

WPLYW DOBOWEGO OPADU ATMOSFERYCZNEGO NA WIELKOŚĆ WYERODOWANEGO MATERIAŁU GLEBOWEGO W GÓRSKIEJ ZLEWNI, Z UŻYCIEM MODELU MUSLE

Edyta Kruk

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wielkości wyerodowanego materiału glebowego przy użyciu modelu MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) w modyfikacji dokonanej przez Banasika i Górskiego [1990]. W badaniach uwzględniono dobowe wartości opadów o wysokości ≥ 20 mm z lat 2011–2014 ze stacji meteorologicznej Obidowa. W celu określenia wpływu dobowego opadu atmosferycznego na wielkość materiału wyerodowanego z obszaru analizowanej zlewni dokonano symulacji zjawiska uwzględniając dobową sumę w gradacji 5 mm. Przeanalizowano również dobowe opady, jakie wystąpiły w okresie 2011–2014. Szacowana wielkość wyerodowanego materiału z obszaru zlewni kształtowała się w przedziale od 0,01 Mg dla pojedynczego opadu wynoszącego 20 mm do 36978,47 Mg dla opadu wynoszącego 115 mm.

Słowa kluczowe: erozja wodna, model MUSLE, GIS

WPROWADZENIE

Erozja wodna jest obok składowisk odpadów przemysłowych jednym z największych zagrożeń powierzchni Ziemi [Boroń i in. 2010]. Powoduje zmniejszenie zasobów glebowych oraz wodnych, gdyż zmniejsza retencję. Jest przyczyną zanieczyszczania potoków i zamulania zbiorników wodnych. Nawet niewielkie natężenie erozji negatywnie wpływa na warunki uprawne, co utrudnia prowadzenie zabiegów agrotechnicznych [Żmuda i in. 2005]. Na intensywność zjawisk erozyjnych wpływają warunki fizjograficzne i hydrologiczne występujące na obszarze danej zlewni [Restrepo i in. 2005, Zabałeda i in. 2007] a także pokrycie gleby roślinnością. Dodatkowo geologia, rodzaj gleby oraz elementy klimatu istotnie wpływają na nasilenie procesu [Ryczek i Lipski 2007, Ryczek i in. 2010].

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Edyta Kruk, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e.kruk@ur.krakow.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

Na obszarze województwa małopolskiego największy wpływ na nasilenie erozji wodnej gleb ma rzeźba terenu, szczególnie urozmaicona, występująca na obszarze gór i pogórzy [Koreleski 2008, Wężyk i in. 2012] oraz opad atmosferyczny, którego wysokość, częstota występowania, czas trwania oraz natężenie ma decydujące znaczenie dla występowania zjawisk erozyjnych w zlewni.

Procesy erozji wodnej gleb odgrywają istotną rolę w modelowaniu rzeźby terenu, powodując przeobrażenia prowadzące w warunkach naturalnych do powstawania nowych form. Szczególnie charakter ten odzwierciedla się na obszarze gór i pogórza z uwagi na ukształtowanie powierzchni terenu. W zależności od intensywności, wysokości i czasu trwania opadu wydziela się różne stopnie deszczów ulewnych i nawalnych. Z reguły są to opady przekraczające 20–30 mm w krótkim okresie, w niektórych przypadkach osiągające 100 mm i więcej. Licznar i Rojek [2002] podają, iż opady erozyjne to opady o warstwie ponad 12,7 mm. Według Soi [1981] wezbrania wywołane opadami do 10 mm formują się najczęściej bez udziału spływu wody po naturalnej powierzchni terenu, natomiast opady powyżej 20 mm należy zaliczyć do opadów wywołujących erozję gleb. Teisseyre [1994] natomiast podaje, że do wywołania spływu na stokach zalesionych potrzebny jest opad dobowy > 100 mm, na łąkach i pastwiskach 40–60 mm, na polach uprawnych 8–15 mm, a na drogach gruntowych spływ występuje już przy opadzie < 10 mm.

W celu obliczenia wielkości ubytku gruntu z pojedynczego wydarzenia opadowego Williams [1975] zmodyfikował Uniwersalne Równanie Strat Glebowych (USLE) do postaci równania MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*). Równanie to stanowi prosty zapis równania USLE [Wischmeier i Smith 1978], w którym indeks erozyjności deszczu (R) został zastąpiony składnikami równania wyrażającymi wielkość spływu (Q , q_p) [Arekhi 2010, Cârdei 2010, Sadeghi i in. 2013, Wahyudi i in. 2015].

