

WYZNACZENIE BEZWYMIAROWEGO WSKAŹNIKA DOPIŁYWU RUMOWISKA

ESTIMATION OF DIMENSIONLESS SEDIMENT DELIVERY RATIO

Bogusław Michalec, Marek Tarnawski, Agata Majerczyk,
Tomasz Koniarz, Katarzyna Wachulec
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki obliczeń bezwymiarowego współczynnika dopływu rumowiska DR za pomocą dziesięciu różnych formuł. Stwierdzono znaczne zróżnicowanie uzyskanych wartości DR. W celu określenia możliwości zastosowania poszczególnych wzorów porównano wyniki obliczeń średniego rocznego natężenia transportu rumowiska unoszonego, określonego na podstawie pomiarów batometrycznych, z wynikami obliczeń metodą DR-USLE. Na podstawie obliczonego rocznego natężenia transportu rumowiska, w przekroju wodowskazowym Kotań rzeki Wisłoki, z okresu 33 lat określono wartość średnią natężenia transportu, którą porównano z wartością obliczoną metodą DR-USLE. Uzyskano różnice wyników wynoszące od 13,7% do –336,9%, które wskazują na brak podstaw do zastosowania niektórych z analizowanych wzorów do określenia wskaźnika dopływu rumowiska w zlewni rzeki Wisłoki. Najmniejsze różnice wyników uzyskano, stosując wzór Williamsa i Berndta, a także dwa wzory Roehla i wzór Williamsa.

Abstract. The study shows the results of calculations of dimensionless sediment delivery ratios DR with ten different formulas. Various DR results were obtained. In order to specify the possibilities of using particular formulas the results of the average annual sediment load were compared with the results of calculations obtained by DR-USLE method. Having acquired the hydrological data of on mean 24 hours' flows and the results of measurements of suspended sediment concentration at the Kotań water-gauge on the river Wisłoka the mean annual sediment load was specified. Taking into consideration the calculated annual sediment load over the span of 33 years average of sediment transport was determined which was compared with value calculated by DR-USLE method. The obtained results were different and ranged from 13.7 to –336.9%. This shows that there is no reason to use

some of those analyzed formulas to specify sediment delivery ratio in the basin of Wisłoka river. The least differences were obtained with the use of Williams and Berndt formula as well as Roehl formula and Williams formula.

Słowa kluczowe: erozja, rumowisko rzeczne, USLE, DR

Key words: erosion, sediment, USLE, SDR

WSTĘP

W realizacji wielu prac inżynierskich, takich jak regulacja rzeki i potoków, projektowanie obiektów budownictwa wodnego, m.in. stopni, jazów, zbiorników zaporowych, ujęć wodnych, konieczne jest dysponowanie danymi dotyczącymi intensywności transportu rumowiska rzeczno-eg. Ze względu na niejednokrotny brak danych hydrologicznych, obejmujących natężenie przepływu wody i odpowiadającą mu koncentrację rumowiska unoszonego, określenie intensywności transportu rumowiska rzeczno-eg możliwe jest jedynie za pomocą tzw. metod pośrednich. Metody te umożliwiają określenie transportu rumowiska w oparciu o równania empiryczne, półempiryczne i teoretyczne [Michalec 2009]. Służą one ustaleniu wielkości transportu rumowiska unoszonego na podstawie określonych parametrów opisujących przepływ wody i rumowiska w korycie lub szeregu czynników wpływających na erozję w zlewni oraz ilość materiału dostarczanego do koryta rzeczno-eg. Metody empiryczne zostały opracowane na podstawie pomierzonych natężeń transportu rumowiska unoszonego w przekrojach cieków lub na podstawie wyników badań natężenia procesów erozyjnych w zlewni. Do pierwszych można zaliczyć metodę Brańskiego [1975], a do drugich metodę Reniger-Dębskiego [Reniger 1959, Dębski 1959] i metody bazujące na uniwersalnym równaniu strat glebowych, tj. USLE [Wischmeier i Smith 1965] lub RUSLE [Renard i in. 1997], oraz wyznaczonym bezwymiarowym wskaźniku dopływu rumowiska DR (*sediment delivery ratio*). Wskaźnik ten określa, jaka część produktów erozji w zlewni dostaje się do cieku. Wyznaczając średnią roczną ilość rumowiska odpływającego ze zlewni na podstawie wyników obliczeń strat glebowych metodą USLE, wskaźnik DR najczęściej określa się z zależności funkcyjnej opracowanej przez Roehla [1962]. Ten sposób określenia natężenia transportu rumowiska zawierają m.in. prace Farnhama i in. [1966], Van Vlieta i in. [1978], Bogardiego i in. [1983], Banasika i Górskiego [1992], Bednarczyka i in. [2000], Górskiego i in. [2011]. Wskaźnik DR według Roehla [1962], opracowany na podstawie badań w zlewniach południowo-wschodniej części Stanów Zjednoczonych, można określić z zależności w postaci:

$$\log DR = 4,5 - 0,23 \cdot \log F - 0,51 \cdot \log R_R / L - 2,786 \cdot \log BR \quad (1)$$

gdzie:

- F – powierzchnia zlewni, mi^2 ,
- R_R – różnica wysokości między najwyższym i najniższym punktem zlewni, mi ,
- L – długość zlewni, mi ,
- BR – wskaźnik bifurkacji zlewni.

Roehl [1962] opracował również wzór, w którym wskaźnik DR opisany jest w zależności tylko od powierzchni zlewni F :

$$\log DR = 1,91349 - 0,33853 \cdot \log (10 F) \quad (2)$$

Pierwszą publikacją dotyczącą określenia wskaźnika dopływu rumowiska była praca Manera [1958], który w wyniku badań erozji i odpływu rumowiska w zlewniach stanu Kansas, opracował równanie:

$$\log DR = 2,962 + 0,869 \cdot \log R_R - 0,854 \cdot \log L \quad (3)$$

Renfro [1975], bazując na pracach Manera z lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego wieku, w wyniku badań 14 zlewni w Teksasie opracował równanie:

$$\log DR = 1,7935 - 0,1419 \cdot \log F \quad (4)$$

w którym powierzchnia zlewni F jest wyrażona w km^2 .

Jednym ze wzorów często stosowanych do określenia odpływu rumowiska ze zlewni jest wzór opracowany przez Vanoni w 1975 roku [Xiaoqing 2003]. Wzór ten, w którym powierzchnia zlewni wyrażana jest w milach kwadratowych, został opracowany na podstawie analizy wyników badań odpływu rumowiska z ponad 300 zlewni Europy i Stanów Zjednoczonych:

$$DR = 0,42 \cdot F^{-0,125} \quad (5)$$

Rozwinięciem modelu Vanoni jest równanie opracowane przez Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych [Boyce 1975] w postaci:

$$DR = 0,51 \cdot F^{-0,11} \quad (6)$$

w którym powierzchnia zlewni F wyrażona jest w mi^2 .

Boyce [1975] podał równie prostą zależność jak Vanoni, w której uwzględnił jedynie powierzchnię zlewni F , wyrażona jest w mi^2 :

$$DR = 0,31 \cdot F^{-0,3} \quad (7)$$

Natomiast Williams i Berndt [1972] opracowali równanie regionalne dla zlewni położonych w Teksasie, w którym wskaźnik dopływu rumowiska ze zlewni uzależnili od spadku głównego cieku (I):

$$DR = 0,627 \cdot I^{0,403} \quad (8)$$

Mutchler i Bowie [1976] w wyniku badań procesów erozji i odpływu rumowiska w zlewniach Pigeon Roors Creek i Mississippi opracowali zależność, według której, uwzględniając powierzchnię zlewni F wyrażoną w mi^2 i roczny odpływ wody (R_A – *annual runoff*):

$$DR = 0,488 - 0,006 \cdot F + 0,01 \cdot R_A \quad (9)$$

Parametr R_A obliczany jest jako iloczyn stałej, wynoszącej 0,09, opadu średniego rocznego P (*annual rainfall*) i współczynnika spływu R_v (*runoff coefficient*).

