

# **Erozja wodna gleb karpackich w warunkach dominacji darniowo-leśnej szaty roślinnej na przykładzie zlewni górnego Grajcaraka**

A. KOWALCZYK, S. TWARDY

*Institut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie*

## **Water erosion of the Carpathian soils in the conditions of domination of sod-forest vegetation based on the example of the upper Grajcarek River basin**

**Abstract.** The aim of this study was to determine the mass of eroded soil using the universal soil loss equation (USLE) developed by Wischeier and Smith (1992). The probability (10%, 50% and 80%) of occurrence of atmospheric precipitation for the years 1956–2017 was calculated. There was also estimated the probability of soil material erosion for calculated probabilities of precipitation in the basins of Biała Woda and Czarna Woda, that are parent streams for the Grajcarek River. Durable sod-forest vegetation dominates in the considered basins. At the same time, the agricultural land, means mainly permanent grassland and arable land, is in disappearance. The analysis shows that under specific pluviometric conditions soil water erosion ranged from 400 to 650 t·km<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup> in sub-basins. However, for the whole basin, the risk of water erosion was lower.

Keywords: soil erosion, USLE equation, mountain river basin.

### **1. Wstęp**

Obszary karpackie wyróżniają się dużą odmiennością przestrzenną, strukturalną i przyrodniczą, szczególnie w porównaniu do innych części naszego kraju. Góry te charakteryzuje też odmienny niż na niżu klimat oraz duża zmienność wszystkich jego składowych; opadów, temperatury, usłonecznienia, wilgotności powietrza, siły wiatrów itp. Czynniki te, zwłaszcza obfite opady atmosferyczne i temperatury powietrza, decydują o bogatym urzeźbieniu powierzchni zlewni górskich. Modelują powierzchnie tworząc żłobiny, które z czasem pogłębiają się i zamieniają w jary czy wąwozy. Pamiętać bowiem należy, że są to obszary wodorodne, czyli tereny o największych opadach atmosferycznych w naszym kraju, na których występują równocześnie znaczne deniwelacje i nachylenia stoków górskich. Dlatego obszary górskie są szczególnie zagrożone procesami

erozyjnymi, zwłaszcza erozją wodną. W górach, obok erozji wodnej, gleby są narażone na erozję wietrzną, osuwiskową, śniegową, a także uprawową, związaną z rolniczą działalnością człowieka, użytkownika ziemi. Często na omawianym terenie występuje równocześnie kilka typów zagrożeń erozyjnych, które zazwyczaj są inicjowane przez intensywne opady atmosferyczne.

Erozja wodna gleb jest, obok czynników klimatycznych, uzależniona od budowy geologicznej i uziarnienia profilu glebowego, zwięzłości i szkieletowości gleby, a także sposobu jej użytkowania rolniczego. Duże znaczenie odgrywa tu też sposób wykorzystania ziemi oraz związany z nim rodzaj pojawiającej się okrywy roślinnej. Mniej skuteczna jest okrywa przejściowa utworzona z roślin uprawnych, a znacznie lepsza z trwałego zadarnienia, zakrzaczenia lub zalesienia. Przeciwerozyjna skuteczność takiej osłony jest zróżnicowana. Na ogół jest ona odwrotnie proporcjonalna do ilości dni bez występowania takiej szaty roślinnej (KLIMA, 2000).

Użytkowanie rolnicze, szczególnie płużne, sprzyja erozji wodnej gleb. Jest to głównie erozja powierzchniowa. Gleby uprawne położone na stokach są szczególnie narażone na procesy erozyjne, zwłaszcza w okresach okołosiewnych zbóż jarych lub sadzenia okopowych, a także już po zbiorach tych ziemioplodów (KLIMA i KASPERCZYK, 2009). Mniejsze zagrożenie dla gleb ornych rejestruje się przy zwartej okrywie roślinnej, co wykazali wymienieni badacze. Glebochronna funkcja roślinności polega na amortyzowaniu bezpośredniego oddziaływania energii deszczu na glebę, którą elastycznie przejmują liście roślin uprawnych. Cytowane badania wskazują równocześnie na duże szkody erozyjne, jakie przynoszą opady rozlewne przechodzące okresowo w intensywne ulewy. Wówczas rozmiękczona gleba, o pełnej pojemności wodnej, może łatwo spływać w dół zabierając ze sobą nie tylko materiał glebowy, ale również rośliny uprawne, przyszłe plony wymyte i wyrwane wraz częściami nadziemnymi i podziemnymi. Z kolei urozmaicony relief, wszystkie nierówności powierzchniowe, sieć hydrograficzna oraz źle poprowadzona sieć dróg polowych, które w okresie nawałnych opadów atmosferycznych zamieniają się w „potoki”, przyspieszają odprowadzanie erodowanego materiału z powierzchni zlewni. Jest to głównie erozja liniowa, uruchamiana często na skutek niewłaściwej gospodarki człowieka.

