

Ewa SMOLSKA

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski
Faculty of Geography and Regional Studies, University of Warsaw

**Badania sedymentologiczne współczesnych osadów
deluwialnych i ich znaczenie w ocenie dynamiki procesów
erozji gleby na przykładzie Pojezierza Suwalskiego**
**Assesment of soil erosion processes based on sedimentological
analyses of contemporary deluvial sediments on the example
of the Suwałki Lakeland**

Słowa kluczowe: uziarnienie, deluwia, wskaźniki sedymentologiczne

Key words: granulometry, deluvial deposits, sedimentological indexes

Wprowadzenie

Problematyka osadów stokowych w podręcznikach sedymentologii jest traktowana marginalnie (Gradziński i in. 1986). Osady deponowane u podstawy stoków w wyniku erozji gleby zaliczane są do deluwii (Stochlak 1978, 1996, Teisseyre 1994). Dotychczas wielokrotnie zwracano uwagę na drobny, przeważnie piaszczysto-pylasty osad deluwialny, średnio i słabo wysortowany oraz dodatnio skośny, a więc o przewadze frakcji drobniejszej w stosunku do frakcji o maksymalnej częstotliwości (Ziemiński 1978, Govers 1985, Teisseyre 1994, Twardy 1995, 2003, Czyżowska 1997, Sinkiewicz 1998, Racinowski i in. 2001).

Z ostatnich badań wynika, że szczególne znaczenie dla rozróżnienia genetycznego tych osadów mają relacje pomiędzy średnią średnicą ziarna i odchyleniem standardowym (Twardy 1995, 2003, Smolska 2003, 2005). Relacje pomiędzy tymi wskaźnikami odzwierciedlają trend wyróżniony dla pozakorytowego środowiska fluwialnego przez Mycielską-Dowgiałło (1995, 2007).

W badaniach erozji gleby również poświęcono sporo uwagi uziarnieniu erodowanych osadów. Analizowano osady zdeponowane po ulewach lub poddawane działaniu opadów symulowanych (m.in. Jahn 1968, Luk 1983, De Ploey 1985, Govers 1985, Teisseyre 1994, Dwucet i Śnieszko 1996, 1997, Slattery i Burt 1997, Czyżowska 1996, 1997, Beuselinck i in. 2000). Badania wskazują na słabą pod względem frakcji selekcję transportowanego materiału w wyniku erozji żłobinowej. Erozję

rozproszoną (międzyżłobinową) cechuje natomiast selektywny transport. Deponowany materiał jest zwykle drobniejszy w porównaniu do erodowanej gleby. Cechą charakterystyczną jest transport agregatów glebowych, które również występują w deluwacjach (Ziemnicki 1978, Meyer i in. 1992, Teisseyre 1994, Bryan 2000, Beuselinck i in. 2000). Ogólnie w badaniach osadów deluwialnych zaznacza się brak nawiązania do warunków pogodowych.

Celem badań było poznanie cech osadów współcześnie ulegających erozji wodnej na stoku w odniesieniu do natężenia opadu na przykładzie Pojezierza Suwalskiego. Szczególną uwagę zwrócono na relacje pomiędzy najczęściej stosowanymi wskaźnikami uziarnienia, jakimi są: średnia średnica ziarna, odchylenie standardowe oraz skośność, i w konsekwencji ich znaczenie dla określenia dynamiki (mechanizmu) procesu.

Material i metody badań

W niniejszym opracowaniu wykorzystano wyniki badań prowadzonych na Pojezierzu Suwalskim zarówno osadów deluwialnych, jak i osadów współcześnie ulegających erozji gleby (Smolska 2005). Pomiary erozji gleby, kontynuowane w 2007 roku, pozwoliły na uzupełnienie liczby próbek osadów ulegających spłukiwaniu w określonych warunkach pogodowych.

Osady współcześnie spłukiwane były pobierane z łapaczy podczas badań erozji gleby, jakie prowadzono w latach 1987–1989 i 1998–1999 (Smolska 2005) oraz w 2007 roku. W czasie sezonu opadowego, obejmującego okres

od maja do końca lipca (do czasu żniw), pobierano także osady z powierzchni gleby (do 2 cm głębokości) ze stoków, na których prowadzono pomiary erozji metodą łapaczy, zwykle obok stanowisk pomiarowych. Pobór próbek odbywał się w tych samych cyklach co pomiary erozji gleby, zwykle raz w miesiącu, oraz po wybranych, pojedynczych ulewach. W osadach deponowanych w okresie badań określano także ich cechy strukturalne.