Williams [1977] opracował zależność dla zlewni znajdujących się w Teksasie:

$$DR = 1,366 \cdot 10^{-11} \cdot F^{-0,1} \cdot (R_R / L)^{0,363} \cdot CN^{5,444} \quad (10)$$

w której CN jest numerem krzywej SCS (pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1)).

Poza wymienionymi formułami bezwymiarowy wskaźnik dopływu rumowiska można wyznaczyć z równań opracowanych przez Mou i Menga [1980], Hessiona i Shanholtza [1988] czy Tima, Mostaghimi i Shanholtza [1992]. Zastosowanie tych formuł wymaga opracowania tzw. siatki zlewni i określenia cząstkowych dopływów rumowiska z poszczególnych pól siatki do przekroju cieku zamykającego zlewnię.

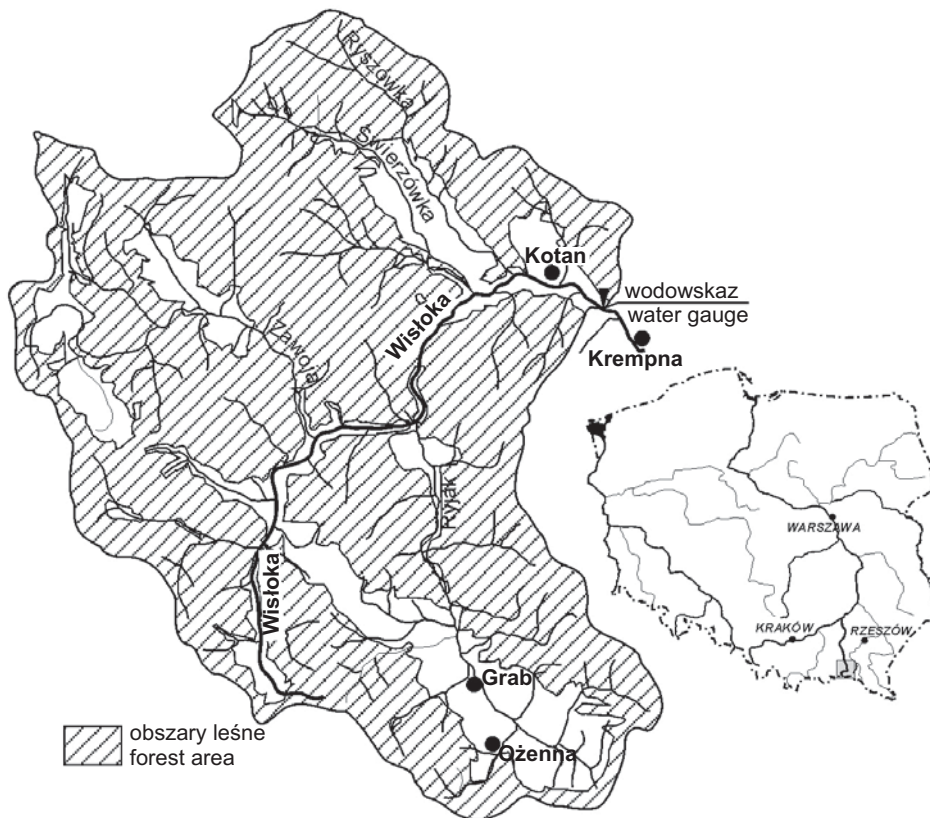
Określenia średniego rocznego odpływu rumowiska ze zlewni na podstawie obliczonej średniej rocznej masy erodowanej gleby z jednostki powierzchni wymaga przyjęcia właściwej formuły do wyznaczenia bezwymiarowego wskaźnika dopływu rumowiska. W pracy dokonano oceny możliwości zastosowania wybranych formuł służących obliczeniu bezwymiarowego wskaźnika dopływu rumowiska. Wskaźnik ten wyznaczono na podstawie obliczonych strat glebowych w zlewni rzeki górskiej oraz średniego rocznego natężenia transportu rumowiska. Natężenie transportu zostało obliczone na podstawie wykonanych pomiarów terenowych.