Erozja wodna gleb, zarówno powierzchniowa jak i liniowa, silnie degraduje środowisko przyrodnicze. Zjawisko to rejestrowano w zlewni górnego Dunajca, zwłaszcza Grajcarka, który jest prawostronnym dopływem, już kilkadziesiąt lat temu (PROCHAL, 1962; JAGŁA, 1965). Wówczas prowadzono tam intensywną gospodarkę rolną z równocześnie małą dbałością o środowisko. Najważniejsze bowiem były aspekty produkcyjne. Stąd, w strukturze użytków rolnych występowała nieuzasadniona, nadmierna ilość gruntów ornych, które były też

niewłaściwie rozmieszczone przestrzennie w obrębie zlewni (TWARDY i WSP., 2016). Natomiast, w wyniku transformacji ustrojowej, znacząco zmieniła się struktura użytków rolnych. Obecnie dominują tu trwałe użytki zielone, głównie ekstensywne pastwiska, które stanowią równorzędne znaczenie, zarówno produkcyjne jak i ochronne (KOWALCZYK i TWARDY, 2007). Tereny te są wartościowe z przyrodniczego, krajobrazowego i kulturowego punktu widzenia. Ponadto stanowią atrakcję turystyczną, która ukierunkowuje działalność mieszkańców bardziej w stronę usług agroturystycznych, niż aktywności rolno-produkcyjnej.

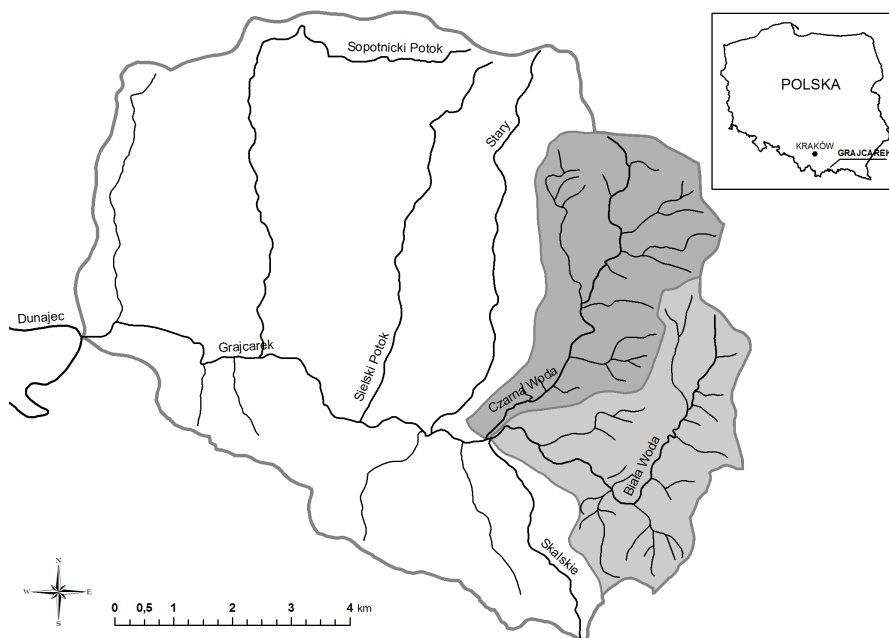
Celem prezentowanej pracy było rozpoznanie wielkości erodowanego materiału glebowego zmywanego z małych zlewni górskich. Obliczenia dotyczyły zlewni, na powierzchni których dominuje szata leśno-darniowa, a ruń roślinna jest ekstensywnie użytkowana rolniczo, głównie jako trwałe pastwiska owcze.

## 2. Materiał i metody

### 2.1. Charakterystyka warunków badań

Badania zlokalizowano w Małych Pieninach w zlewni potoku Grajcarek. Skoncentrowano je na dwóch zlewniach cząstkowych tego potoku, tj. zlewni Białej Wody i Czarnej Wody, dobrze rozpoznanych pod względem przyrodniczym (ryc. 1). Badania prowadzono w oparciu o istniejącą od lat 50. w Jaworkach Stację Badawczą ITP wyspecjalizowaną w pracach doświadczalnych związanych z gospodarką łąkowo-pastwiskową i wodną. Te ostatnie dotyczyły zwłaszcza aspektów hydrologicznych i hydrochemicznych występujących w warunkach relacji zachodzących między użytkowaniem ziemi a ilością i jakością wód powierzchniowych odpływających z obszarów górskich. Do obliczeń wykorzystano dane pochodzące z długich, choć zróżnicowanych czasowo ciągów obserwacyjno-pomiarowych. Dłuższy (1956–2017) dotyczył pomiarów klimatycznych, w tym opadów atmosferycznych. Z podanego ciągu czasowego, wybrano krótszy okres lat hydrologicznych (1997–2017) dla szczegółowego przeanalizowania rozkładu sumarycznej wielkości opadów w półroczu letnim i zimowym, a także procentowego prawdopodobieństwa ich wystąpienia na różnych poziomach.