Analizy granulometryczne wykonano metodą sitową i sitowo-areometryczną. W analizie sitowej zastosowano zestaw sit firmy Fritsch o odstępach oczek co około 0,5 jednostki. Badano skład ziarnowy osadów. W metodzie sitowej agregaty glebowe niszczone przez rozcieranie, a w metodzie areometrycznej – przez zastosowanie peptyzatora. Wskaźniki sedymentologiczne: średnią średnicę ziarna w skali phi (M_z), wysortowanie (σ_1), skośność (Sk_1), obliczono metodą Folka i Warda (1957). Przy ich interpretacji uwzględniono uwagi Mycielskiej-Dowgiałło (1995, 2007) oraz Racinowskiego i innych (2001). Zawartość materii organicznej określono metodą prażenia w temperaturze 550°C.

Teren badań i warunki pogodowe

Badania prowadzono w północno-wschodniej Polsce na Pojezierzu Suwalskim. W badaniach uwzględniono typowe stoki pod względem morfologii i litologii obszarów młodoglacjalnych. Są to stoki: piaszczysty (Łopuchowo), piaszczysto-pylasty (Udziejek Górny), gliniasto-piaszczysty (Udziejek I) i gliniasty (Udziejek II) (Smolska 2005).

Pojezierze Suwalskie to obszar o jednej z najniższych intensywności opadów (Banasik i Górski 1993). Również wiosenne roztopy mają tu przebieg stosunkowo powolny i są to zwykle roztopy typu adwekcyjnego. W latach 1998–1999 i w 2007 roku ze względu na łagodne i prawie bezśnieżne zimy roztopy nie wystąpiły.

W okresie badań sumy roczne opadów kształtowały się od 541 do 717 mm. Maksymalny opad dobowy wyniósł 58 mm, natomiast pojedyncza ulewa osiągnęła 36 mm, przy średnim natężeniu $0,51 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Przeanalizowano warunki pogodowe poszczególnych cykli pomiarowych i wyróżniono dla okresu badań następujące typy opadów i odpowiadające im warunki przebiegu procesu erozji gleby (obliczono również erozyjność opadów):

- ulewy $> 20 \text{ mm}$, o dużym, powyżej $0,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ średnim natężeniu (spłukiwanie rozproszone z tendencją do formowania się strug wody lub spływu warstwowego) – $R > 15 \text{ Je}$,
- krótkotrwałe, pojedyncze opady typu burzowego $< 20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, o dużym natężeniu 15-minutowym i niewielkim od $0,1$ do $0,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ średnim natężeniu (przewaga rozbryzgu i słabe spłukiwanie rozproszone) – $7 < R < 15 \text{ Je}$,
- opady o różnym natężeniu średnim od $0,05$ do $0,1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (przewaga infiltracji i rozbryzgu, możliwe wystąpienie słabego spłukiwania rozproszonego) – $2 < R < 10 \text{ Je}$
- deszcze rozlewne o małym, poniżej $0,05 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ natężeniu, niewielka erozja na wszystkich stanowiskach,

niewielka w dolnej części stoku w wyniku spływu powrotnego – $R < 2 \text{ Je}$,

uwzględniono również

- spłukiwanie skoncentrowane (głównie uwarunkowane zabiegami agrotechnicznymi oraz wzdłuż ścieżki i między), jakie zachodziło podczas ulew $> 20 \text{ mm}$ i roztopów.

Wyniki

Cechy strukturalne współczesnych deluwiów

Cechy strukturalne złożonych u podstawy stoku deluwiów wskazują najczęściej na strukturę masywną, co jest związane z gwałtowną depozycją wraz z ustaniem spływu. Inny typ struktury to smugowanie i laminacja subhoryzontalna, które wynikają zarówno ze zmiennego natężenia opadu, jak i depozycji o niewielkiej miąższości podczas kilku osobnych zdarzeń. Warstwowanie skośne w małej skali, które według Teisseyra (1994) pojawia się sporadycznie, obserwowano jedynie przy depozycji zachodzącej w niewielkich zagłębieniach wypełnionych wodą, a więc typu mikrodelty. Należy podkreślić, że w okresie badań współcześnie deponowane osady u podnóża stoków tworzyły nieciągłe pokrywy o miąższości do 1–2 cm w wyniku erozji rozproszonej i do 7–12 cm w wyniku erozji żłobinowej.

Struktura osadów rzadko zachowuje się w pokrywach deluwialnych. Niewielka miąższość namywów z pojedynczych zdarzeń czy nawet całego sezonu opadowego sprawia, że struktura, podobnie jak układ płytkich żłobin na

stoku, ulega całkowitemu zniszczeniu w czasie uprawy (Ziemnicki 1978, Dwucet i Śnieszko 1996, 1997). W strefie podstokowej, gdzie nie ma już uprawy i obszar jest najczęściej trwale zadarniony, system korzeniowy roślin oraz organizmy glebowe przyczyniają się do znacznego zatarcia pierwotnej struktury osadu. Poszczególne warstwy związane z pojedynczymi ulewami czy serią ulew, lepiej są widoczne, głównie ze względu na mniejszą zawartość materii organicznej (jasna barwa) niż strukturę.