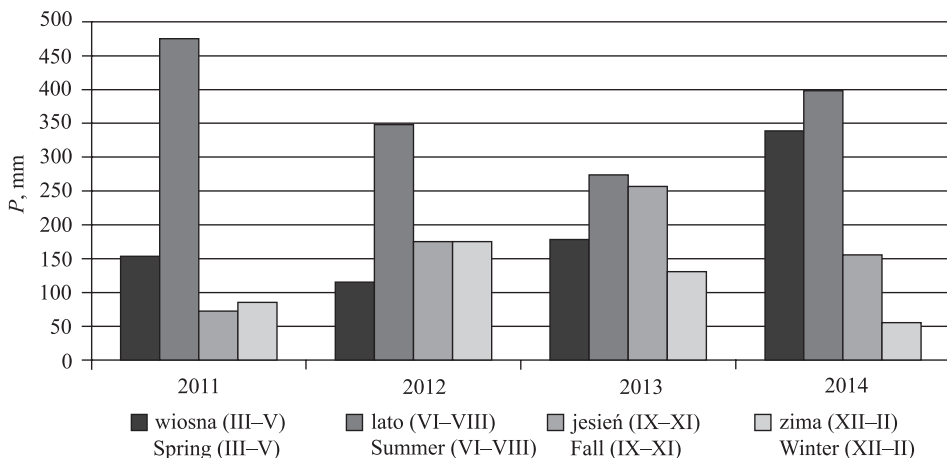
Celem pracy była ocena wpływu sumy dobowej opadu atmosferycznego na wielkość erozji wodnej gleb w zlewni górskiej.

OBSZAR BADAŃ

Teren badań stanowiła zlewnia karpackiego potoku Mątny, gdzie procesy erozyjne gleb uwiadcniają się bardzo wyraźnie [Halecki i in. 2017]. Zlewnia ta, o powierzchni 1,47 km² położona jest w województwie małopolskim, w gminie Niedźwiedz i Mszana Dolna. Obszar ten posiada charakter gór niskich i średnich. Najwyższy punkt wynosi 732,0 m n.p.m., natomiast najniższy – 490,0 m n.p.m. Średnia wysokość zlewni nad poziomem morza wynosi 582,66 m n.p.m, natomiast przeciętny spadek – 16,28%. Potok Mątny uchodzi do Mszanki w przysiółku Skiby. W strukturze użytkowania zlewni dominują użytki rolne, które zajmują 1,29 km², w których udział użytków zielonych, wykorzystywanych jako łąki i pastwiska, stanowi 73,5%. Na gruntach ornych (zajmujących 14,3%) uprawiane są owies jary, pszenica zwyczajna oraz ziemniaki. Pozostały obszar zlewni przypada na tereny osiedlowe oraz komunikacyjne. Warunki pedologiczne zostały rozpoznane na podstawie analizy mapy glebowo-rolniczej i normy BN/78/9180-11, a następnie przekonwertowane do odpowiednich grup w oparciu o normę przedstawioną w 2008 roku przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze dotyczącą podziału gleb na frak-

cje i grupy granulometryczne [Mocek 2015]. Na tej podstawie wydzielono następujące podgrupy granulometryczne: glinę piaszczysto-ilastą (gpi), glinę zwykłą (gz), pył ilasty (pyi), glinę ilastą (gi) oraz glinę lekką (gl).

Warunki meteorologiczne obszaru zlewni opisane zostały na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Obidowa. W przebiegu rocznym opadów atmosferycznych największe ich sumy występują latem, a najmniejsze zimą (ryc. 1). W Obidowej w latach 2011–2014 największa suma dobowego opadu wystąpiła 15 maja 2014 r. (100,7 mm), natomiast listopad 2011 r. był bez opadu (0,0 mm). Sumy roczne opadów atmosferycznych w czteroletnim okresie badawczym 2011–2014 w porównaniu do średniej z wielolecia (1995–2014), były niższe średnio o 12% (nawet o 18% w roku 2011). Największa miesięczna suma opadów w okresie badawczym wynosiła 251,5 mm i wystąpiła w lipcu 2011 r. Natomiast najmniejsze sumy dobowe opadów zanotowano w październiku 2011 r. i styczniu 2014 r. (wynoszące odpowiednio 0,0 mm i 3,5 mm). Porównując kolejne lata 2011–2014 zauważamy, że w ostatnich latach zanotowano średnio 24 dni mniej z opadem w roku, w porównaniu do wielolecia. W przypadku opadów atmosferycznych ważną jest nie tylko ich suma, ale także rozkład w czasie. W latach 1995–2014 wystąpiło 3581 dni z opadem, przy czym średnio w roku w analizowanym okresie wystąpiło 179 dni z opadem ($p \geq 0,1$ mm). Największą liczbą dni z opadem charakteryzował się rok 2004 (217 dni), natomiast najmniejszą rok 2013 (142 dni). W całym okresie badawczym dominowały dni z opadem bardzo słabym (do 1 mm) i słabym (1–5 mm) stanowiące łącznie 74,6% wszystkich dni z opadem. Opady atmosferyczne o sumie dobowej od 30 do 50 mm (skutkujące podtopieniem) stanowiły 1% wszystkich dni z opadem. Opady groźne powodziowe o sumie dobowej od 50 do 70 mm wystąpiły 10 razy. Opady powodziowe o sumie dobowej > 70 mm wystąpił 5 razy, natomiast opad katastrofalny o sumie dobowej ≥ 100 mm wystąpił jeden raz.



