

JAROSŁAW KASZUBKIEWICZ¹, WANDA TASZ², DOROTA KAWAŁKO¹,
 RAFAŁ SERAFIN³

PROPOZYCJA UPROSZCZENIA MODELU USLE DLA OBSZARU MAŁEJ ZLEWNI ROLNICZEJ

USLE MODEL SIMPLIFICATION PROPOSAL FOR APPLICATION IN A SMALL AGRICULTURAL CATCHMENT AREA

¹Institut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy,

²KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław,

³Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy Oddział Dolnośląski

Abstract: The paper presents a method based on the standard USLE model for computing surface runoff in a small catchment area with different land use. The agricultural use is assigned to each slope randomly taking into consideration the land capability unit. The average value of surface runoff computed by multiple sampling refers to longer time intervals and the final result does not depend on the result of a single sampling.

Słowa kluczowe: zmyw powierzchniowy, model erozji wodnej, użytkowanie terenu.

Key words: erosion model, surface runoff, land use.

WSTĘP

Najbardziej rozpowszechnioną metodą prognozowania strat gleby na skutek erozji wodnej powierzchniowej jest opracowany w USA model USLE (*Universal Soil Loss Equation*) [Wischemeier, Smith 1978; Renard i in. 1991; Merrit i in. 2003]. W zmodyfikowanych do miejscowych warunków formach model ten został z powodzeniem zastosowany w wielu krajach, w tym także w Polsce [Koreleski 1992; Mularz, Drzewiecki 2007]. Model USLE pozwala przewidywać średnią wielkość strat gleb, zachodzących wskutek erozji wodnej dla dowolnych, znanych kombinacji zmianowania i zabiegów uprawowych, przy określonych właściwościach gleby i topografii terenu oraz przy znanej erozyjności opadów, zastępowanej w niektórych uproszczeniach wielkością opadów.

Metoda USLE opiera się na założeniu, że straty glebowe zachodzące na skutek erozji wodnej zależą od kilku podstawowych czynników, a ich wielkość można przedstawić w formie równania:

$$[1] A = R \times K \times LS \times C \times P$$

w którym:

- A – wielkość rocznych strat glebowych (średnich wieloletnich), wyrażonych w tonach na hektar,
- R – czynnik opadowy, determinujący wielkość strat,
- K – czynnik wynikający ze składu granulometrycznego i zawartości próchnicy w glebie,
- LS – czynnik określony przez długość i nachylenie stoku,
- C – określa wpływ uprawy poszczególnych roślin,
- P – skuteczność zabiegów ochronnych.

Zastosowanie modelu dla większych powierzchni o zróżnicowanych przestrzennie wartościach parametrów K , LS , C , P oraz dla dłuższych okresów czasowych, gdzie ze względu na zmiany sposobu gospodarowania (grunty orne – użytki zielone) i stosowanie płodozmianu, wartości parametru C zmieniają się na poszczególnych stokach, napotyka jednak na poważne trudności obliczeniowe [Chodak i in. 2005; Andrzejczak 2005; Kaszubkiewicz i in. 2007, 2008].

Celem badań było znalezienie procedury obliczeniowej umożliwiającej zastosowanie modelu dla obszaru małej zlewni rolniczej przy zmieniających się w kolejnych latach uprawach na poszczególnych stokach.

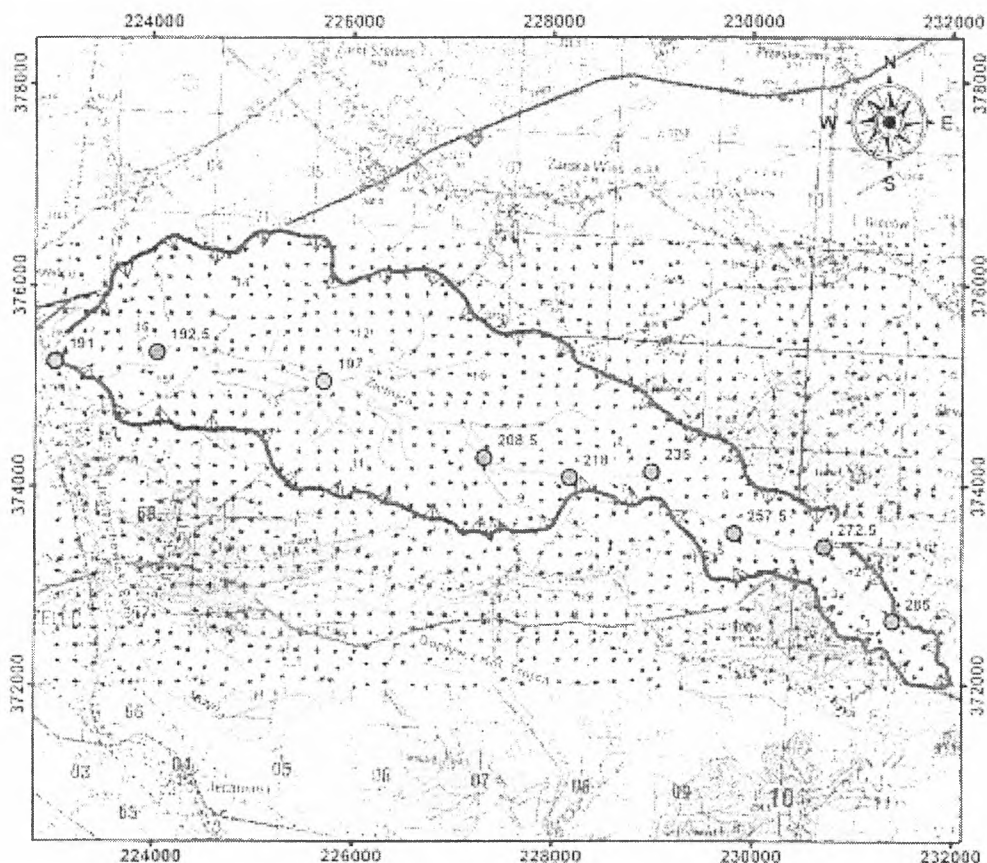
MATERIAŁY I METODY

Procedurę obliczeniową testowano na obszarze zlewni rzeki Zielnica, położonej na Pogórzu Izerskim i w Obniżeniu Żytawsko-Zgorzeleckim. Uprawy przyporządkowywano do stoków drogą losowania. Prawdopodobieństwo przyporządkowania w losowaniu konkretnej uprawy do danego stoku uwzględnia kompleksy rolniczej przydatności gleb oraz dane statystyczne o areale poszczególnych upraw na obszarze gminy. Lasy uznano za obszary o niezmiennym sposobie użytkowania.

Zlewnię rzeki Zielnica podzielono na 16 obszarów, z których woda spływa bezpośrednio do rzeki bądź też do zasilających ją cieków (rys.1). Obszary te oraz kierunki spływów wydzielono na podstawie mapy wysokościowej oraz skonstruowanego w tym celu cyfrowego modelu terenu (rys. 2). Obszary te podzielono na podobszary (od 2 do 4) o jednakowym nachyleniu i określono dla nich wartość czynnika LS (łącznie wydzielono 48 podobszarów). Zastosowano algorytm dla stoków o zmiennym nachyleniu, wprowadzając modyfikację umożliwiającą uwzględnienie zróżnicowanej powierzchni poszczególnych części stoku.

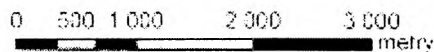
$$[2] \quad v_i = \frac{w_i p_i}{\sum_{k=1}^n w_k p_k}$$

W powyższym wzorze w_i są to wartości wag przypisywane poszczególnym częściom stoku (podobszarom), zgodnie z metodyką USDA [Wischmeier i in. 1978], p_k oznaczają powierzchnie poszczególnych części (podobszarów) stoku, natomiast v_i są wartościami wag uwzględniającymi zróżnicowaną powierzchnię poszczególnych podobszarów.