Cechy teksturalne współczesnych deluwiiów

Wykonane analizy granulometryczne dla splukiwanego materiału znajdującego się zarówno w łapaczach, jak i na powierzchni gleby w górnej, środkowej i dolnej części stoku oraz zdeponowanego w stożkach u wylotu żłobin pozwoliły na porównanie zarówno ich składu mechanicznego, jak i wskaźników sedymentologicznych.

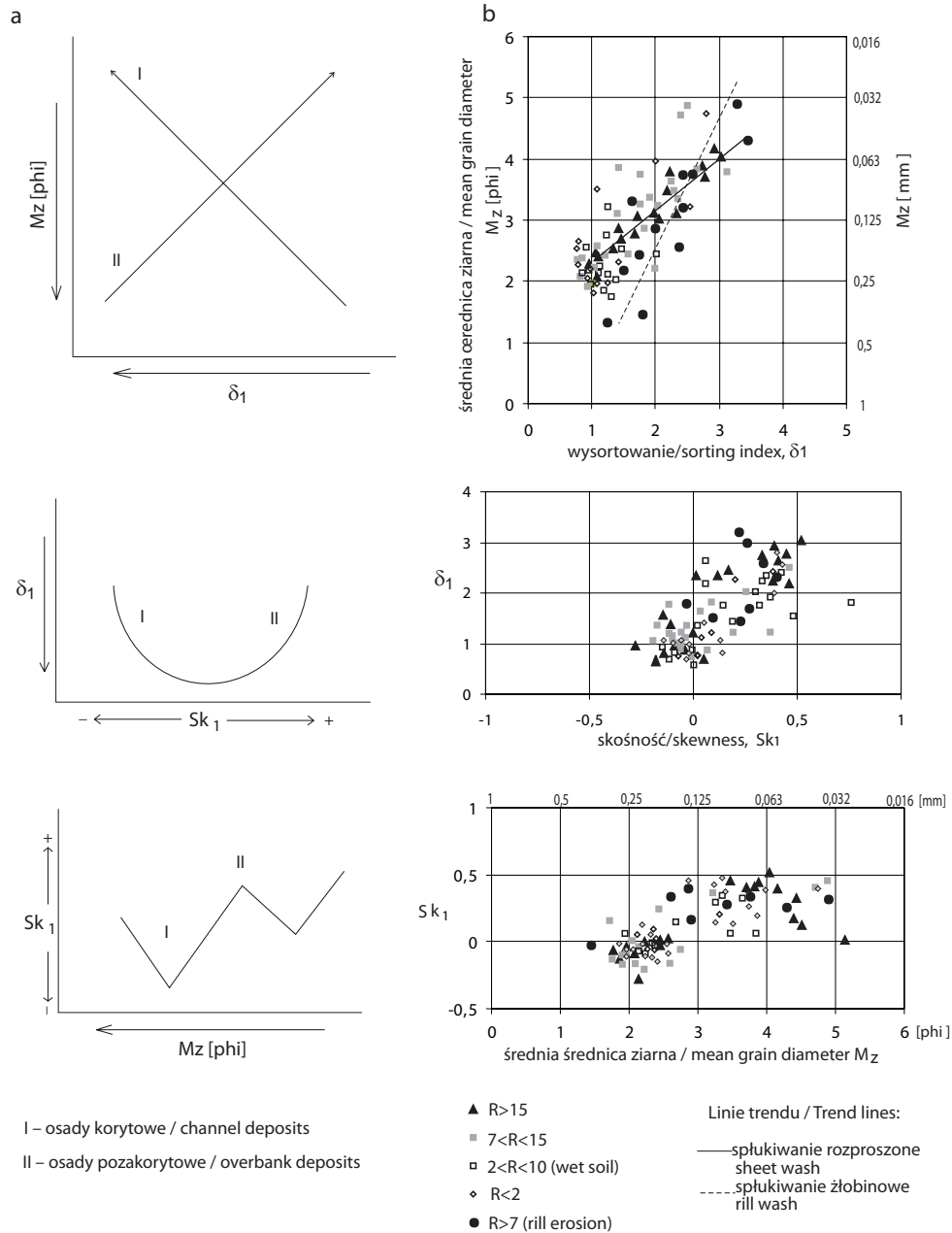
Dla osadów pochodzących z łapaczy oraz ze stożków u wylotów żłobin zestawiono podstawowe wskaźniki sedymentologiczne (rys. 1a), podobnie jak proponuje Mycielska-Dowgiałło (1995) dla środowiska fluwialnego (rys. 1b). Trend typu II zaznacza się jedynie dla osadów transportowanych podczas opadów o dużym natężeniu, zarówno przez spływ rozproszony, jak i skoncentrowany. Trend ten charakterystyczny jest dla prądowego środowiska depozycyjnego o niewielkiej dynamice, którego cechą jest sortowanie grubszych frakcji osadu i depozycja niesortowanych drobnych frakcji (Mycielska-Dowgiałło 1995). Następuje wówczas, przynajmniej częściowo, selektywny transport w dół stoku

oraz wzbogacenie w drobne frakcje, które nie podlegają już sortowaniu. Natomiast brak jest wyraźnego związku między tymi wskaźnikami dla materiału transportowanego podczas krótkotrwałych ulew, opadów o różnym natężeniu na wilgotny grunt oraz deszczy rozlewnych.