Ryc. 1. Sezonowe sumy opadów w badanych latach 2011–2014

Fig. 1. Seasonal sums of rainfall in the investigated years 2011–2014

METODYKA BADAŃ

Wpływ dobowego opadu atmosferycznego na wielkość wyerodowanego materiału glebowego określono przy pomocy modelu MUSLE [Wiliams 1975] w modyfikacji dokonanej przez Banasika i Górskiego [1990] na podstawie badań adaptacyjnych równania dla rzek karpackich:

$$Y = 5,42 \cdot (V \cdot q_p)^{1,20} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

gdzie:

- Y – wielkość wyerodowanego materiału, Mg,
- V – wielkość odpływu, m³,
- q_p – maksymalny przepływ, m³ · s⁻¹,
- K – podatność gleb na erozję, Mg · ha⁻¹ · Je⁻¹,
- LS – współczynnik rzeźby terenu,
- C – współczynnik rodzaju upraw i sposobu użytkowania,
- P – współczynnik zabiegów przeciwdziałających erozji.

Wielkość odpływu V oszacowano stosując wzór:

$$V = Q_d \cdot A \quad (2)$$

gdzie:

- A – powierzchnia pola jednorodnego, km²,
- Q_d – wysokość odpływu, obliczana ze wzoru: $Q_d = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}$, mm,
- S – maksymalna retencja zlewni, obliczana ze wzoru: $S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$, mm,
- CN – parametr wyznaczany na podstawie grup hydrologicznych gleb i rodzaju użytku (USDA 1986);
- P – opad rzeczywisty, mm.

Maksymalny przepływ obliczono stosując wzór:

$$q_p = q_u \cdot A \cdot Q_d \cdot F_p, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (3)$$

gdzie:

- q_u – jednostkowy przepływ maksymalny, obliczany ze wzoru: $q_u = 10^{(C_0 + C_1 \cdot \log T + C_2 \cdot \log T^2)}$, m³ · s⁻¹ · km⁻² · mm⁻¹,
- C_0, C_1, C_2 – parametry równania, ustalane na podstawie „Urban Hydrology for Small Watersheds” [USDA 1986],
- T – czas koncentracji, obliczany z równań: $T = \frac{0,09 \cdot (n \cdot L)^{0,8}}{J^{0,5} \cdot s^{0,4}} + \frac{3,281 \cdot L}{3600 \cdot 16,1345 \cdot s^{0,5}}$, h,
- n – współczynnik szorstkości Manninga,
- L – długość ścieżki spływu, m,

J – średni z 2-lecia 24-godzinny opad, mm,
 F_p – współczynnik adaptacyjny oczek i bagien.

Wartość współczynnika podatności gleb na erozję K określono metodą zaproponowaną przez Renarda i in. [1997] bazującą na informacji dotyczącej maksymalnych i minimalnych średnic ziaren oraz ich udziału masowego i obliczono według wzoru [Drzewiecki i Mularz 2005]:

$$K = 0,0034 + 0,045 \cdot e^{\left[-0,5 \cdot \left(\frac{\log D_g + 1,659}{0,7101}\right)^2\right]}, \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je} \quad (4)$$

gdzie:

$$D_g = e^{\left(0,01 \cdot \sum f_i \cdot \ln \frac{d_i + d_{i-1}}{2}\right)},$$

d_i – maksymalna średnica ziaren w danej klasie, mm,

d_{i-1} – minimalna średnica ziaren w danej klasie, mm,

f_i – udział masowy danej frakcji, %.

Współczynnik D_g wyznaczono na podstawie oznaczeń składu granulometrycznego, metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego.

Obliczone wartości współczynnika K wyniosły od 0,19 do 0,44 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}$. Wartość średniej arytmetycznej współczynnika K wyniosła: dla grupy gliny piaszczysto-ilestej – 0,33 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}$, pyłu ilastego – 0,42 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}$, gliny zwykłej – 0,30 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}$, oraz gliny ilastej – 0,42 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}$. Obszar zajęty przez glinę lekką w przeważającej części jest zabudowany, na którym procesy erozji nie zachodzą.

Współczynnik rzeźby terenu LS oszacowano na podstawie propozycji McCool i in. [1989], bazując na mapie wysokościowej:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \quad (5)$$

gdzie:

λ – długość liniowa stoku, m,

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}, \beta = \left[\frac{\frac{\sin \theta}{0,0896}}{(3,0(\sin \theta)^{0,8} + 0,56)} \right],$$

θ – spadek, °,

$$S = 10,8 \cdot \sin \theta + 0,03 \text{ dla } S < 9\% \quad (6)$$

$$S = 16,8 \cdot \sin \theta - 0,5 \text{ dla } S \geq 9\% \quad (7)$$

gdzie:

S – nachylenie stoku, %.