Powierzchnia zlewni Grajcarek wynosi 84,9 km<sup>2</sup>. Jej granice wododziałowe pokrywają się prawie dokładnie z granicami gminy Szczawnica, co ułatwia pozyskiwanie i weryfikację niektórych trudnodostępnych danych strukturalnych i planistycznych z zakresu zmian zachodzących na omawianym terenie (TWARDY i WSP., 2002).



Rycina 1. Obszar badań (opracowanie własne)  
Figure 1. Research area (own elaboration)

W obrębie zlewni Grajczarka największymi zlewniami cząstkowymi są zlewnie potoków Czarnej Wody (11,66 km<sup>2</sup>), Białej Wody (10,91 km<sup>2</sup>) oraz zlewnie potoku Starego (8,33 km<sup>2</sup>) i Sielskiego (8,24 km<sup>2</sup>) (tab. 1).

Rzeźba powierzchni zlewni Grajczarka jest urozmaicona. Występują tam nierówności, wcięcia terenowe, jary i suchocieki. Średni spadek całego cieku wynosi 1,7%, dla Białej Wody wynosi 5,2%, a dla Czarnej Wody 8,2%

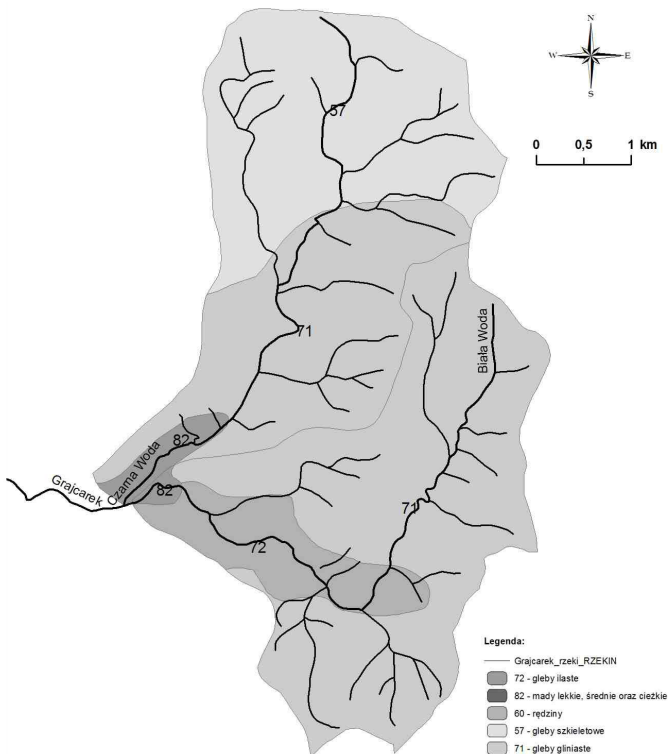
Tabela 1. Wybrane charakterystyki przestrzenne cząstkowych zlewni górnego Grajczarka (TWARDY i WSP., 2016)

Table 1. Selected spatial features of the upper Grajcarek River sub-basins (TWARDY ET AL., 2016)

| Potok<br>Stream | Powierzchnia zlewni<br>(km <sup>2</sup> )<br>Basin area (km <sup>2</sup> ) | Wysokość<br>n.p.m. (m)<br>Elevation a.s.l. (m) | Średnie wzniesienie<br>n.p.m. (m)<br>Average elevation a.s.l. (m) |
|-----------------|--|--|---|
| Grajcarek       | 84,45  | 420-1264                                       | 815   |
| Biała Woda      | 10,91  | 564-1060                                       | 842   |
| Czarna Woda     | 11,66  | 564-1264                                       | 895   |
| Stary           | 8,33   | 540-1191                                       | 861   |
| Sielski         | 8,24   | 514-1173                                       | 824   |

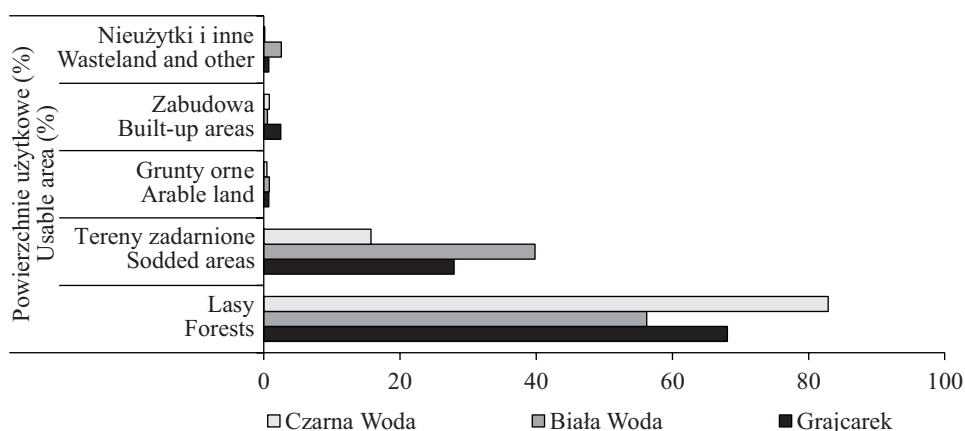
(TWARDY i WSP., 2016), zaś średni jednostkowy odpływ z wielolecia wynosi  $18,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ .

W omawianych zlewniach występują gleby brunatne, biellicowe, rędziny, czarne ziemie, gleby hydrogeniczne oraz inicjalne (ryc. 2). Dominują jednak gleby brunatne, w wyższych partiach terenu mocno zakwaszone o składzie granulometrycznym piasków gliniastych, glin lekkich (brunatne kwaśne), średnich i ciężkich (brunatne właściwe). Gleby biellicowe występują w najwyższych partiach Pasma Radziejowej, a rędziny płatami na podłożu węglanowym. Gleby hydrogeniczne spotyka się tu lokalnie w obrębie wypływów wody zaskórnej (młak), częściej w pienińskiej, niż beskidzkiej części zlewni górnego Grajcarcka. Gleby inicjalne występują na stromych, wylesionych stokach i odsłoniętych powierzchniach skalnych. Są to gleby silnie szkieletowe, zazwyczaj przemieszane jednak z materią organiczną, zazwyczaj resztkami ściółki.



Rycina 2. Gleby w zlewni Biała Woda i Czarna Woda (opracowanie własne na podstawie pracy TWARDY i WSP., 2016)

Figure 2. Soils with in the basins of Biała Woda and Czarna Woda (own elaboration based on TWARDY ET AL., 2016)



Rycina 3. Użytkowanie zlewni potoków: Grajcarek, Biała Woda i Czarna Woda (opracowanie własne)

Figure 3. Land use with catchment in the basins of Grajcarek, Biała Woda and Czarna Woda (own elaboration)

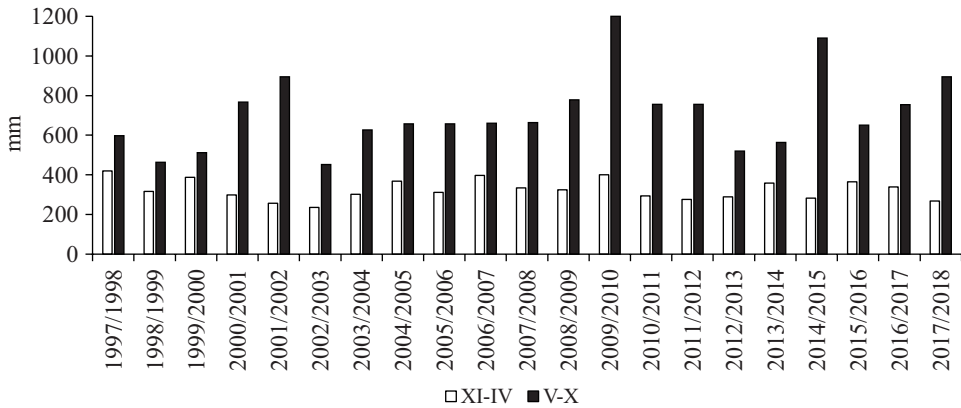
Użytkowanie ziemi w całej zlewni górnego Grajczarka, w tym szczególnie w zlewniach cząstkowych, ma wybitnie charakter leśno-darniowy (ryc. 3). Tereny leśne zajmują 68,1%, zadarnione 27,9%, pozostałe zaś, łącznie 4,0%, to nieużytki, tereny znajdujące się pod zabudową i infrastrukturą techniczną, a także grunty orne, które zajmują tu zaledwie 0,7% ogólnej powierzchni omawianej zlewni.

Obszary zabudowane skupione są w większości w dolnej części zlewni Grajczarka, w obrębie miasta Szczawnicy. Zbliżony układ strukturalny rejestruje się w obu zlewniach cząstkowych. Zarówno zlewnia Białej Wody, jak i Czarnej Wody charakteryzuje się znikomym udziałem gruntów ornych, wyraźnie poniżej 1,0%, oraz nieco większym udziałem powierzchni zajętej pod zabudowę wiejską, lotniskową i infrastrukturę techniczną.

W przytłaczającej przewadze występują tu natomiast obszary leśne oraz trwałe użytki zielone (TUZ) wykorzystywane ekstensywnie jako sezonowe pastwiska. Taka okrywa roślinna stanowi w górach cenną osłonę dla ubogich gleb górskich. Osłona taka jest szczególnie przydatna w warunkach intensywnych lub długotrwałych rozlewnych opadów atmosferycznych.

## 2.2. Metody pomiarów i obliczeń

Pomiary meteorologiczne prowadzono na stacji klimatycznej ITP w Jaworkach, zlokalizowanej na wysokości 600 m n.p.m.



Rycina 4. Opad atmosferyczny (opracowanie własne na podstawie danych ze stacji Jaworki)

Figure 4. Precipitation (own elaboration based on data from Jaworki station)

Rejestrowano między innymi opady atmosferyczne, których wielkość i charakter szczególnie wpływa na ilość erodowanego materiału glebowego. Na diagramie przedstawiono opady atmosferyczne za lata hydrologiczne 1997–2017 w rozbiu na półrocza zimowe i letnie (ryc. 4).

Prawdopodobieństwo wystąpienia określonych sum opadów atmosferycznych obliczono wykorzystując średnie wartości opadów z wielolecia 1956–2017. Zastosowano formuły empiryczne wyznaczenia prawdopodobieństwa osiągnięcia lub przekroczenia  $m$ -tego wyrazu w dowolnym  $N$ -tym elemencie ciągu rozdzielczego. W tym celu posłużono się wzorem, który umożliwił wyznaczenie krzywej empirycznej wskazującej na zależności między wielkością opadu rocznego a prawdopodobieństwem (%) jego wystąpienia (KACZMAREK, 1970; KESLER i DE RAAD, 1980; DOORENBOS, 1983).

$$p(m, N) = 100 m / (N + 1)$$

gdzie:

- $p(m, N)$  – prawdopodobieństwo empiryczne  $m$ -tego wyrazu ciągu rozdzielczego (%)
- $m$  – miejsce wyrazu w ciągu rozdzielczym,  $m$ -ty wyraz w ciągu, wielokrotności osiągnięcia lub przekroczenia określonej wielkości
- $N$  – liczebność ciągu rozdzielczego

W zależności od ilości zmytej gleby z jednostki powierzchni zlewni ( $\text{km}^2$ ) określano stopień erozji, posługując się klasyfikacją przedstawioną w tabeli 2. Natomiast ocenę przemieszczenia gleby w obrębie zlewni dokonano wy-

korzystując metodę modelu USLE (BANASIK i GÓRSKI, 1992; STONE i HILBORN, 2000). Model ten przedstawia średnie straty glebowe, przy czym zastosowane parametry w uniwersalnym równaniu strat glebowych są wartościami średnimi dla wydzielonych zlewni i obszarów.

Tabela 2. Klasyfikacja erozji wodnej (ZACHAR, 1982)  
Table 2. Classification of water erosion (ZACHAR, 1982)

| Stopień erozji<br>Degree<br>of erosion | Określenie erozji<br>Erosion description                            | Ilość zmytej gleby<br>(t·km <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )<br>Amount of soil losses<br>(t·km <sup>-2</sup> ·year <sup>-1</sup> ) |
|--|---|--|
| I                                      | nie występuje lub jest nieznaczna<br>– not present or insignificant | <25  |
| II                                     | słaba – weak  | 25–250   |
| III                                    | umiarkowana – moderate  | 250–700  |
| IV                                     | średnia – average   | 700–2500   |
| V                                      | silna – intensive   | 2500–10000   |
| VI                                     | katastrofalna – catastrophic  | >10000   |

W zakresie określenia strat glebowych zostały zebrane informacje na temat:

- średniej rocznej erozyjności opadu i spływu,
- podatności gleb na erozję, która zależy od ich składu granulometrycznego,
- spadku zbocza,
- użytkowania ziemi.

Opracowane równanie strat glebowych – USLE przez Wischeiera i Smitha (WISCHEIER i SMITH, 1978; DOORENBOS, 1983) w USA – zostało wyprowadzone w oparciu o wieloletnie badania eksperymentalne prowadzone w warunkach naturalnych, a także z zastosowaniem symulantów deszczu w terenie i w laboratoriach.

Uniwersalne równanie strat glebowych ma postać:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

gdzie:

- E – średnia z wielolecia roczna masa erodowanej gleby z jednostki powierzchni (t·km<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>)
- R – średnia roczna erozyjność deszczu i spływów (Je\*·rok<sup>-1</sup>)  
(\*Je – jednostka erodowanej gleby)
- K – podatność gleb na erozję (t·km<sup>-2</sup>·Je<sup>-1</sup>)
- L – bezwymiarowy współczynnik długości zbocza



- S – bezwymiarowy współczynnik spadku zbocza
- C – bezwymiarowy współczynnik rodzaju upraw i sposobu użytkowania terenu
- P – bezwymiarowy współczynnik zabiegów przeciwdziałających erozji

Tylko parametr R i często C, zależy m. in. od okresów występowania deszczy wywołujących erozję. Są one parametrami regionalnymi.

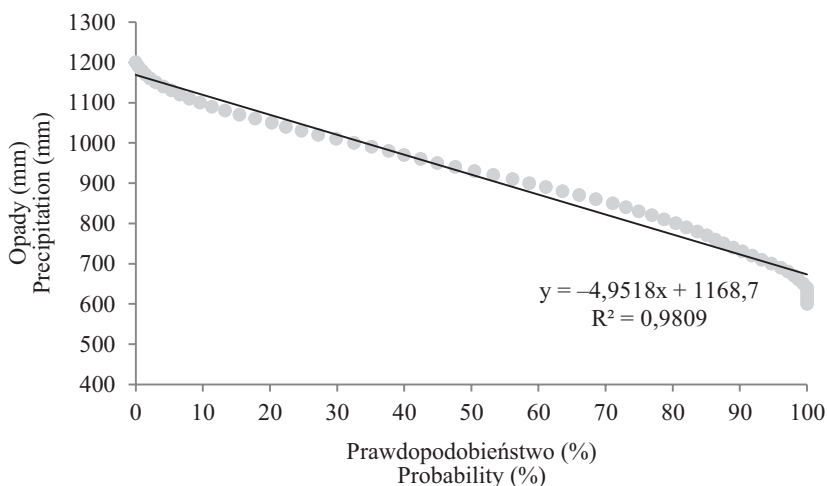
W zależności od ilości zmytej gleby z jednostki powierzchni zlewni można określić stopień erozji gleb na podstawie klasyfikacji przedstawionej w tabeli 2.

### 3. Wyniki i dyskusja

Do obliczeń potencjalnych zagrożeń, zmywów i strat erozyjnych występujących w przestrzeni rolno-produkcyjnej wykorzystuje się wiele różnorodnych metod obliczeniowych. Szczegółowo prezentuje je KUŹNIAR (2010). Równocześnie badacz ten potwierdza stanowisko FAO wskazujące na dużą przydatność programu USLE (*Universal Soil Loss Equation*) do rozpatrywania tego zagadnienia w obrębie obszarów urzeźbionych, zwłaszcza z dużym udziałem trwałej okrywy roślinnej. Dlatego w niniejszej publikacji posłużono się właśnie tym amerykańskim programem jako podstawowym narzędziem do teoretycznego obliczenia masy erodowanej gleby z jednostki powierzchni. Twórcy USLE podkreślają znaczną przydatność tej metody do zastosowania w terenach z dużym udziałem powierzchni zalesionych, a także trwałych użytków zielonych. Wybór sposobu obliczeń uwzględniał fakt, że w przypadku całej zlewni Grajcarka, w tym także jego zlewni cząstkowych, spełniony jest podstawowy warunek związany z ze sposobem użytkowania ziemi, a zwłaszcza trwałą okrywą roślinną.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że prawdopodobieństwo występowania opadów na poziomie 10% odpowiada rocznej sumie wynoszącej 1100 mm, prawdopodobieństwo 50% odpowiada sumie niewiele powyżej 900 mm, a prawdopodobieństwo 80% odpowiada sumie 800 mm opadów atmosferycznych (ryc. 5). Przy czym ekstremalnie skrajne opady, jakie zarejestrowano w całym okresie prowadzonych badań (w 2014 r.), były zróżnicowane od 645,5 mm do 1350 mm.

Dla tych samych wyróżnionych poziomów prawdopodobieństwa wystąpienia opadów rocznych, czyli 10, 50 i 80%, dokonano też oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia erozyjnego. Roczne opady o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia przyporządkowano do obliczonej również teoretycznie masy erodowanego materiału.



Rycina 5. Prawdopodobieństwo występowania opadu w latach 1978-2017 (opracowanie własne, dane ze Stacji Badawczej Jaworki)

Figure 5. The probability of occurrence of precipitation for the period 1978-2017 (own elaboration based on data from Jaworki station)

W obu rozpatrywanych zlewniach cząstkowych potoku Grajcarka największe wartości stwierdzono przy 10% prawdopodobieństwie, tj. opadzie rocznym 1100 mm. Wówczas z powierzchni 1 km<sup>2</sup> zlewni Białej Wody odpływało rocznie blisko 652 tony materiału glebowego, a ze zlewni Czarnej Wody 642 t·km<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>. Z całej zlewni Grajcarka zanotowano 257,5 t·km<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup> erodowanego materiału glebowego. Natomiast przy prawdopodobieństwie 80%, czyli sumie całorocznych opadów 800 mm, ilość erodowanej masy glebowej była z obu zlewni niemal identyczna i dochodziła prawie do 440 t·km<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>. Jednak, bez względu na wielkość opadów atmosferycznych, obliczone zróżnicowanie erodowanego materiału glebowego pochodzącego z obu omawianych zlewni było stosunkowo niewielkie, a ponadto nieistotne statystycznie. Według ZACHARA (1982) dla zlewni Grajcarka otrzymany wynik klasyfikuje cały ten teren do II stopnia erozji (tab. 2).

Niski stopień erozji jest m.in. wynikiem występujących tu gleb, a także osłaniającej ich profil okrywy roślinnej. Są to głównie gleby brunatne, które w zlewni Czarnej Wody zajmują około 85% powierzchni, a Białej Wody 68%. Czarna Woda. Są to gleby gliniaste, dość zwarte, co zwiększa ich naturalną odporność na zmywy powierzchniowe (KOWALCZYK i TWARDY 2007; TWARDY i WSP., 2016).