Zwraca uwagę fakt, że materiał zdeponowany w łapaczach usytuowanych w górnych i środkowych częściach stożków odzwierciedla przede wszystkim lokalne cechy gleby występującej na stoku. Uziarnienie transportowanego materiału oraz straty prażenia nie różnią się istotnie od występujących w glebie.

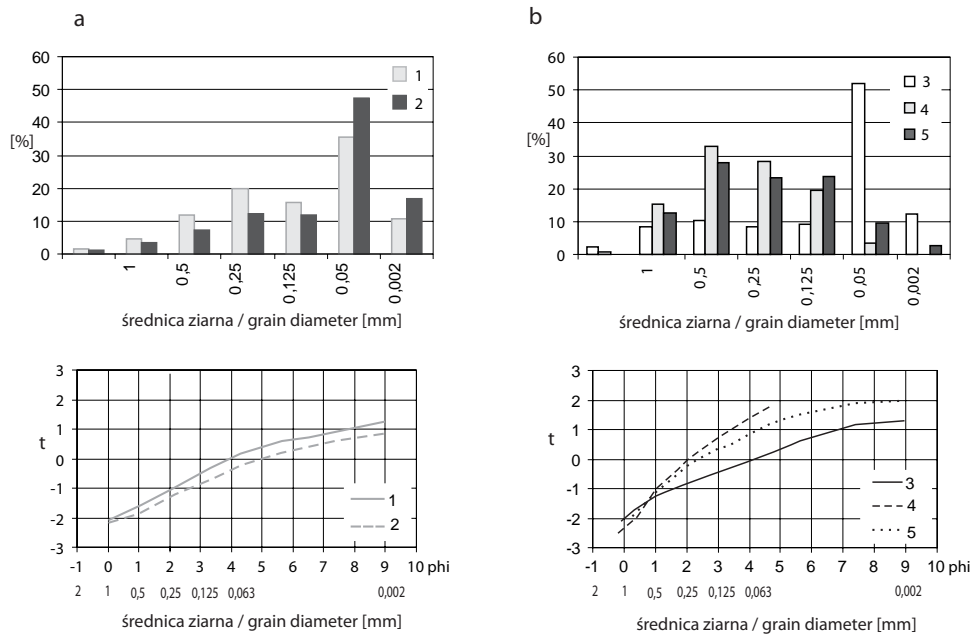
Różnice w składzie mechanicznym gleby i materiału deponowanego w wyniku splukiwania zaznaczały się dopiero w czasie transportu do dolnej części stoku i jego podnóża. Jest to widoczne na przykładzie stoku Udziejek I (rys. 2). Większy udział frakcji pylastej i ilastej w łapaczach w dolnej części stoku wskazuje na transport drobniejszych frakcji, a pozostawianie na stoku grubszych (rys. 2a). Osady zdeponowane u wylotu żłobin jako stożki deluwialne zawierały mniej frakcji pylasto-ilastej (3–5%), co świadczy o odprowadzeniu tych frakcji poza stok, tj. na terasę zalewową (rys. 2b). Końcowa faza spływu zaznaczyła się pokryciem stożka deluwialnego nieciągłą, 1–2-milimetrową warstwą drobnego osadu.

Odmienne mechanizm transportu i depozycji osadów ze splukiwania rozproszonego i żłobinowego odzwierciedla różny kąt nachylenia linii trendu (rys. 1b). Osad z erozji żłobinowej cechuje znaczne zróżnicowanie średniej średnicy ziarna przy stosunkowo niewielkim zróżnicowaniu wysortowania. Natomiast osad z erozji międzyżłobinowej cechuje



RYSUNEK 1. Trendy związków między średnią średnicą ziarna w skali phi (M_z) i wysortowaniem według Mycielskiej-Dowgiało (1995) dla osadów fluwialnych (a) i związki dla osadów z erozji gleby podczas opadów o różnej erozywności R (b)

FIGURE 1. Trend lines of relations between mean grain size in phi scale (M_z) and sorting index (σ_1) according to Mycielska-Dowgiało (1995) in fluvial deposits (a) and relations between deposits from soil erosion and rainfall erosivity (b)



RYSUNEK 2. Skład mechaniczny i krzywe uziarnienia w skali prawdopodobieństwa (t) deluwii na stoku gliniasto-piaszczystym z erozji rozproszonej (a) i żłobinowej (b): 1 – środkowa część stoku, 2 – dolna wklęsła część stoku, 3 – transportowany materiał (z łapacza), 4 – stożek, 5 – powierzchnia stożka (2 mm)

FIGURE 2. Grain size distribution and cumulative curves in probability scale (t) of sediment from interrill (a) and rill (b) erosion on loam-sandy slope: 1 – middle section of slope, 2 – concave section of slope, 3 – transported matter (from collector), 4 – fan, 5 – top of fan (2 mm thickness)

się mniejszym zróżnicowaniem średniej średnicy ziarna, przy znacznym zróżnicowaniu wysortowania.