Parametr LS wyznaczono w programie ArcGIS 10.3.1, bazując na mapie wysokościowej DEM o rozdzielczości rastra 5 m. Uzyskując następujące wartości: λ : 0–1726,46,

m : 0–0,22, L : 0–2,42 m, S : –0,5–16,3%. Wartości parametru LS w modelu RUSLE kształtowały się w przedziale od 0 do 39,4 [Kruk i in. 2016].

Współczynnik rodzaju upraw i sposobu użytkowania C przyjęto za Koreleskim [1992]. Dla owsa jarego – 0,104, ziemniaków – 0,229, użytków zielonych – 0,015, lasów – 0,002, pszenicy zwyczajnej – 0,124, terenów zabudowanych – 0, gruntu bez upraw – 1,0 (sezon pozawegetacyjny).

Współczynnik zabiegów przeciwdziałających erozji P przyjęto za Wischmeierem i Smithem [1978]: dla uprawy w poprzek stoku i dla spadków: poniżej 3% ($P = 1,0$), w przedziale 3–8% ($P = 0,5$), w przedziale 8–12% ($P = 0,6$), w przedziale 12–16% ($P = 0,7$), w przedziale 16–20% ($P = 0,8$), w przedziale 20–25% ($P = 0,9$) oraz dla spadków powyżej 25% ($P = 1,0$). Dla upraw wzdłuż stoku przyjęto wartość równą 1,0. W granicach obszaru testowego nie stosuje się zabiegów przeciwerozyjnych. Dominującą formą uprawy jest uprawa skośno-stokowa. W związku z tym przyjęto wartość współczynnika P równą 1.

W celu określenia wpływu sumy dobowej opadu atmosferycznego na wielkość materiału wyerodowanego z obszaru zlewni dokonano symulacji zjawiska uwzględniając dobową sumę opadów o wysokości równej lub większej od 20 mm w gradacji 5 mm. Przeanalizowano również dobowe opady, jakie wystąpiły w okresie 2011–2014 na podstawie danych meteorologicznych ze stacji Obidowa. Określony wpływ sklasyfikowano według 6-cio stopniowej skali zagrożenia (tabela 1).

Tabela 1. Kryteria klasyfikacji zagrożenia erozji aktualnej [Marks i in. 1989]

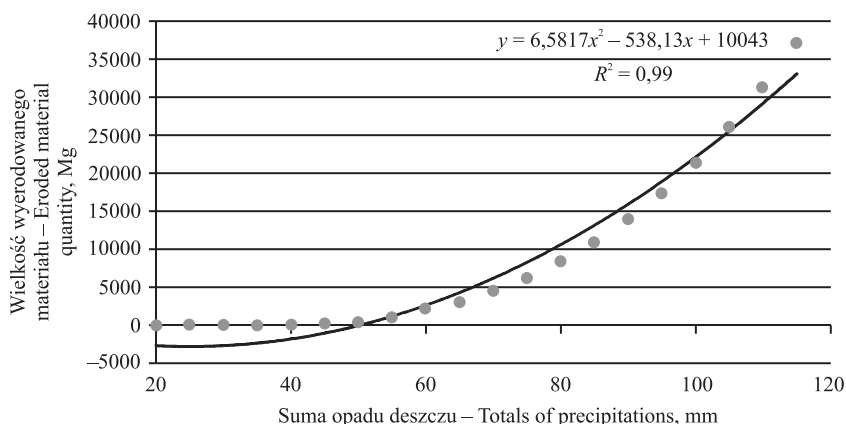
Table. 1 Criteria of actual erosion risk classification [Marks et al. 1989]

Klasa Class	Roczny ubytek gruntu, $Mg \cdot ha^{-1}$ Annual soil loss $Mg \cdot ha^{-1}$	Zagrożenie erozyjne Erosion risk
I	< 1	Brak – None
II	1–5	Bardzo małe – Very low
III	5–10	Małe – Low
IV	10–15	Średnie – Medium
V	15–30	Wysokie – High
VI	> 30	Bardzo wysokie – Very high

WYNIKI I DISKUSJA

Szacowana wielkość wyerodowanego materiału z obszaru zlewni kształtowała się w przedziale od $1,44 \cdot 10^{-2}$ Mg dla sumy dobowej opadu wynoszącej 20 mm do 36 978,47 Mg dla sumy dobowej opadu 115 mm, co w przeliczeniu na jednostkę powierzchni zlewni dało wartość od $9,81 \cdot 10^{-5}$ $Mg \cdot ha^{-1}$ (dla sumy dobowej opadu 20 mm) oraz $251,55$ $Mg \cdot ha^{-1}$ (dla sumy dobowej opadu 115 mm) (tabela 2). Na podstawie wartości sum dobowych opadów atmosferycznych odnotowanych w okresie 2011–2014 wyliczono równanie regresji dla wielkości wyerodowanego materiału glebowego w funkcji wysokości opadu. Do obliczeń wykorzystano deszcze o sumie dobowej ≥ 20 mm. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń ustalono, że najlepsze skorelowanie ($R^2 = 0,99$)

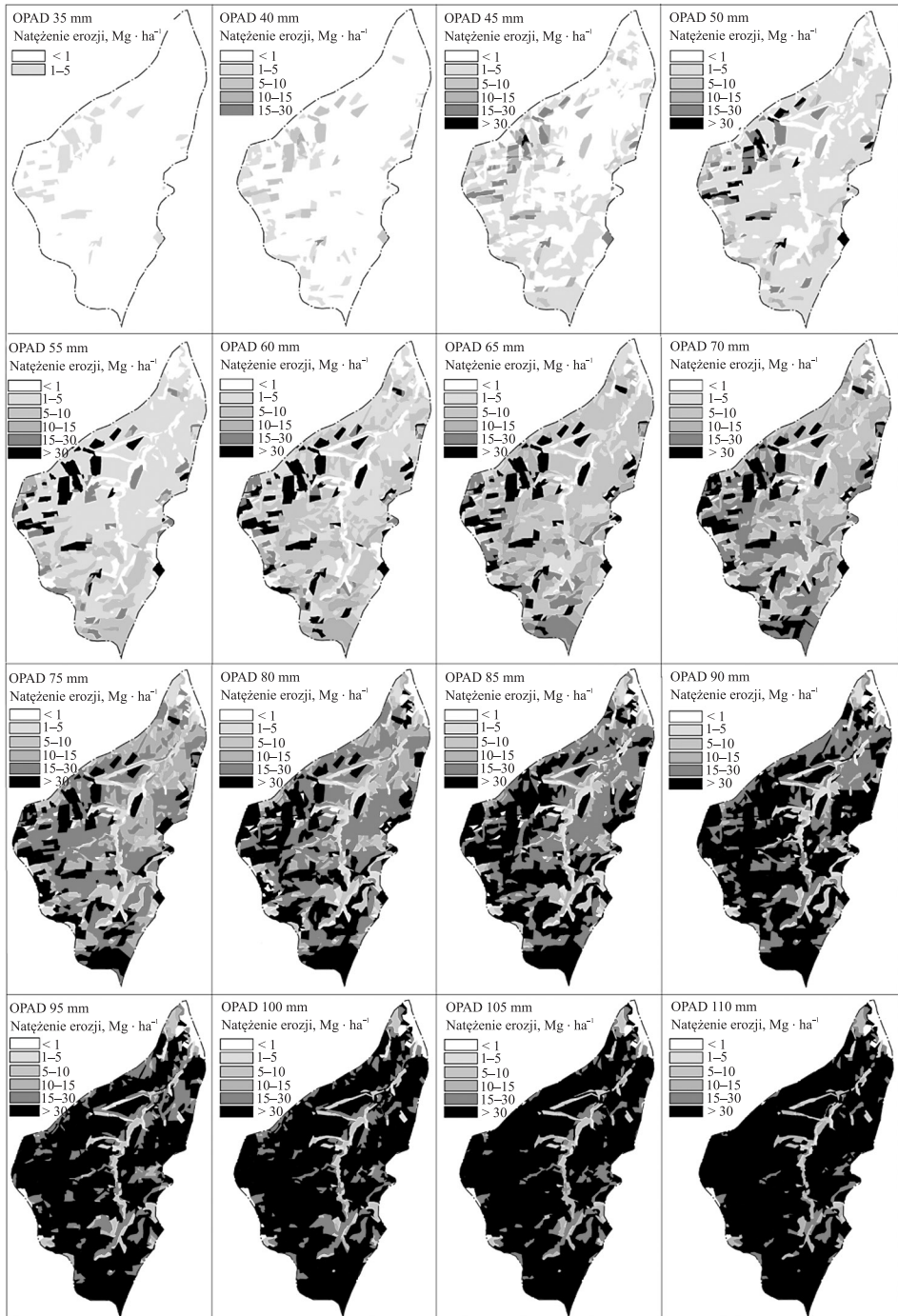
występuje w przypadku przyjęcia modelu funkcji wykładniczej (ryc. 2). Rozkład przestrzenny natężenia erozji dla przyjętej gradacji wysokości opadu na obszarze zlewni potoku Mątny przedstawiono na ryc. 3. Pierwsze objawy erozji (natężenie erozji z przedziału 1–5 Mg · ha⁻¹) pojawiły się przy opadzie wynoszącym 35 mm. Dla wartości opadów do 45 mm przeważa natężenie erozji z klasy I. Przy wzroście opadu wzrasta na terenie całej zlewni wielkość erozji. Najmniejszym zmianom ubytku gruntu w stosunku do wielkości opadu podlegają obszary zalesione.