OBJAŚNIENIA:
LEGEND

- 191** Punkty charakterystyczne z pomiarem wysokości terenu (m n.p.m.)
 Characteristic points with the high measurement (m n.p.m.)
- Granica zlewni rzeki Zielnica
 The border of the river basin Zielnica
- Główne rzeki
 Mains rivers
- Kierunki splywu wód powierzchniowych
 The directions of the natural waters flow
- Obszar o uśrednionych nachyleniach i kierunkach splywu wód powierzchniowych
 The area of the mean gradient and the directions of the natural waters flow



RYСУNEK 1. Mapa kierunków splywu wód powierzchniowych zlewni rzeki Zielnica
FIGURE 1. The map natural water flow in the Zielnica river catchment

Średnie nachylenie poszczególnych części stoku obliczono jako średnią arytmetyczną z nachyleń określonych w punktach siatki o wymiarach 150 x 150 m. Całkowite nachylenie w punkcie siatki o współrzędnych i, j obliczono z równania:

$$[3] S_{i,j} = \max (S_{i,j}^{(N)}, S_{i,j}^{(E)}, S_{i,j}^{(S)}, S_{i,j}^{(W)})$$

gdzie: $S_{i,j}^{(N)}$, $S_{i,j}^{(E)}$, $S_{i,j}^{(S)}$, $S_{i,j}^{(W)}$ są wartościami nachyleń w kierunkach na północ,

wschód, południe i zachód od punktu o współrzędnych i, j .

Wartość czynnika LS dla całego stoku obliczano za pomocą równania:

$$[4] LS = \sum_{i=1}^n LS_i v_i$$

gdzie sumowanie przebiega po poszczególnych częściach stoku, LS_i określane jest dla każdej z części za pomocą równania podanego przez USDA [Wischmeier i in. 1978], a v_i obliczane jest z równania [2].

Podatność erozyjną K , dla poszczególnych obszarów, określono na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000, przyjmując uśrednione dla poszczególnych grup granulometrycznych, odczytanych z mapy zawartości frakcji pyłu i łu. Dla poszczególnych części stoku wartości K_i obliczano za pomocą równania podanego przez USDA [Wischmeier i in. 1978]. Dla całego stoku wartość wskaźnika K obliczano jako średnią ważoną powierzchniami p_i z wartości wskaźników K_i dla poszczególnych części stoku:

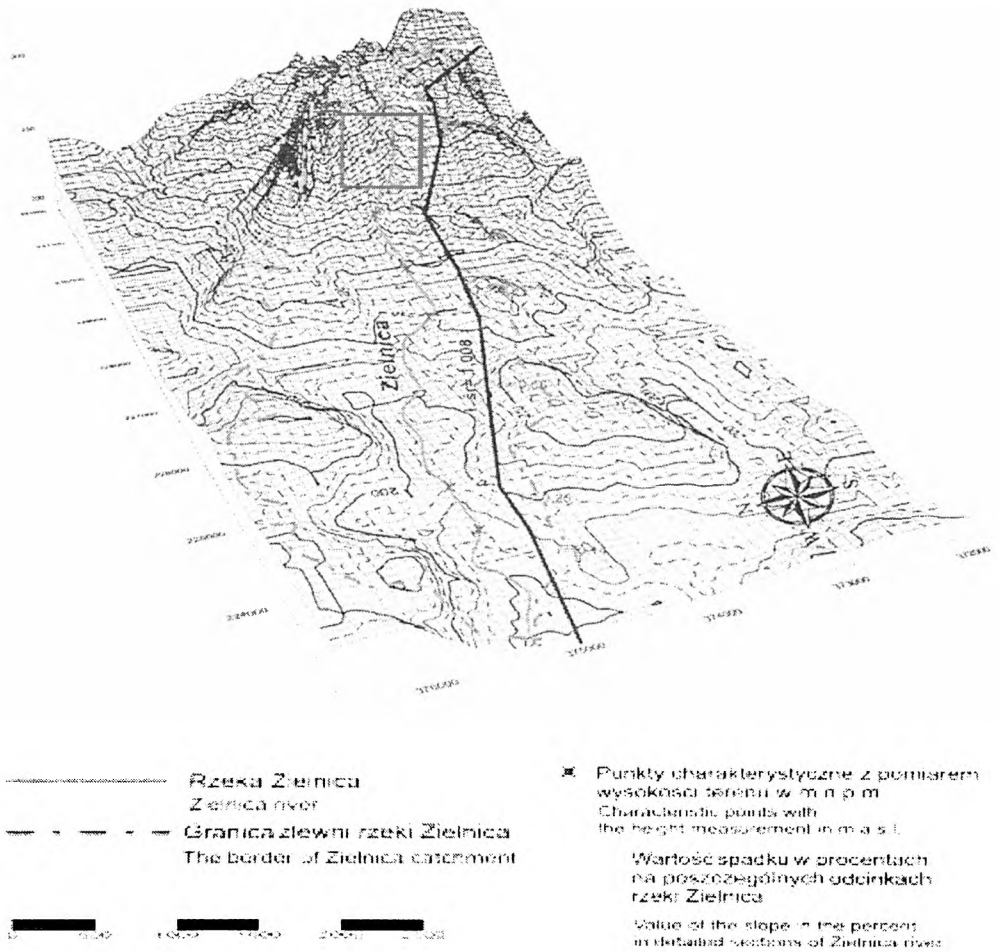
$$[5] K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Zawartość materii organicznej, klasę agregatów glebowych oraz klasę przepuszczalności wodnej niezbędne do obliczenia podatności erozyjnej szacowano uwzględniając skład granulometryczny i typologię gleb.