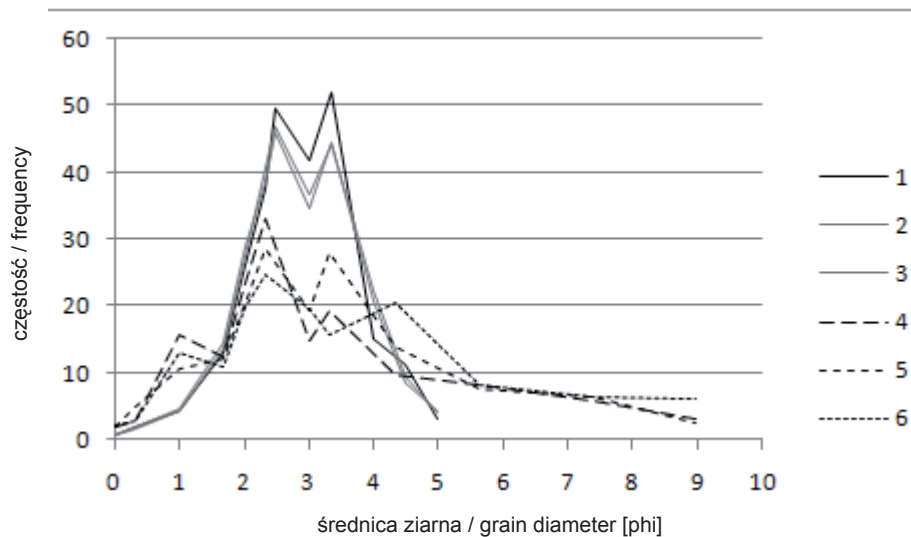
Ponieważ zmiany w uziarnieniu osadów podczas procesu erozji, transportu i depozycji zaobserwowano dopiero w dolnych partiach stoków, można więc na tej podstawie wnioskować, że proces splukiwania „zapisuje się” w osadzie w wyniku drogi transportu przynajmniej długości 30 m.

Skład granulometryczny można także przedstawić jako krzywe częstości. Charakterystyczny wielomodalny przebieg krzywych częstości (o małej amplitudzie mód) badanych osadów również

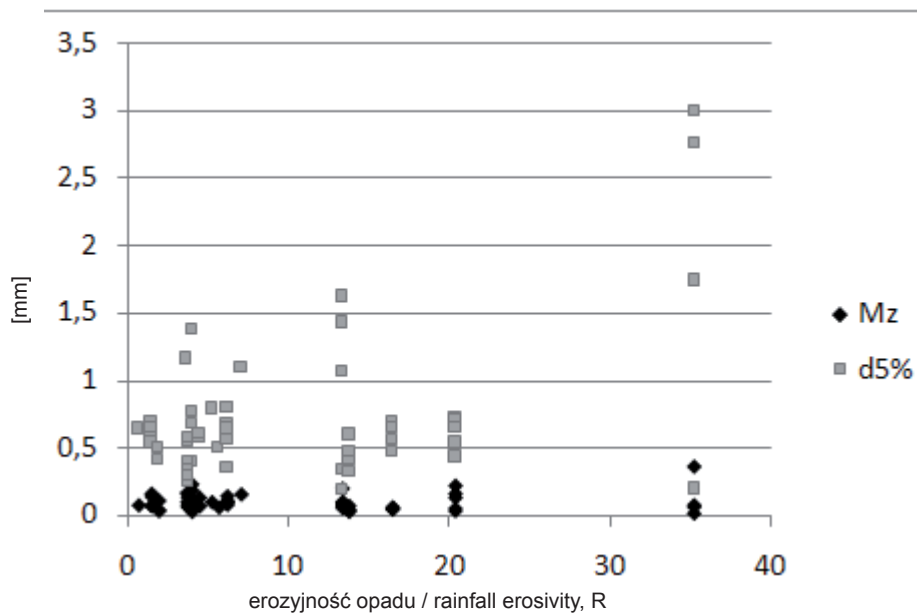
można uznać za wskaźnikowy dla osadów deluwialnych (rys. 3).