Badania prowadzone przez REJMANA i WSP. (2008) w podobnych warunkach klimatycznych i glebowych wykazały, że współczynnik K jest różny i zależy od kierunku spływu wód.

Tabela 3. Masa erodowanego materiału w zależności od prawdopodobieństwa opadu atmosferycznego (opracowanie własne)

Table 3. Soil losses as dependent on probability of occurrence of precipitation (own elaboration)

| Prawdopodobieństwo występowania opadu rocznego (%)<br>The probability of occurrence of annual precipitation (%) | Masa erodowanego materiału w zlewniach<br>(t·km <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )<br>Soil losses in the basins<br>(t·km <sup>-2</sup> ·year <sup>-1</sup> ) |            |             |
|---|--|------------|-------------|
|   | Grajcarek  | Biała Woda | Czarna Woda |
| 10% (1100 mm)   | 257,5  | 651,6      | 642,3       |
| 50% (930 mm)  | 215,3  | 451,2      | 498,8       |
| 80% (800 mm)  | 179,8  | 439,3      | 438,1       |

W omawianych zlewniach w strukturze użytkowania ziemi zanikają grunty orne na rzecz użytków zielonych. Jest to korzystne z punktu widzenia ochrony gleb górskich przed erozją wodną. Szata darniowo-leśna skutecznie tonuje mechaniczne działania wód opadowych, wyhamowując ich dynamikę i zamieniając spływy powierzchniowe na podpowierzchniowe, a później gruntowe. Potwierdzają to również wyniki badań prowadzone w Beskidzie Śląskim, gdzie oceniano wpływ ważniejszych czynników (w tym: spadek, długość działek, skład granulometryczny gleb, występowanie tarasów i kierunek orki itp.) na natężenie erozji wodnej. Natężenie erozji mierzone stratami gleby (ilością materiału zmywanego) było proporcjonalne do spadku. Natomiast przy podwójnym wzroście długości działki – ilość unoszonego materiału wzrasta 1,4 krotnie (KORELESKI, 2008).

#### 4. Wnioski

- W strefie średnich wysokości obszarów karpackich, do których zaliczają się również Małe Pieniny, roczne sumy opadów atmosferycznych oscylują na ogół wokół 900 mm, co odpowiada 50% prawdopodobieństwu ich wystąpienia.
- Opady atmosferyczne są istotnie zróżnicowane w ciągu roku hydrologicznego. Na półrocze letnie przypada około 70% opadu całorocznego, a na zimowe zaledwie 30%.
- Sumy opadów atmosferycznych występujące w półroczu letnim, a także charakter ich depozytu, decydują o przebiegu i rozmiarach procesów erozyjnych.

- Masy erodowanego materiału glebowego korespondują z rocznymi sumami opadów atmosferycznych, przy czym przy 50% prawdopodobieństwie wystąpienia opadu rocznego erozja glebowa wynosiła od  $450 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$  (Biała Woda) do  $500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$  (Czarna Woda).
- Największe masy erodowanej gleby stwierdzono przy 10% prawdopodobieństwie wystąpienia opadów. Wynosiły one wówczas  $640\text{--}650 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ .
- Otrzymane dane liczbowe klasyfikują całą zlewnię Grajcarka, wraz ze zlewniami cząstkowymi, do obszarów o umiarkowanym (III) stopniu erozyjności. Z obliczeń wynika, że erozja nie przekracza tutaj  $700 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

## Literatura

- BANASIK K., GÓRSKI D., 1992. Wykorzystanie uniwersalnego równania strat glebowych USLE do oceny ilości rumowiska unoszonego odpływającego z małych zlewni. *Gospodarka Wodna*, 3, 62-65.
- DOBZEAŃSKI B., GLIŃSKI J., GUZ T., 1960. Tarasowanie zboczy jako czynnik kształtowania erodowanych gleb dorzecza Białej i Czarnej Wody. *Roczniki Gleboznawcze*, 9, 2, 69-84.
- DOBZEAŃSKI B., GLIŃSKI J., GUZ T., POMIAN J., 1958. Gleby terenu dorzecza Białej Wody. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria F*, 72, 3, 963-990.
- DOORENBOS J., 1983. Agro-meteorological field stations. *Irrigation and Drainage*, Paper no. 27, Rome FAO, ss. 94.
- JAGŁA S., 1965. Wstępne badania nad wielkością zmywu gleb w terenach podgórskich przy różnym ich pokryciu. *Wiadomości IMUZ*, 6, 3, 115-123.
- KACZMAREK Z., 1970. *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, ss. 312.
- KESSLER J., DE RAAD S.J., 1980. Analyzing rainfall data. W: *Drainage Principles and Applications. Part 3. Surveys and Investigations*. International Institute for Land Reclamation and Improvement ILRI, 16, 3, 13-54.
- KLIMA K., 2000. Produkcyjność i przeciwoerozyjna skuteczność płodozmianów w warunkach górskich południowo-zachodniej części Beskidu Niskiego. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Rozprawy* 258, ss. 96.
- KLIMA K., KASPERCZYK M., 2009. *Gospodarka rolna na terenach górskich*. Wydawnictwo PWSZ Sanok, ss. 88.
- KOPACZ M., 2003. Wody powierzchniowe potoków karpaccich w warunkach zmian strukturalno-środowiskowych. Wydawnictwo IMUZ, ss. 88.
- KORELESKI K., 2008. Wpływ czynników terenowych na natężenie erozji wodnej na przykładzie wsi górskiej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 5-12.
- KOWALCZYK A., TWARDY S., 2007. Metody określania procesów erozyjnych w warunkach obszarów Karpaccich. W: *Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej*. Opracowanie monograficzne. Praca zbiorowa. LIPIŃSKI Cz. (red.). Wydawnictwo AR Kraków, 165-174.

- KUREK S., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1990. Określenie zmian odpływu w zróżnicowanych warunkach środowiska przyrodniczego małych zlewni w dorzeczu górnego Grajcarek. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 29, 135-141.
- KUŹNIAR A., 2010. Rozkład przestrzenny rolniczo-klimatycznego bilansu wodnego w dorzeczu Górnej Wisły wyznaczonego z zastosowaniem metody Penmana-Monteitha (FAO-56). *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Rozprawy naukowe i monografie, Wydawnictwo ITP, Falenty*, ss. 104.
- LIPSKI Cz., 2007. Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej. *Opracowanie monograficzne. Wydawnictwo AR Kraków*, ss. 224.
- PROCHAL P., 1962. Charakterystyka sieci hydrograficznej źródlowych potoków Grajcarek na tle stosunków fizjograficznych. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D*, 96, 13-62.
- REJMAN J., BRODOWSKI R., IGLIK I., 2008. Annual variations of soil erodibility of silt loam developer from loess based on 10-years runoff plot studies. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 39, 77-83.
- STONE R.P., HILBORN D., 2000. Universal soil loss equation (USLE). *Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs*, 53-60.
- TWARDY S., KOPACZ M., KURNICKI R., 2016. Wykorzystanie przestrzeni rolno-leśnej w Małych Pieninach w aspekcie przeobrażeń strukturalnych i środowiskowych oraz prognozowanych zmian klimatycznych. *Wydawnictwo ITP, Falenty-Kraków*, ss. 134.
- TWARDY S., KOPACZ M., JAGUŚ A., 2002. Charakterystyka przyrodnicza zlewni Grajcarek ze szczególnym uwzględnieniem środowiska wodnego i użytkowania terenu. *Instytut Melioracji i Użytków Zielonych – Małopolski Ośrodek Badawczy, Falenty – Kraków*, ss. 88.
- TWARDY S., LIPSKI Cz., 2007. Odpływ materiału mineralnego (rumoszu i zawiesiny) z małych zlewni karpackich w warunkach ekstremalnego użytkowania ziemi oraz dominacji szaty darniowo-leśnej. W: *Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej. Opracowanie monograficzne. Praca zbiorowa. LIPSKI Cz. (red.). Wydawnictwo AR Kraków*, 135-145.
- WISCHEIER W.H., SMITH D.D., 1978. Predicting fall erosion losses – a guide to conservation planning. *U.S. Department of Agriculture, Handbook*, ss. 537.
- ZACHAR D., 1982. *Soil erosion. Elsevier, Amsterdam*, ss. 547.

## **Water erosion of the Carpathian soils in the conditions of domination of sod-forest vegetation based on the example of the upper Grajcarek River basin**

A. KOWALCZYK, S. TWARDY

*Institute of Technology and Life Sciences at Falenty, Malopolska Research Centre*

### **Summary**

The aim of this study was to determine the mass of eroded soil using the universal soil loss equation (USLE) developed by Wischeier and Smith (1992). The probability (10%, 50% and 80%) of occurrence of atmospheric precipitation for the years 1956-2017 was calculated. There was also

estimated the probability of soil material erosion for calculated probabilities of precipitation in the basins of Biała Woda and Czarna Woda, that are parent streams for the Grajcarek River. Durable sod-forest vegetation dominates in the considered basins. At the same time, the agricultural land, means mainly permanent grassland and arable land, is in disappearance. The analysis shows that under specific pluviometric conditions, soil water erosion ranged from 400 to 650 t·km<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup> in sub-basins. However, for the whole basin, the risk of water erosion was lower.

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Dr inż. Agnieszka Kowalczyk

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

ul. Ułanów 21B

31-450 Kraków

tel. 12 412 84 59

e-mail: [a.kowalczyk@itp.edu.pl](mailto:a.kowalczyk@itp.edu.pl)