Ryc. 2. Zależność między sumą opadu deszczu (mm) a wielkością wyerodowanego materiału (Mg)
 Fig. 2. Relation between totals of precipitation (mm) and eroded material quantity (Mg)

Tabela 2. Symulacja wielkości erozji wodnej (Mg · ha⁻¹) dla danej wysokości opadu *P* (mm)
 Table 2. Estimated water erosion quantity (Mg · ha⁻¹) for a given precipitation height *P* (mm)

Lp. Nb.	Opad <i>P</i> Precipitation <i>P</i> mm	Jednostkowy ubytek gleby Unitary soil loss Mg · ha ⁻¹	Lp. Nb.	Opad <i>P</i> Precipitation <i>P</i> mm	Jednostkowy ubytek gleby Unitary soil loss Mg · ha ⁻¹
1	20	9,81 · 10 ⁻⁵	11	70	29,80
2	25	1,13 · 10 ⁻³	12	75	41,53
3	30	0,04	13	80	55,98
4	35	0,28	14	85	73,36
5	40	0,93	15	90	93,95
6	45	2,27	16	95	117,93
7	50	4,59	17	100	145,49
8	55	8,20	18	105	176,84
9	60	13,41	19	110	212,14
10	65	20,52	20	115	251,55



Ryc. 3. Nateżenie erozji w zależności od wysokości opadu na obszarze zlewni potoku Mątny
 Fig. 3. Erosion intensity related to precipitation height on the area of the Mątny basin

Przeprowadzone za pomocą modelu symulacje pokazują, jakie można uzyskać zmiany ubytku gruntu w zależności od wielkości sumy dobowej opadu. Opracowanie tego rodzaju symulacji i prognoz umożliwi wybranie najbardziej efektywnych i najlepszych sposobów zapobiegania erozji w warunkach faktycznych, szczególnie na gruntach ornym. Przebieg erozji wodnej gleb na stokach użytkowanych rolniczo, w warunkach podobnych cech naturalnych środowiska, zależy przede wszystkim od rodzaju i gęstości szaty roślinnej, zmianowania upraw, zabiegów agrotechnicznych, wielkości i układu działek [Baryła 2012].

Po przeanalizowaniu sum dobowych opadów atmosferycznych z okresu 2011–2014 stwierdzono, że przyjęte kryterium opadów wywołujących erozję (suma dobowego opadu > 20 mm) spełnia 26 zapisanych deszczów. Najczęściej zdarzenia erozyjne notowane były w lipcu (7 zdarzeń) oraz w czerwcu (5 zdarzeń) w całym okresie badawczym. Poszczególne opady były zróżnicowane pod względem wydajności i natężenia, co znalazło odbicie w generowaniu wielkości erodowanych mas ziemnych. Łączna suma opadów erozyjnych wyniosła odpowiednio: 173,3 mm w roku 2011, 105,6 mm w roku 2012, 179,4 mm w roku 2013 i 315,8 mm w roku 2014. Najwięcej materiału glebowego, 149,65 Mg · ha⁻¹, zostało wyniesione ze zlewni w czasie opadu katastrofalnego (o sumie dobowej 100,7 mm) w dniu 15.05.2014. Jednostkowe starty gleby, przekraczające 1 Mg · ha⁻¹ wystąpiły jeszcze 25 czerwca 2014 roku, przy opadzie o wysokości 47,5 mm. Łącznie, w wyniku deszczy erozyjnych odpłynęło z obszaru zlewni od 6,00 Mg w roku 2011, do 22628,91 Mg w roku 2014 materiału glebowego (tabela 3).

Tabela 3. Opad atmosferyczny o wysokości ≥ 20 mm dla lat 2011–2014
Table 3. Precipitation of height ≥ 20 mm for the years 2011–2014

Lp. No.	Data opadu Precipitation date	Opad <i>P</i> Precipitation mm	Ubytek gleby Soil loss Mg · ha ⁻¹	Lp. No.	Data opadu Precipitation date	Opad <i>P</i> Precipitation mm	Ubytek gleby Soil loss Mg · ha ⁻¹
1	28/05/2011	26,1	3,69 · 10 ⁻³	14	24/06/2013	26,1	3,69 · 10 ⁻³
2	29/06/2011	23,2	4,5 · 10 ⁻⁵	15	13/07/2013	21,3	6,3 · 10 ⁻⁷
3	06/07/2011	24,4	5,1 · 10 ⁻⁴	16	17/09/2013	22,3	8,3 · 10 ⁻⁷
4	19/07/2011	28,6	2,1 · 10 ⁻²	17	16/10/2013	35,9	3,57 · 10 ⁻¹
5	28/07/2011	20,6	2,3 · 10 ⁻⁵	18	09/11/2013	21,4	1,3 · 10 ⁻⁶
6	15/08/2011	27,6	1,19 · 10 ⁻²	19	14/05/2014	38,9	0,76
7	07/10/2011	22,8	1,2 · 10 ⁻⁵	20	15/05/2014	100,7	149,65
8	15/02/2012	26,1	3,69 · 10 ⁻³	21	25/06/2014	47,5	3,26
9	26/07/2012	32,8	1,39 · 10 ⁻¹	22	30/06/2014	26,2	4,0 · 10 ⁻³
10	03/08/2012	26,3	4,1 · 10 ⁻³	23	02/07/2014	26,3	4,1 · 10 ⁻³
11	05/11/2012	20,4	4,3 · 10 ⁻⁵	24	11/08/2014	34,8	0,26
12	03/05/2013	22,8	1,2 · 10 ⁻⁵	25	01/10/2014	20,8	1,1 · 10 ⁻⁵
13	03/06/2013	29,6	3,72 · 10 ⁻²	26	22/10/2014	20,6	2,3 · 10 ⁻⁵

Źródło: opracowanie własne

Analiza wysokości opadów w okresie badawczym wyraźnie wskazuje, że warunki potencjalnie sprzyjające pojawieniu się erozji wodnej na stokach zlewni potoku Mątny, zdarzają się rzadko. Średnia wartość dla okresu 2011–2014 mm wyniosła zaledwie 0,54 zdarzenia miesięcznie.

Uzyskane z symulacji zjawiska wartości potwierdziły badania Soi [1981], iż opady < 20 mm nie wpływają na natężenie erozji, jednak z badań autorki wynika, iż dopiero opady powyżej 35 mm powodują pojawianie się obszarów o natężeniu erozji z drugiego przedziału ($1\text{--}5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Dodatkowo stwierdzono, iż już jednorazowe wystąpienie opadu $\geq 100 \text{ mm}$ dało w przeliczeniu na jednostkę powierzchni 145 ton wyerodowanego materiału.

Kruk i in. [2016] przeprowadzili kompleksowe badania nad erozją wodną na obszarze zlewni Mątny z wykorzystaniem standardowej wersji modelu (USLE) oraz modyfikacji RUSLE. Uzyskali wartość aktualnej straty glebowej równą: 1372,83 Mg ($9,00 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$) w modelu USLE oraz 1282,90 Mg ($8,72 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$) dla modelu RUSLE.

WNIOSKI

1. Uzyskane wielkości ubytku gruntu w wyniku erozji wodnej gleby w warunkach różnych wartości sum opadów dobowych mogą posłużyć do ustalenia zabiegów i urządzeń przeciwerozyjnych dla warunków występujących na obszarach o podobnych parametrach zlewni.
2. Stosowanie modeli prognostycznych umożliwia przewidywanie wielkości strat erozyjnych dla różnego zagospodarowania stoku.
3. W warunkach panujących na obszarze zlewni Mątny przeprowadzona symulacja wykazała, że już przy sumie dobowej opadu o wysokości 35 mm pojawiają się w badanej zlewni obszary o bardzo małym natężeniu erozji (klasa II zagrożenia).
4. Badania wielkości erozji uzyskane za pomocą modelu MUSLE wykazały, że nawet jeden incydentalny opad o sumie dobowej wynoszącej 55 mm może wygenerować ubytek gruntu zbliżony do średniej rocznej wielkości ubytku gruntu określonej dla danego obszaru za pomocą standardowego modelu USLE oraz modelu RUSLE.

PIŚMIENNICTWO

- Arekhi, S. (2010). Estimating runoff and sediment yield using KW-GIUH and MUSLE models: Runoff and Sediment yield modeling. Lap Lambert Academic Publishing.
- Banasik, K., Górski, D. (1990). Wyznaczanie erozyjności deszczy do uniwersalnego równania strat glebowych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Melioracja 34, 103–109.
- Baryła, A. (2012). Określenie strat gleby na terenie RZD Puczniew w warunkach różnych prawdopodobieństw występowania deszczów erozyjnych. Woda Środ. Obsz. Wiej., 12, 4(40), 7–16.
- Boroń, K., Klatka, S., Ryczek, M., Zając, E. (2010). Reclamation and cultivation of Cracow soda plant lagoons. International Conference on Construction for a Sustainable Environment, Vilnius, Lithuania, 245–390.
- Čarđei, P. (2010). The dimensional analysis of the USLE – MUSLE soil erosion model, proc. Rom. Acad., Series B, 3, 249–253.

- Drzewiecki, W., Mularz, S. (2005). Model USPED jako narzędzie prognozowania efektów erozji i depozycji materiału glebowego. *Rocz. Geomat.*, 3(2), 5–9.
- Halecki, W., Młyński, D., Ryczek, M., Kruk, E., Radecki-Pawlik, A. (2017). Applying an Artificial Neural Network (ANN) to Assess Soil Salinity and Temperature Variability In Agricultural Areas of a Mountain Catchment. *Pol. J. Environm. Stud.*, 26 (6), 2545–2554.
- Koreleski, K. (1992). Próby oceny natężenia erozji wodnej. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Sesja Naukowa*, 35.
- Koreleski, K. (2008). Wpływ czynników terenowych na natężenie erozji wodnej na przykładzie wsi górskiej. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 3, 5–12.
- Kruk, E., Ryczek, M., Malec, M. (2016). Porównanie wielkości strat glebowych wyznaczonych modelami USLE i RUSLE w zlewni górskiej. [W:] *Wybrane aspekty badawcze, III. Aspekty teoretyczno-praktyczne badań naukowych*. Wydawnictwo Naukowe Sophia, Katowice, 55–65.
- Licznar, P., Rojek, M. (2002). Erozyjność deszczy Polski południowo-zachodniej na przykładzie stacji Wrocław-Swojec. *Przeł. Nauk. SGGW, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 11(2), 5–14.
- Marks, R., Müller, M.J., Leser, H., Klink, H.J. (1989). Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Estimation of soil mass quantity some reclamation. *Zentralausschuß für deutsche Landeskunde. Forschungen zur Deutschen Landeskunde*, 229.
- McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K., Meyer, L.D. (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 32(5), 1571–1576.
- Mocek, A. (2015). *Gleboznawstwo*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- 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). *Agriculture Handbook, US Department of Agriculture, Washington, DC*, 73, 1–251.
- Restrepo, J.D., Kjerfve, B., Heremelin, M., Restrepo, J.C. (2006). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. *J. Hydrol.*, 316, 213–232.
- Ryczek, M., Boroń, K., Klatka, S., Kruk, E. (2010). Wykorzystanie technik GIS do oceny zagrożenia erozją wodną na przykładzie rolniczej zlewni potoku Mątny w Beskidzie Wyspowym. *Zesz. Nauk. UP Wrocław, 576, Rolnictwo*, 96, 163–174.
- Ryczek, M., Lipski, Cz. (2007). Ocena erozji w zlewni potoku Skawica do profilu w Skawicy Dolnej. *Opracowanie monograficzne grantu 1517/04-07*, 106–119.
- Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Khaledi Darvishan, A., Saeidi Et, P. (2013). A review of the application of the MUSLE model worldwide. *Hydrological Sci. J.*, 59(2), 1–11.
- Soja, R. (1981). Analiza odpływu z Fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski). *Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN*, 1, 91.
- Teisseyre, A.K., (1992). Epizodyczne koryta a rozwój suchych dolin w krajobrazie rolniczym. *Acta Univ. Vratisl., Prace Geol.-Mineral.*, 31.
- USDA (1986). Urban hydrology for small watersheds. Technical Release, 55, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.
- Wahyudi, H., Suhardjono, Bisri, M., Suharyanto, A. (2015). Case Study of the Use of Morphometry Das Barek Kisi To Predict Watershed Erosion, *Austral. J. Basic and Applied Sci.*, 9(11), 256–262.
- Wężyk, P., Pierzchalski, M., Szafrńska, B., Korta, G. (2012). Aktualizacja mapy glebowo-rolniczej z wykorzystaniem klasyfikacji obiektowej (OBIA) zobrazowań teledetekcyjnych oraz analiz przestrzennych GIS. *Arch. Fotogram., Kartogr. Teledet.*, 23, 477–488.
- Williams, J.R. (1975). Sediment routing for agricultural watersheds. *Water Resour. Bull.*, 11, 965–974.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall erosion losses – a guide to conservation planning, *Supersedes Agriculture Handbook*, 282; Washington, 4–11.

- Zabaleda, A., Martinez, M., Mriarte, J.A., Antiguada, I. (2007). Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque country. *Catena*, 71(1), 179–190.
- Żmuda, R., Sasik, J., Szewrańska, Sz. (2005). Analiza potrzeb zmian zagospodarowania przestrzennego wzgórz trzebnickich w aspekcie ochrony przed erozją wodną gleb. *Acta Agrophys.*, 5(1), 229–237.

INFLUENCE OF DAILY PRECIPITATION ON YIELD OF ERODED SOIL IN MOUNTAIN BASIN USING THE MUSLE MODEL

Abstract. Results of the investigations on soil loss amount using the MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) in the modification proposed by Banasik and Górski [1990] were presented in the work. In the investigations there were regarded daily sums of precipitation of height ≥ 20 mm in the years 2011–2014 from the weather station Obidowa. For determination of influence of daily precipitation on soil eroded from the investigated basin, simulation of the phenomenon regarding daily sums in gradation 5 mm. Daily precipitations, that occurred in the years 2011–2014 were analyzed as well. Simulated soil loss from the investigated basin fluctuated between 0,01 Mg for single rainfall amounting 20 mm and 36978,47 Mg for rainfall of 115 mm.

Keywords: water erosion, MUSLE model, GIS

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.06.2017

Do cytowań – For citation: Kruk, E. (2017). Wpływ dobowego opadu atmosferycznego na wielkość wyerodowanego materiału glebowego w górskiej zlewni, z użyciem modelu musle. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(2), 147–158.