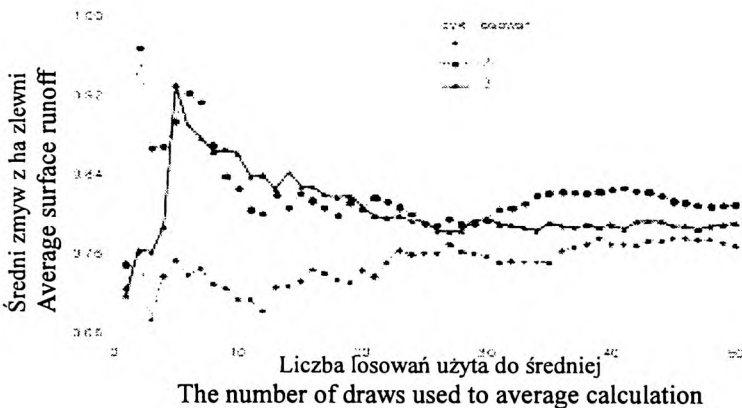
Czynnik opadowy przyjęto jednakowy dla całej zlewni korzystając z danych ze stacji klimatologicznej w Zgorzelcu.

Na obszarze zlewni rzeki Zielnica nie stwierdzono stosowania szczególnych zabiegów przeciwoerozyjnych. Niemniej jednak na części stoków układ granic pól i topografia terenu skłoniły rolników do zastosowania uprawy poprzecznostokowej. W takich przypadkach przyjęto wartości współczynnika P mniejsze od 1. Wartości parametru P dla całych stoków obliczano, podobnie jak dla parametru K jako średnią ważoną z wartości dla poszczególnych części stoku.

Stwierdzono, że stosowane zmianowanie gatunków roślin uprawnych na poszczególnych stokach, a nawet częściach stoków w toku 3-letnich badań uprawniało się każdego roku. Uniemożliwiła to przyjęcie dla danego stoku jednej określonej wartości współczynnika C z równania [1] [Wischmeier i in. 1978]. Przyjęto zatem procedurę, w myśl której sposób użytkowania jest dla danej części stoku określany drogą losowania. Prawdopodobieństwo wylosowania poszczególnych zasiewów przyjęto na poziomie wynikającym z arealu zasiewów poszczególnych gatunków roślin na terenie gminy (dostępne dane statystyczne), odniesionego do całej powierzchni zasiewów. Przyjęto poprawkę uwzględniającą kompleks rolniczej przydatności danej gleby. Grunty pod lasami oraz użytki zielone, uznano za użytkowane w sposób niezmienny i przypisano im stałe wartości czynnika C .