METODYKA BADAŃ

Wykonane w latach 1996–2006 pomiary hydrometryczne w przekroju wodowskazowym Kotań rzeki Wisłoki umożliwiły określenie natężenia transportu rumowiska unoszonego [Michalec 2008]. W trakcie pomiarów określono prędkości przepływu wody i koncentracji rumowiska unoszonego. Prędkość przepływu wody mierzono indukcyjnym młynkiem hydrometrycznym typu Nautilus C 2000 OTT Hydrometrie. Pomiary hydrometryczne wykonano w przekroju wodowskazowym w wyznaczonych pionach hydrometrycznych zgodnie z metodyką podaną w instrukcji PIHM [Opracowanie... 1982] i Procedurą pomiarową IMGW [2002]. Koncentracje rumowiska unoszonego w jednym punkcie przekroju poprzecznego określano metodą batometryczną co 2–3 dni, a w warunkach wezbrania codziennie. W celu określenia koncentracji rumowiska unoszonego w całym przekroju wykonano serię pomiarów za pomocą przyrządu fotooptycznego Portable Suspended Solids and Turbidity Monitor System 770 firmy Partech. Wyniki pomiarów koncentracji rumowiska unoszonego w punkcie poboru prób wody batometrem butelkowym i w całym przekroju poprzecznym umożliwiły wyznaczenie współczynnika korekcyjnego „k”. Współczynnik ten umożliwił dokonanie obliczeń transportu rumowiska w całym przekroju wodowskazowym na podstawie jego koncentracji w punkcie poboru próby wody. Ilość rumowiska unoszonego transportowanego przez rzekę Wisłokę w okresie 1972–2005 określono na podstawie danych hydrologicznych: przepływów średnich dobowych (Q) i odpowiadających im pomierzonych koncentracji rumowiska unoszonego (P). Ze względu na brak danych dotyczących koncentracji rumowiska poza okresem 1996–2006, obejmującym pomiary hydrome-

tryczne, ciąg danych przepływów uzupełniono o brakujące koncentracje z opracowanej zależności $P = f(Q)$. W przeprowadzonej analizie posłużono się wynikami obliczeń transportu rumowiska unoszonego zamieszczonymi w pracach Michalca i Tarnawskiego [2006] oraz Michalca [2008].

Przekrój wodowskazowy Kotań rzeki Wisłoki znajduje się w 154,49 km rzeki Wisłoki i obejmuje zlewnię cząstkową o powierzchni 163,56 km² (ryc. 1). Rzeka Wisłoka jest rzeką drugiego rzędu i należy do dorzecza górnej Wisły. Całkowita długość rzeki Wisłoki wynosi 168,3 km, a powierzchnia zlewni wynosi 4100,1 km². Szczegółowy opis zlewni zawierają m.in. prace Przyroda Magurskiego Parku Narodowego [Przyroda... 2003], Madeyski i in. [2008] oraz Michalca [2008].



Ryc. 1. Zlewnia cząstkowa rzeki Wisłoki z zaznaczonym przekrojem wodowskazowym Kotań
Fig. 1. Partial catchment of the Wisłoka river with marked gauge cross-section at Kotań

Określono również średnią roczną ilość rumowiska erodowanego w zlewni Wisłoki, zamkniętej przekrojem wodowskazowym Kotań, za pomocą równania USLE:

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot C \cdot S \cdot P \quad (11)$$

gdzie:

- E – średnia roczna masa erodowanej gleby z jednostki powierzchni, $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$,
- R – średnia roczna erozyjność deszczów i spływów, $Je \cdot rok^{-1}$,
- K – podatność gleby na erozję, $t \cdot ha^{-1} \cdot Je^{-1}$,
- L – bezwymiarowy współczynnik długości zbrocza,
- C – bezwymiarowy współczynnik rodzaju upraw i sposobu użytkowania,
- S – bezwymiarowy współczynnik spadku zbrocza,
- P – bezwymiarowy współczynnik zabiegów przeciwoerozyjnych.

