumę prędkości przesączania przez przypowierzchniowe utwory dobrze przepuszczalne i prędkości przesiąkania przez półprzepuszczalne utwory rozdzielające. Sposób prawidłowego podejścia do oceny czasu przesączania pionowego jest, więc złożony. Natomiast podstawowy wzór na czas przesączania pionowego (t_a) autorzy mapy MWWP podają poniżej:

$$t_a = \frac{m_A \times w_o}{R}$$

gdzie:

t_a – czas przesączania przez strefę aeracji [lata]

m_A – miąższość strefy aeracji [m]

w_o – przeciętna wilgotność objętościowa utworów strefy aeracji [–]

R – infiltracja efektywna [m/rok], $R = P \times \omega_i$, gdzie: P – średni wieloletni opad [m/rok],

ω_i – wskaźnik infiltracji efektywnej [–]

Przyjęto sposób realizacji głównej warstwy informacyjnej – klas podatności płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenie wg zmodyfikowanej klasyfikacji Fostera [2].

←

Rys. 1. Mapa występowania lessów na Dolnym Śląsku (podkład Mapa topograficzna 1:500 000)

Dla płytkich wód podziemnych klasy podatności wód ocenia się na podstawie czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe. Algorytm obliczeniowy przyjęty przez autorów mapy MWWP wymagał przygotowania sekwencji pomocniczych warstw informacyjnych. Miarą zagrożenia jest czas wymiany połowej pojemności wodnej przez infiltrujące opady atmosferyczne. Niska pojemność wodna oznacza krótki czas wymiany, a tym samym wysokie zagrożenie. Wysoka pojemność wodna oznacza nie tylko dłuższy czas wymiany. Większa ilość wody wynika także z obecności w profilu materiału drobno dyspersyjnego (cząstek ilasto-pylastych), a więc jest także wskaźnikiem wyższych zdolności sorpcyjnych skał strefy aeracji. Sorpcja wywołuje dodatkowe opóźnienie części zanieczyszczeń, a więc mniejsze zagrożenie. Pojemność wodna strefy aeracji i czas wymiany wody jest, zatem wskaźnikiem kompleksowym pozwalającym w sposób uzasadniony przyrodniczo klasyfikować podatność płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenie.

Tab. 1. Klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie wg Foster et al. (2002) porównane ze zmodyfikowaną klasyfikacją opartą na czasie migracji wg zasad przyjętych dla ochrony GZWP w Polsce [6] za Duda et al., 2004.

Klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie wg Foster	Definicja wg Foster	Przybliżony czas migracji do zbiornika wód podziemnych wg zasad przyjętych dla ochrony GZWP w Polsce [lata]
Bardzo podatne	Ośrodek podatny na większość zanieczyszczeń. Szybki wzrost zanieczyszczenia dla wielu scenariuszy migracji zanieczyszczeń.	<5
Podatne	Ośrodek podatny na wiele typów zanieczyszczeń, oprócz silnie sorbowanych (np. metale ciężkie).	5 – 25
Średnio podatne	Ośrodek podatny na niektóre typy zanieczyszczeń, ale tylko, gdy są wprowadzane lub wylugowywane w sposób ciągły.	26 – 50
Mało podatne	Ośrodek podatny tylko na zanieczyszczenia konserwatywne wprowadzane lub wylugowywane w sposób ciągły i na dużym obszarze.	51 – 100
Bardzo mało podatne	Obecne są warstwy izolujące o minimalnym przesączaniu lub istnieje naturalna trwała bariera hydrauliczna.	>100

4. OCENA PODATNOŚCI LESSÓW

Klasy podatności na zanieczyszczenia konserwatywne z powierzchni terenu ocenia się na podstawie czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe. Czas ocenia się przyjmując wymianę całości wody zawartej w skale zarówno w porach aktywnych jak i w porach matrycy skalnej. Jest to uzasadnione możliwością dyfuzyjnego przenikania substancji rozpuszczonych z por aktywnych do por matrycy skalnej. Należy zaznaczyć, że czas podany na mapie dotyczy wymiany w naturalnym cyklu hydrologicznym przy założeniu średniej infiltracji rocznej. W przypadku zrzutów punktowych (np. wylewisko ścieków) intensywność infiltracji może być wielokrotnie większa od pochodzącej z opadów atmosferycznych.

Algorytm oceny podatności na podstawie pomocniczych warstw informacyjnych wymienionych ma postać:

$$MRT = MRT_s + MRT_1 + MRT_2$$

gdzie:

MRT – całkowity czas wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrujące wody opadowe [lata]

MRT_s – czas wymiany połowej pojemności wodnej profilu glebowego [lata]

MRT_1 – czas wymiany połowej pojemności wodnej skał przepuszczalnych strefy aeracji [lata]

MRT_2 – czas wymiany połowej pojemności wodnej skał słaboprzepuszczalnych i izolujących w profilu strefy aeracji [lata]

Przy czym:

$$MRT_s = \frac{(1000 \times 1,5 \times w_o)}{R}$$

$$MRT_1 = \frac{(m_A - 1,5) \times (1 - Sp) \times w_o}{R}$$

$$MRT_2 = \frac{(m_A - 1,5) \times Sp \times w_o}{R}$$

gdzie:

w_o – pojemność wodna profilu glebowego [ułamek objętościowy] Miąższość profilu glebowego przyjęto jako 1,5 m, gdyż taka miąższość uwzględniana jest na mapach glebowych. ($1000 \times 1,5$ oznacza przeliczenie miąższości na mm w celu uzgodnienia jednostek)

R – wielkość infiltracji efektywnej oceniona na podstawie wielkości zasobów odnawialnych. Pierwotnie na obszarze testowym przedstawiono ją dla poszczególnych jednostek hydrogeologicznych wg MhP 1:50000 w przeliczeniu na mm/rok

m_A – miąższość strefy aeracji, czyli głębokość do „pierwszej wody” wg danych z mapy hydrogeologicznej Polski 1:300 000 [m] . We wzorach podano ($m_A - 1.5$), co oznacza odjęcie z obliczeń 1.5 m profilu glebowego

Sp – udział warstw izolujących w profilu strefy aeracji [%]

Obliczenia czasu migracji zanieczyszczeń przez warstwę glebową dla różnych, ale typowych wartości wskaźnika infiltracji efektywnej Dolnego Śląska zawiera tab. 2.

W obliczeniach przyjęto wskaźnik zalecany przez autorów mapy MWWP [1] typowy dla lessów wskaźnik infiltracji $-0,13$ oraz pojemność wodną profilu glebowego $0,24$.

Tab. 2. Czasy wymiany polowej pojemności wodnej profilu glebowego [lata]

Opady atm. P [mm]	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Infiltracja efektywna R [mm]	71,5	78	84,5	91,0	97,5	104	110	117	123,5	130
Czas wymiany MRT_s [lata]	5,0	4,6	4,2	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8

Wyniki wskazują, iż czasy wymiany polowej pojemności wodnej profilu glebowego zawierają się w przedziale 2,8-5,0 lat. Uwzględniając miąższości pokryw lessowych na Dolnym Śląsku [5] w zakresie 1-10 m oraz przyjęte wcześniej wielkości infiltracji efektywnej (od 71 do 130 mm – wielkość opadu pomnożona przez wskaźnik infiltracji) obliczono czas wymiany polowej pojemności wodnej skał przepuszczalnych strefy aeracji zbudowanej z pokryw lessowych zakładając udział 10% frakcji ilastej.

Tab. 3. Czas wymiany polowej pojemności wodnej skał przepuszczalnych strefy aeracji zbudowanej z utworów lessowych

Miąższość M [m]	5	6	7	8	9	10
Infiltracja efektywna R [mm]	71/130	71/130	71/130	71/130	71/130	71/130
Czas wymiany MRT_s [lat]	10/5,8	13,6/7,4	16,7/9,1	19,7/10,8	22,8/12,5	25/14,1

Wartości rozdzielone ukośnikiem wyrażają skrajne wskaźniki infiltracji i czasy.

Obliczenia wykazują, iż czasy przejścia zanieczyszczeń konserwatywnych przez pokrywę skał lessowych o miąższości 5÷10 m wynoszą od 5,8 lat dla wysokiej infiltracji rzędu 130 mm do 25 lat dla miąższości 10 m. Można, więc stwierdzić, że począwszy od miąższości 10 m pokrywy lessowe tworzą warunki zaliczane do klasy słabo zagrożonych.

5. PODSUMOWANIE

Miąższość pokryw lessowych występujących na znacznych obszarach Dolnego Śląska i Śląska Opolskiego zawiera się w przedziale od 1 do 10 m. Ich własności hydrogeologiczne sprawiają, iż można je zaliczyć do klasy utworów średnio podatnych na zanieczyszczenia (czas migracji 25÷50 lat) a lokalnie przy maksymalnej miąższości i wysokiej zawartości frakcji ilastej lub obecności pokryw glin do klasy mało podatnych (czas migracji 50÷100 lat).

PIŚMIENNICTWO

- [1] Duda R., Karlikowska J., Witczak S., Żurek A.: Modyfikacją sposobu opracowania warstw informacyjnych Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie. AGH, Kraków 2004.
- [2] Foster S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M., Paris M.: Groundwater quality protection – a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. The World Bank, Washington, DC, USA 2002.
- [3] Herbich P., Nidental M., Woźnicka M.: Założenia metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS mapy hydrogeologicznej polski 1:50 000 „pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód” PIG, Warszawa 2004.
- [4] Instrukcja opracowania i komputerowej edycji Mapy Hydrogeologicznej polski w skali 1:50 000, PIG, Warszawa 1999.
- [5] Jary Z.: Zapis zmian klimatu w górnoplejstocęńskich sekwencjach lessowo-glebowych w Polsce i zachodniej części Ukrainy. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego. Wyd. DPT Promotor Media Wydawnictwo Paweł Karamański. Wrocław 2007, 1-136.
- [6] Kleczkowski A.S. (red.): Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. AGH, Kraków 1990.
- [7] Pesci W.: Loess is not just accumulation of airborne dust. Quaternary International 1990, vol. 7/8: 1-21.