RYSUNEK 2. Model ukształtowania powierzchni terenu zlewni rzeki Zielnica
FIGURE 2. Digital elevation model of the Zielnica river catchment



RYSUNEK 3. Średnia wielkość zmywu [$Mg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$] obliczona dla całej zlewni w 3 przykładowych cyklach losowań po 50 losowań w każdym cyklu.
FIGURE 3. Average surface runoff [$Mg \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$] calculated for whole catchment for 3 cycles of sample draws (50 draws in each cycle)

Wartość czynnika C dla całego stoku obliczano, podobnie jak poprzednio, jako średnią ważoną z wartości dla poszczególnych części stoku C_p , gdzie wartościami wagowymi są powierzchnie poszczególnych części stoku p_i .

WYNIKI I DYSKUSJA

Wielkość zmywu gleby, obliczonego opisaną powyżej metodą, uśrednionego dla całej zlewni przedstawiono na rysunku 3. Jak widać, o ile wyniki dla pojedynczych losowań różnią się w sposób istotny, to uśrednienie dla kilkunastu losowań powoduje zbieżność do pewnej wartości.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń dla 6 cykli losowań próbnych (przy 50 losowaniach w każdym cyklu), stwierdzono, że obliczone z zastosowaniem modelu ilości materiału zmywanego na obszarze zlewni rzeki Zielnica zmieniają się w granicach od 0,766 do 0,815 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, przy czym uśredniona dla wszystkich cykli losowań ilość materiału zmywanego, wynosi 0,793 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Analiza statystyczna pozwoliła stwierdzić, że z prawdopodobieństwem błędu $p < 0,05$, wartości średnie różnią się o mniej niż 10% po 14 losowaniach i o mniej niż 5% po 37 losowaniach (tab. 1). Z prawdopodobieństwem błędu $p < 0,01$ wartości średnie różnią się o mniej niż 10% po 22 losowaniach i o mniej niż 5% po 44 losowaniach. Są to zatem okresy zbliżone do minimalnego czasu uśredniania wyników dla modelu USLE wynoszącego 20 lat [Wischmeier i in. 1978].

Uzyskana zbieżność dla większej liczby losowań, przyporządkowujących uprawiane rośliny do stoków oznacza, że model może generować duże błędy, przy próbie oceny erozji powierzchniowej w pierwszym roku, ale jednocześnie stosunkowo dobrze nadaje się do prognozowania uśrednionych wartości zmywu powierzchniowego w dłuższych okresach czasowych.

W literaturze przedmiotu dominuje uproszczone podejście do kwestii doboru wartości parametru C w modelu USLE/RUSLE. Część autorów traktuje użytkowanie jako czynnik stały w czasie, określając wartość parametru C na podstawie mapy glebowo-rolniczej [Tracz 2004] lub też za pomocą metody teledetekcji [Hacisalihoglu i in. 2010]. Do takich metod należy na przykład określanie parametru C przy korzystaniu z wartości indeksu NDVI (*normalized difference vegetation index*) [Gitas i in. 2009]. Zdaniem autorów niniejszej pracy takie postępowanie jest uzasadnione przy obliczaniu uśrednionej wartości zmywu powierzchniowego na dużych powierzchniach, a może być przyczyną znacznych błędów przy obliczeniach w skali małej zlewni.

Inne spotykane uproszczenie polega na wydzieleniu tylko gruntów ornych, użytków zielonych i lasów i przypisywaniu im wartości parametru C bez różnicowania upraw na gruntach ornych i bez uwzględniania możliwości przekształcania użytków zielonych na

TABELA 1. Parametry charakteryzujące zastosowaną metodę przy 6 cyklach losowego rozdzielania uprawianych roślin – po 50 losowań w każdym cyklu

TABLE 1. Parameters characterizing the method applied to 6 cycles of a random distribution of cultivated plants -- 50 draws at each cycle

Maksymalna i min. wielkość zmywu po 50 losowaniach The maximum and minimum size of washing by rain after 50 draws [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$]	Średnia wielkość zmywu po liczbie losowań – Average size of washing by rain after number of draws [$\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$]			Liczba losowań, po której wyniki z prawdopodobieństwem $p < 0,05$ różnią się o więcej niż Number of draws, after which the results with probability $p < 0.05$ differ of about more than	
	10	30	50	10%	5%
0,766	0,815	0,802	0,792	0,793	14

grunty orne i odwrotnie [Mularz i in. 2007]. Znaczne zróżnicowanie wartości parametru *C* dla poszczególnych roślin uprawnych [Koreleski 1992] oznacza jednak duże błędy przy zastosowaniu tego uproszczenia. Proponowana metoda wydaje się zatem stosunkowo nieskomplikowanym rozwiązaniem umożliwiającym poprawę dokładności prognoz uzyskiwanych w modelu USLE dla obszarów w skali małej zlewni, dla których jesteśmy w stanie zebrać dane dotyczące użytkowania.