Topografię terenu zlewni określono na podstawie map topograficznych w skali 1 : 25 000. Wykonano również prace inwentaryzacyjne w zlewni służące określeniu stosowanych typów płodozmianów i oceniające stosowanie zabiegów ograniczających erozję. Ponadto pobrano próby glebowe w celu określenia składu granulometrycznego i zawartości części organicznych w glebach zlewni.

Bezwymiarowy współczynnik dopływu rumowiska DR obliczono wzorami od (1) do (9), a następnie obliczono iloczyn wartości DR i średniej rocznej ilości rumowiska erodowanego, określonej metodą USLE. Tak określony średni roczny transport rumowiska porównano ze średnim rocznym natężeniem transportu rumowiska obliczonym na podstawie wyników pomiarów hydrometrycznych z okresu obserwacyjnego.

WYNIKI BADAŃ

Średni roczny transport rumowiska unoszonego, obliczony na podstawie przepływów średnich dobowych i koncentracji rumowiska pomierzonego w punkcie poboru próby wody, wynosi $6920 t \cdot rok^{-1}$. Uwzględniając określony dla przekroju wodowskazowego współczynnik $k = 0,906$ (wyliczony jako iloraz koncentracji rumowiska unoszonego w punkcie poboru próby wody i koncentracji rumowiska w całym przekroju poprzecznym rzeki), średni roczny transport rumowiska unoszonego w tym przekroju wyniósł $6270 t \cdot rok^{-1}$ [Michalec 2008]. Średnia roczna masa erodowanej gleby z powierzchni 1 ha w zlewni cząstkowej rzeki Wisłoki wynosi $3,03 t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ (tab. 1), a średnia roczna masa erodowanej gleby z powierzchni zlewni (E_z), zamkniętej przekrojem wodowskazowym Kotań to $49\ 145 t \cdot rok^{-1}$.

Tabela 1. Wartości parametrów równania USLE
Table 1. Value of parameters of USLE equation

$R, Je \cdot rok^{-1}$	$K, t \cdot ha^{-1} \cdot Je^{-1}$	$L \cdot S, -$	C	P	$E, t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$
103,9	0,82	7,117	0,005	1,0	3,03

W tabeli 2 zamieszczono wyniki obliczeń bezwymiarowego współczynnika dopływu rumowiska (DR) do przekroju Kotań, według wzorów od (1) do (10), a także średnie roczne natężenie transportu rumowiska unoszonego metodą DR-USLE, obliczone jako iloczyn DR i E_z .

Wartość DR według wzoru Williama-Brendta obliczono dla średniego spadku rzeki Wisłoki $I = 0,0133$. Parametr R_{R^*} , czyli deniwelację, określono jako różnicę wysokości

między najwyższym (846 m n.p.m.) a najniższym punktem zlewni (399 m n.p.m.). Długość zlewni L wynosi 13,2 km. Obliczony współczynnik R_r/L (*relief ratio*), niezbędny do obliczeń DR wzorami (1) i (10) wynosi 0,03386. Wartość R_A we wzorze (9) obliczono jako iloczyn stałej, wynoszącej 0,09, opadu średniego rocznego P , wynoszącego 800 mm, i współczynnika spływu R_v równego 0,25. Stosując wzór (10), przyjęto krzywą SCS o numerze 85, przyjętą ze względu na rodzaj gleb pokrywających zlewnię (głina i glina pylasta). Odpowiada on grupie gleb D w zlewniach użytkowanych rolniczo z terenami leśnymi [Ciepielowski i Dąbkowski 2006].