W sedymentologii o dynamice środowiska transportowego i depozycyjnego wnioskuje się na podstawie średniej średnicy ziarna (M_z) i średnicy najgrubszego ziarna w osadzie (C) lub średnicy ziarna, która wraz z większymi stanowi 5% masy osadu $d-5\%$ (Gradziński i in. 1986). Dla próbek z łapacza zestawiono wartości M_z i $d-5\%$ z erozyjnością poszczególnych opadów (rys. 4). Przedstawione relacje są stosunkowo słabe, a nieco lepsze zaznaczają się w przypadku $d-5\%$ ($R^2 = 0,25$).

Na zawartość w deluwiiach rozproszonej materii organicznej w relacji do



RYSUNEK 3. Krzywe częstości osadów deluwialnych u podstawy stoku piaszczystego (1–3) i glinia-
sto-piaszczystego (4–6) deponowane w lipcu 1999 roku
FIGURE 3. Frequency curves of deluvial sediment at foothill of sandy slope (1–3) and loam-sandy
slope (4–6) deposited in July 1999



RYSUNEK 4. Zależność między średnią średnicą ziarna (M_z) i średnicą ziarna $d_{-5\%}$ współczesnych
deluwiów a erozyjnością opadów (R)
FIGURE 4. Relations between mean size grain (M_z), size grain $d_{-5\%}$ and rainfall erosivity (R)

średniej średnicy ziarna zwracał uwagę Twardy (2003), wskazując, że im drobniejszy jest osad, tym zawiera więcej materii organicznej. W przypadku badanych osadów również zaznacza się analogiczna zależność. Osady deponowane u wylotu żłobin zawierają znikome ilości materii organicznej, zwykle poniżej 0,5%. Natomiast współczesne deluwia akumulowane w wyniku erozji rozproszonej zawierają jej znacznie więcej, w najdrobniejszych osadach zaś straty prażenia sięgają 5%.

Dyskusja

Analiza wskaźników sedymentologicznych współcześnie transportowanych po stoku osadów wykazała, że zależność pomiędzy średnią średnicą ziarna, wysortowaniem i skośnością zaznacza się jedynie w przypadku opadów powyżej 20 mm i o znacznym natężeniu (rys. 1). Podczas opadów o małym i średnim natężeniu nie były przekraczane wartości progowe powszechnego formowania się spływu na stoku. Spływ kończył się w początkowej jego fazie lub trwał bardzo krótko i występował lokalnie. Jest to główna przyczyna braku związku między analizowanymi wskaźnikami sedymentologicznymi. Stwierdzono, że podczas opadów poniżej 20 mm, nawet o dużym chwilowym natężeniu, uruchamiane były znaczne ilości materiału, ale jego transport był bardzo krótki, a depozycja gwałtowna, bez segregacji (lub o słabej segregacji). Dlatego nie następowało odzwierciedlenie procesu sortowania w cechach sedymentologicznych osadu. Na brak takiego związku wpływ ma również transport

całych agregatów glebowych oraz proces rozbryzgu, który dostarcza większych cząstek niż uruchamiane spływem. Na taki sposób transportu deluwii zwracano uwagę wielokrotnie (m.in. Froehlich i Słupik 1980, Teisseyre 1994, Slattery i Burt 1997, Gabriels 1999, Leugout i in. 2005). Dopiero podczas opadów o dużym natężeniu dochodzi do częściowo selektywnego transportu w dół stoku, a przede wszystkim do wzbogacenia w drobne frakcje, które nie podlegają już sortowaniu. Natomiast na stoku pozostają frakcje grubsze (Jahn 1968, Govers 1985, Gabriels 1999).

Na stosunkowo krótkich stokach młodoglacjalnych, na których prowadzono badania, proces selekcji pod względem frakcji zaznaczył się w związkach między M_z - σ_1 i M_z - Sk_1 . Można przypuszczać, że przy przewadze pulsacyjnego transportu potrzebna jest dłuższa droga, by znalazł on odzwierciedlenie także w relacji pomiędzy Sk_1 - σ_1 . Również mniejszy spadek w dolnej części stoków warunkuje depozycję większości transportowanego materiału. Dodatkowo do gwałtownej depozycji wszystkich frakcji przyczynia się większa szorstkość podłoża, związana ze zmianą użytkowania z gruntów ornych na łąkę. Są to zasadnicze przyczyny słabej selekcji osadów stożków u wylotu żłobin. Częściowe odprowadzanie poza stok frakcji najdrobniejszych jest w tych osadach lepiej zaznaczone w porównaniu do spłukiwania rozproszonego czy warstwowego (De Ploey 1985, Govers 1985).

Słaba zależność między średnicą ziarna a erozyjnością opadu (rys. 4) wynika przede wszystkim z uwarunkowania procesu frakcją materiału, jaki podlega transportowi, a także z jego cech fizycz-

nych, takich jak wilgotność podłoża czy wielkość agregatów. Powszechne występowanie transportu w postaci agregatów, a nie ziaren podkreślał Teisseyre (1994), który wyróżniał agregaty glebowe o średnicy piasku i pyłu. Istotne znaczenie ma także uruchamianie w wyniku rozbryzgu zarówno ziaren, jak i całych agregatów, które następnie są transportowane przez splukiwanie (Froehlich i Słupik 1980, Luk 1983, Slattery i Burt 1997, Legout i in. 2005).