WNIOSKI

1. Zastosowana metoda losowego przyporządkowania upraw do stoków umożliwia określenie uśrednionej wielkości zmywu powierzchniowego gleby dla dłuższych okresów badawczych na obszarze małej zlewni o zróżnicowanym użytkowaniu.
2. Do określenia średniej wielkości zmywu powierzchniowego wystarczy znajomość areалу poszczególnych użytków i uprawianych roślin oraz uwzględnienie ograniczeń związanych z kompleksami rolniczej przydatności gleb.
3. Pozostałe dane stosowane w obliczeniach USLE mają względnie stały charakter i mogą być odczytane z cyfrowego modelu terenu, mapy glebowo-rolniczej oraz pozyskane z danych IMGW.

LITERATURA

- ANDRZEJCZAK M. 2005: Ilość oraz skład granulometryczny i chemiczny splukiwanego materiału glebowego na wybranych obiektach badawczych w Sudetach. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 5, 2(15): 185–200.
- CHODAK T., KASZUBKIEWICZ J., TASZ W. 2005: Zawartość makroelementów w materiale zmywanym oraz w erodowanych glebach Kotliny Kłodzkiej. *Acta Agrophysica* 5 (3): 577–587.
- GITAS I. Z., DOUROS K., MINAKOU C., SILLEOS G. N., KARYDAS C. G. 2009: Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL eProceedings* 8, 1/2009: 40–52.
- HACISALIHIOGLU S., MERT A., NEGIZ M. G., MUYS B. 2010: Soil loss prediction using universal soil loss equation (USLE) simulation model in a mountainous area in Aglasun district, Turkey. *African J. Biotechnology* 9(24): 3589–3594.
- KASZUBKIEWICZ J., TASZ W., ANDRZEJCZAK M. 2007: Wpływ rzeźby terenu i opadów atmosferycznych na wielkość strat materiału glebowego, ładunek makroelementów i zasolenie na wybranych toposekwencjach gleb w Sudetach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 520, cz. II: 491–500.
- KASZUBKIEWICZ J., TASZ W., ANDRZEJCZAK M. 2008: Zawartość makroelementów w materiale zmywanym i w erodowanych glebach Kotliny Kłodzkiej. *Rocz. Glebozn.* 59, 3/4: 108–114.
- KORELESKI K. 1992: Próba oceny natężenia erozji wodnej. *Zesz. Nauk AR w Krakowie, 271, Sesja Naukowa* 35: 91–100.
- MERRIT W.S., LETCHER R.A., JAKEMAN A.J. 2003: A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software* 18: 761–800.
- MULARZ S., DRZEWIECKI W. 2007: Ocena zagrożenia gleb erozją wodną w rejonie zbiornika Dobczyckiego w oparciu o wyniki numerycznego modelowania. *Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji* 17b: 535–548.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., PORTER J.P. 1991: Revised universal soil loss equation. *J. Soil and Water Conservation* 46(1): 30–33.
- TRACZ P. 2004: Metody oceny odporności środowiska przyrodniczego na degradację z wykorzystaniem technik GIS. Perspektywy rozwoju regionu w świetle badań krajobrazowych. *Problemy Ekologii Krajobrazu PAEK*, Kielce: 277–285.
- WISCHMEIER W. H., SMITH D. D. 1978: Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning USDA. *Agric. Handbook No 537*. US Gov. Print. Office, Washington DC: 1–58.

Dr hab. Jarosław Kaszubkiewicz
Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy
50-357 Wrocław, ul. Grunwaldzka 53
e-mail: jaroslaw.kaszubkiewicz@up.wroc.pl