Tabela 2. Bezwymiarowe wskaźniki dopływu rumowiska DR i średni roczny odpływ rumowiska ze zlewni Wisłoki obliczony metodą DR-USLE

Table 2. Dimensionless sediment delivery ratios DR and mean annual sediment outflow from Wisłoka catchment calculated according to DR-USLE method

Parametr Parameter	Wzór wg – Formulae according to									
	Roehl (1)	Roehl (2)	Mane- ra (3)	Renfro (4)	Vano- ni (5)	Dep. Rolnic- twa USA (6)	Boyce (7)	Wil- liams i Berndt (8)	Mutchler i Bowie (9)	Wil- liams (10)
DR	0,749	0,930	0,557	0,302	0,250	0,324	0,090	0,110	0,292	0,084
DR- USLE t · rok ⁻¹	3682	4554	27392	14839	12307	15901	4404	5409	14374	4143
Δ , %	41,3	27,4	-336,9	-136,7	-96,3	-153,6	29,8	13,7	-129,3	33,9

$$\Delta = [(6270 - \text{DR-USLE}) / 6270] \cdot 100\%$$

W tabeli 2 zamieszczono również różnicę wyników (Δ), wyrażoną w procentach, obliczoną jako różnica średniego rocznego natężenia transportu rumowiska unoszonego, obliczonego na podstawie pomiarów batometrycznych i obliczonego metodą DR-USLE.

WNIOSKI

Bezwymiarowy wskaźnik dopływu rumowiska DR można obliczyć za pomocą różnych wzorów. Jak wykazano, średnie roczne natężenie transportu rumowiska, obliczone na podstawie pomiarów hydrometrycznych i określone metodą DR-USLE, w której zastosowano wskaźnik DR określony różnymi wzorami, różnią się znacząco. Różnice wyników mieszczące się w przedziale od 13,7% do 336,9% wskazują na brak podstaw do zastosowania niektórych z analizowanych wzorów określających wskaźnik dopływu rumowiska w zlewni rzeki Wisłoki. Może to być rezultatem ograniczeń wynikających z regionalności analizowanych formuł. Najmniejsze różnice wyników uzyskano, stosując wzór Williama i Berndta, a także dwa wzory Roehla i wzór Williama. W przypadku badanej zlewni wyniki obliczeń średniego rocznego natężenia transportu rumowiska metodą DR-USLE uzyskano – najbliższej wartości średniego rocznego natężenie transportu rumowiska określonej na podstawie pomiarów hydrometrycznych – stosując wzór

Williamsa i Berndta, a nie powszechnie stosowany wzór Roehla do obliczenia bezwymiarowego wskaźnika dopływu rumowiska. Wskazanie, który z tych wzorów umożliwia określenie prawidłowej wartości DR, wymaga dalszych weryfikacji i dysponowania danymi z pomiarów hydrometrycznych, umożliwiającymi określenie rzeczywistego natężenia rumowiska unoszonego.

PIŚMIENNICTWO

- Banasik K., Górski D., 1992. Wykorzystanie uniwersalnego równania strat glebowych USLE do oceny ilości rumowiska unoszonego odpływającego z małych zlewni. *Gosp. Wod.* 3, 62–66.
- Bednarczyk T., Madeyski M., Michalec B., 2000. Ocena przydatności metody DR-USLE do określenia transportu rumowiska unoszonego. *Zesz. Nauk. AR Wrocł.* 385, Konferencje 11, 173–181.
- Bogardi I., Fogel M., Duckstein L., Bardossy A., 1983. Estimation of sediment loading into agricultural reservoirs with scarce data. *Scientific Procedures Applied to the Planning, Design and Management of Water Resources Systems (Proceedings of the Hamburg Symposium, August 1983)*. IAHS Publ. 147, 87–98.
- Boyce R.C., 1975. Sediment routing with sediment-delivery ratios. *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*. U.S. Dep. Agric., Publ. ARS-S-40, 61–65.
- Brański J., 1975. Ocena denudacji dorzecza Wisły na podstawie wyników pomiarów rumowiska unoszonego. *Prace PIHM 6*. Warszawa, ss. 57.
- Ciepielowski A., Dąbkowski Sz.L., 2006. Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych (z przykładami). *Projprzem-EKO Bydgoszcz*.
- Dębski K., 1959. Próba oszacowania denudacji na obszarze Polski. *Pr. Stud. KGW PAN 2*, cz. 1. Warszawa.
- Farnham C.W., Beer C.E., Heinemann H.G., 1966. Evaluation of factors affecting reservoirs sediment deposition. *IAHS Publ.* 71, 741–758.
- Górski D., Popek Z., Banasik K., Hejduk L., 2011. Impact on small reservoirs on reduction of solids transport. [W:] *Prediction and Reduction of Diffuse Pollution, Solid Emission and Extreme Flows from Rural Areas – case study of small agricultural catchment*. Red. K. Banasik, L. Oygarden, L. Hejduk. *Wyd. SGGW Warszawa*, 219–232.
- Hession W.C., Shanholtz V.O., 1988. A geographic information system for targeting nonpoint-source agricultural pollution. *J. Soil Water Conserv.* 43(3), 264–266.
- Madeyski M., Michalec B., Tarnawski M., 2008. Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych. *Monografia. Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 11, ss. 76.
- Maner S.B., 1958. Factor affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. *Trans. AGU* 39(4), 669–675.
- Michalec B., 2008. Ocena intensywności procesu zamulania małych zbiorników wodnych w dorzeczu Górnej Wisły. *Zesz. Nauk. UR Krak.* 451, *Rozprawy* 328.
- Michalec B. 2009. Wybrane metody określenia intensywności transportu rumowiska unoszonego. *Monografia. Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 8, ss. 91.
- Michalec B., Tarnawski T. 2006. Analysis of sediment deposit distribution in water reservoir at Kremna. *EJPAU* 9(4), <http://www.ejpau.media.pl/volume9/issue4/art-18.html>.
- Mou J., Meng Q. 1980. Sediment delivery ratio as used in the computation of the watershed sediment yield. *Chinese Society of Hydraulic Engineering Beijing*, ss. 79.
- Mutchler C.K., Bowie A.J., 1976. Effect of land use on sediment delivery ratios. *Proc. of 3rd Federal Inter-Agency Sedimentation Conference*. U.S. Water Resour. Council. Washington. D.C. 111–112.

- Opracowanie wyników pomiarów rumowiska unoszonego do wydawnictw rocznikowych – wskazówki. 1982. Wyd. IMGW Warszawa.
- Procedura pomiarowa. Pomiar natężenia przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego – wykonany w bród. IMGW/PSHM/SPO/POM/2002, ss. 16.
- Przyroda Magurskiego Parku Narodowego, 2003. Red. A. Górecki, K. Krzemień, S. Skiba, B. Zemanem. Magurski Park Narodowy – Uniwersytet Jagielloński Krempna – Kraków.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Depart. Agric., Agriculture Handbook 703.
- Renfro W.G. 1975. Use of erosion equation and sediment delivery ratios for predicting sediment yield. [W:] Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. U.S. Depart. Agric., Publ. ARS-S-40, 33–45.
- Reniger A. 1959. Zagadnienia erozji gleb w Polsce. Pr. Stud. KGW PAN 2, cz. 1, Warszawa.
- Roehl J. 1962. Sediment source area, delivery ratios and influencing morphological factors. IAHS Publ. 59, 202–213.
- Tim U.S., Mostaghimi S., Shanholtz V.O., 1992. Identification of Critical Non-Point Pollution Source Areas Using Geographic Information Systems and Water Quality Modeling. Water Resour. Bull. 28(5), 877–887.
- Van Vliet L.J.P., Wall G.J., Dickinson W.T. 1978. Erosional losses from agricultural land and sediment delivery ratios in small agricultural watersheds. Project Report 16 and 17. Ontario Institute of Pedology and School of Engineering University of Guelph, ss. 166.
- Williams J.R., 1977. Sediment delivery ratios determiner with sediment and runoff models. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ. 122, 168–179.
- Williams J.R., Berndt H.D., 1972. Sediment yield computed with universal equation. J. Hydr. Div., Proc. American Society of Civil Engineers 98(HY12), 2087–2098.
- Wischmeier H.W., Smith D.D., 1965. Predicting rainfall erosion losses-aquide from cropland east of the Rocky Mountains. U.S. Depart. Agric., Agriculture Handbook 282, ss. 47.
- Xiaoqing Y., 2003. Manual on sediment management and measurement. World Meteorological Organization. Operational Hydrology Report 47. Geneva, ss. 158.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.12.2013