Podsumowanie i wnioski

Badania osadów pochodzących z erozji gleby potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia, dotyczące ich cech strukturalno-teksturalnych. Wykonane analizy wskazują, że uziarnienie osadów jest uwarunkowane składem mechanicznym gleby, jaka występuje na stoku. Stąd zakres średniej średnicy ziarna jest podobny, a deluwia są nieco drobniejsze, głównie ze względu na nieco większy udział frakcji pylastych i ilastych. Analizowane osady były średnio i słabo wysortowane oraz dodatnio skośne, co wskazuje na analogiczne cechy jak dla gleby na stoku. Osady z erozji żłobinowej cechowała skośność od lekko dodatniej do lekko ujemnej.

Zarówno uprawa stoku, jak i zmiany postsedymentacyjne osadów ze splukiwania w wielu przypadkach utrudniają wyseparowanie warstewek odpowiadających pojedynczemu zdarzeniu, stąd najczęściej jest analizowane uziarnienie odpowiadające wielu zdarzeniom. Dobrze ilustrują to wielomodalne krzywe częstości o charakterystycznych niewielkich amplitudach poszczególnych mód.

We wnioskowaniu o dynamice procesu pomocne może być zastosowanie sedymentologicznej analizy osadów. Zestawienie średniej średnicy ziarna w skali phi i odchylenia standardowego wskazuje na trendy charakterystyczne dla osadów z erozji rozproszonej i żłobinowej. Powyższe trendy zaznaczają się w osadach deponowanych jedynie podczas ulew o znacznym natężeniu, co wskazuje, że przede wszystkim takie zdarzenia kształtują ich cechy sedymentologiczne. Brak jest zapisu procesu w cechach uziarnienia osadów deponowanych w górnej i środkowej części badanych stoków. Na tej podstawie można wnioskować, że proces splukiwania „zaznacza się” w osadzie w wyniku drogi transportu przynajmniej długości 30 m.

Na intensywność opadów lepiej wskazuje średnica ziarna $d-5\%$ niż średnia średnica (M_z). Jednak zależność między erozyjnością opadu a $d-5\%$ jest słaba ($R^2 = 0,25$), ze względu na transport nie tylko pojedynczych ziaren, ale również agregatów oraz dostarczanie do spływu cząstek gleby przez rozbryzg.

Literatura

- BANASIK K., GÓRSKI D. 1993: Evaluation of rainfall erosivity for east Poland. W: Runoff and sediment yield modelling (RSY-93). Red. K. Banasik, A. Żbikowski. Wydaw. SGGW Warszawa: 129–134.
- BEUSELINCK L., STEEGEN A., GOVERS G., NATCHERGAELE J., TAKKEN I., POE-SON J. 2000: Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the belgian Loam Belt. *Geomorphology* 32: 69–82.
- BRYAN R.B. 2000: Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology* 32: 385–415.

- CZYŻOWSKA E. 1996: Skutki geomorfologiczne i sedymentologiczne gwałtownej ulewy w dolinie Kalinki 15 września 1995 roku (Wyżyna Miechowska). *Przegl. Geol.* 44, 8: 813–816.
- CZYŻOWSKA E. 1997: Charakterystyka sedymentologiczna osadów deluwialnych, proluwialnych i aluwialnych. W: Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku. Red. L. Starkel. *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN* 8: 63–75.
- De PLOEY J. 1985: The origin of modern and old colluvium in the light of a colluviation model. In: Recent trends in physical geography in Belgium. Study series of the Vrije Universiteit Brussel. Ed. M. van Molle. *New Series* 20: 157–171.
- DWUCET K., ŚNIESZKO Z. 1996: Redepozycyjna transformacja lessów i gleb nalessowych po gwałtownej ulewie w dniu 15 września 1995 roku na Wyżynie Miechowskiej. *Przegl. Geol.* 44 (8): 790–792.
- DWUCET K., ŚNIESZKO Z. 1997: Zmiany fizykochemiczne cech lessów i gleb nalessowych po redepozycji spowodowanej gwałtowną ulewą. W: Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku. Red. L. Starkel. *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN* 8: 76–85.
- FOLK R.L., WARD W. 1957: Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.* 27, 3–26.
- FROELICH W., SŁUPIK J. 1980: Importance of splash in erosion process within a small flysch catchment basin. *Stud. Geomorph. C.-Balcan.* 14: 77–112.
- GABRIELS D. 1999: The effect of slope length on the amount and size distribution of eroded silt loam soils: short slope laboratory experiments on interrill erosion. *Geomorphology* 28: 169–172.
- GOVERS G. 1985: Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion. *Catena* 12: 35–49.
- GRADZIŃSKI R., KOSTECKA A., RADOMSKIA., UNRUG R. 1986: Zarys sedymentologii. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- JAHN A. 1968: Selektywna erozja gleb i jej znaczenie w badaniach geomorfologicznych. *Przegl. Geogr.* 40, 3: 419–424.
- LEGOUT C., LEGUÉDOIS S., LE. BISSONNAIS Y., MALAN ISSA O. 2005: Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma* 124: 279–292.
- LUK S.-H. 1983: Effect of aggregate size and microtopography on rainwash and rainsplash erosion. *Z. Geomorph.* 27: 283–295.
- MEYER L.D., LINE D.E., HARMON W.C. 1992: Size characteristics of sediment from agricultural soils. *J. Soil Water Cons.* 47 (1): 107–111.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1995: Wybrane cechy teksturalne i ich wartość interpretacyjna. W: Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników. Red. E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski. Wydaw. WGiSR, Warszawa: 29–105.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 2007: Metody badań cech tekstualnych osadów klastycznych i wartość interpretacyjna wyników. W: Badania cech tekstualnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku. Red. E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski. Wydaw. SWPR, Warszawa: 95–180.
- RACINOWSKI R., SZCZYPEK T., WACH J. 2001: Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych. Wydaw. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- SINKIEWICZ M. 1998: Rozwój denudacji antropogenicznej w środkowej części Polski północnej. Red. W. Niewiarowski. Wydaw. UMK, Toruń.
- SLATTERY M.C., BURT T.P. 1997: Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow. *Earth Surf. Process. Landforms* 22: 705–719.
- SMOLSKA E. 2003: Cechy deluwii na przykładzie osadów stokowych pagórka w okolicy Łopuchowa na Pojezierzu Suwalskim. *Prace i Studia Geogr. WGiSR* 33: 45–57.
- SMOLSKA E. 2005: Znaczenie splukiwania w modelowaniu stoków młodoglacjalnych (na przykładzie Pojezierza Suwalskiego). Wydaw. WGSU UW, Warszawa.

- STOCHLAK J. 1978: Struktury i tekstury młodoplejstoczeńskich osadów deluwialnych. *Biul. Inst. Geol.* 306: 115–174.
- STOCHLAK J. 1996: Osady deluwialne nieodłączny efekt procesu splukiwania i propozycja ich podziału. *Ogólnop. Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”*. Prace Nauk. 2, Puławy: 111–132.
- TEISSEYRE A.K. 1994: Spływ stokowy i współczesne osady deluwialne w lessowym rejonie Henrykowa, na Dolnym Śląsku. *Prace Geol.-Miner.* 53.
- TWARDY J. 1995: Dynamika denudacji holocenińskiej w strefie krawędziowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Geogr. Lodziensia* 69.
- TWARDY J. 2003: Cechy sedimentologiczne neoholocenijskich osadów stokowych na Wyżynie Łódzkiej i ich wartość interpretacyjna. *Prace i Studia Geogr.* 33: 25–44.
- ZIEMNICKI S. 1978: Erozja wodna. PWRiL, Warszawa.

Summary

Assesment of soil erosion processes based on sedimentological analyses of contemporary deluvial sediments on the example of the Suwałki Lakeland. Research on soil erosion undertaken on selected slopes of the Suwałki Lakeland (NE Poland) in years 1986–1989, 1998–1999 and in 2007 allowed to determine features of deposits transported and deposited within the slopes. Sedimentological analyses were used and following granulometric indices calculated: mean grain size diameter, sorting and skewness. Organic matter content was also determined by loss

on ignition. Size of mineral grains (M_z and $d-5\%$) were analysed in relation to rainfall erosivity. Analyses of sediments originated from soil erosion supports previous findings regarding their structural and textural features. Granulometric composition of deluvial deposits is determined by the source material – soil cover. Analysed slope deposits were medium and weakly sorted and their skewness was positive which shows similarity to the slope soil cover. Deposits originated from rill erosion had skewness varying from slightly positive to slightly negative. Rainfall erosivity weakly correlates with the size of mineral grains transported and deposited. This is explained by the fact that transported material included not only separate grains but also grain aggregates and because the material partially originated from rainsplash. Following juxtaposition of sedimentological indices: $M_z-\sigma_1$, M_z-Sk_1 , $Sk_1-\sigma_1$ and also M_z with loss on ignition proved helpful in determining conditions of the erosion-transport-deposition process. Multimodal frequency curves with a low amplitude of the modes are characteristic and typical for deluvial sediment. It is found that the minimum transport distance needed for registration of the process in sedimentological properties of the deposits is 30 m. Moreover, only rainfall of a high intensity was able to modify sedimentological properties of the deposits.

Author's address:

Ewa Smolska
 Uniwersytet Warszawski
 Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
 Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa