

BADANIA GRANULOMETRII RUMOWISKA UNOSZONEGO W MAŁEJ RZECE NIZINNEJ*

Kazimierz Banasik, Leszek Hejduk

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, SGGW
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: banasik@alpha.sggw.waw.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono nowe urządzenie – batometr samoczynny BS-2 do przechwytywania rumowiska unoszonego o uśrednionej w czasie charakterystyce. Batometr zainstalowano w dwóch profilach pomiarowych rzeki Zagożdżonki położonej na Równinie Radomskiej. W latach 2003-2004 pobrano siedem prób rumowiska i określono ich granulometrię za pomocą laserowego analizatora wielkości ziaren. Średnice charakterystyczne d_{50} zawierały się w granicach od 54 μm do 124 μm , natomiast średnice miarodajne d_m w granicach od 79 μm do 159 μm . Uzyskano wstępne wskazania o różnym uziarnieniu rumowiska w rozpatrywanych profilach, a także o zmienności czasowej uziarnienia.

Słowa kluczowe: rumowisko unoszone, granulometria, krzywa uziarnienia, batometr

WSTĘP

Jakość rumowiska rzeczno-egzogenicznego (uziarnienie oraz zawartość części organicznych) jest zagadnieniem kluczowej wagi przy modelowaniu procesu sedymentacji zanieczyszczeń w zbiornikach wodnych i osadnikach wstępnych. Z wielkością ziaren rumowiska związana jest także ich zdolność adsorbcyjna, szczególnie ważna w modelach prognostycznych jakości wód powierzchniowych.

O ile granulometria rumowiska wleczanego w korytach rzek aluwialnych utożsamiana jest zwykle z materiałem dennym, a w związku z tym pobór prób do analiz sitowych nie stanowi problemu, o tyle pobór i analiza materiału unoszonego, transportowanego okresowo, a pochodzącego zarówno ze zmywów powierzchniowych jak i z erozji koryta rzeki, wymaga szczególnych przyrządów i technik pomiarowych.

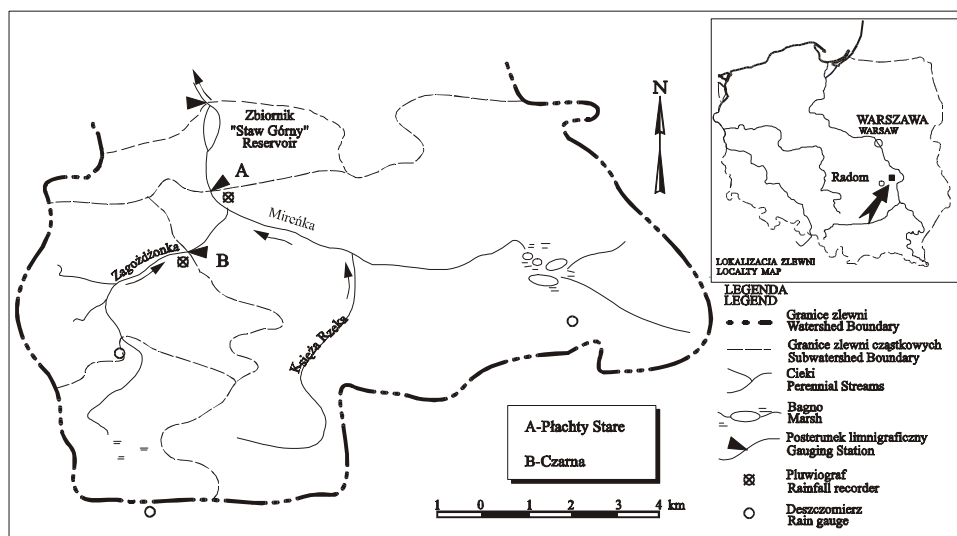
* Badania wykonano w ramach projektów badawczych KBN nr 3P06 S03422 oraz 3P06 S00123.

Poddane analizie granulometrycznej próby rumowiska pobierano z koryta rzeki nizinnej Zagożdżonki, w profilu Płachty Stare i Czarna. Do przechwytywania rumowiska unoszonego skonstruowano batometr samoczynny, oznaczany dalej przez BS-2, umożliwiający pobór próby uśrednionej w czasie, na wzór batometru opracowanego przez zespół profesora Wallinga z Uniwersytetu Exeter [6]. Granulometrię pobieranych okresowo prób określano w Pracowni Rumowiskowej SGGW za pomocą laserowego analizatora wielkości ziaren firmy Malvern Instruments Ltd. [7].

MATERIAŁY I METODY

Charakterystyka zlewni badawczej

Zlewnia rzeki Zagożdżonki jest zlewnią nizinną, położoną na skraju Puszczy Kozienickiej, na Nizinie Południowo-Mazowieckiej, w pobliżu Radomia. Rzeka Zagożdżonka jest lewym dopływem Wisły uchodzącym do niej koło Kozienic. Lokalizację badanej zlewni przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Lokalizacja zlewni rzeki Zagożdżonki

Fig. 1. Zagożdżonka watershed location

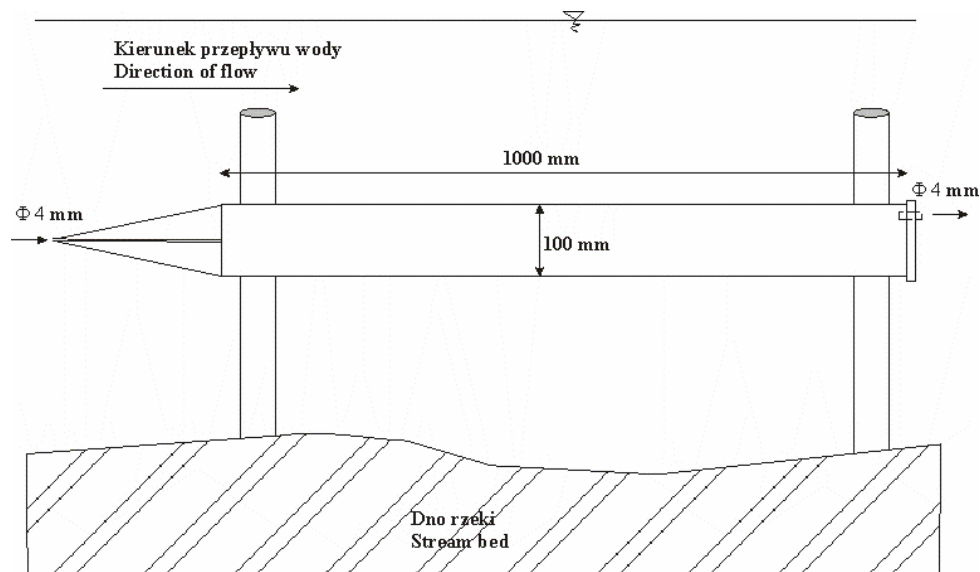
Deniwelacja terenu źródłowej części zlewni do profilu Płachty Stare wynosi 37 m (maksymalne i minimalne wzniesienie odpowiednio 185 i 148 m n.p.m.) i 26,5 m do profilu Czarna. Średnie spadki głównych cieków wynoszą od 2,5 do 3,5‰. Występujące na terenie zlewni doliny są wąskie i płytkie.

Na obszarze źródłowej zlewni przeważają gleby bielicoziemne utworzone z piasków słaboglinastych i pyłowe utworzone z piasków gliniastych. Niewielką część (ok. 10%) zajmują gleby organiczne. Zlewnia jest użytkowana rolniczo (50-70% powierzchni). W dolinach cieków występują użytki zielone. Grunty orne należą do IV-VI klasy bonitacyjnej. Głównymi uprawami są zboża (żyto, pszenżyto i owies), ziemniaki oraz rośliny motylkowe. Lasy stanowią około 20% powierzchni zlewni do profilu Czarna i ok. 40% do profilu Płachty Stare [1,2].

Profil Płachty Stare zamyka zlewnię o powierzchni 82,4 km², a średni przepływ z wielolecia 1963-2003, wynosił 0,290 m³·s⁻¹. Profil Czarna zamyka zlewnię o powierzchni 23,4 km², a średni przepływ z wielolecia wynosi 0,070 m³·s⁻¹. Średnia koncentracja rumowiska dla profilu Czarna wynosi ok. 15 mg·dm⁻³, zaś maksymalna zaobserwowana koncentracja wyniosła 219 mg·dm⁻³.

Batometr samoczynny BS-2

Batometr ten, zamontowany na stałe w rzece, składa się z przezroczystej, wykonanej z PCV, rury o długości 1 m i średnicy 100 mm. Rura zakończona jest szczelnie przylegającym denkiem, w którym znajduje się otwór o średnicy 4 mm, natomiast od strony czołowej rura ma zamknięcie lejkowate z otworem, o średnicy także 4 mm, zwróconym w kierunku napływającej wody (rys. 2 i fot. 1).



Rys. 2. Schemat batometru BS-2, do poboru rumowiska unoszonego dla określenia jego charakterystyki uśrednionej w czasie

Fig. 2. Time integrated sediment sampler schematic (BS-2)



Fot. 1. Zdjęcie batometru BS-2 na rzece Zagożdżonka w profilu Czarna (widoczny pojemnik przechwytyje rumowisko jedynie w okresach wezbraniowych, pod nim zanurzony w wodzie pojemnik przechwytyje rumowisko także w okresach niżówek)

Photo. 1. The BS-2 sediment sampler on Zagożdżonka river at Czarna gauge (the visible device collect samples of suspended sediment during flood period; the other device, submerged and invisible in the picture, collects samples also during low water flow)

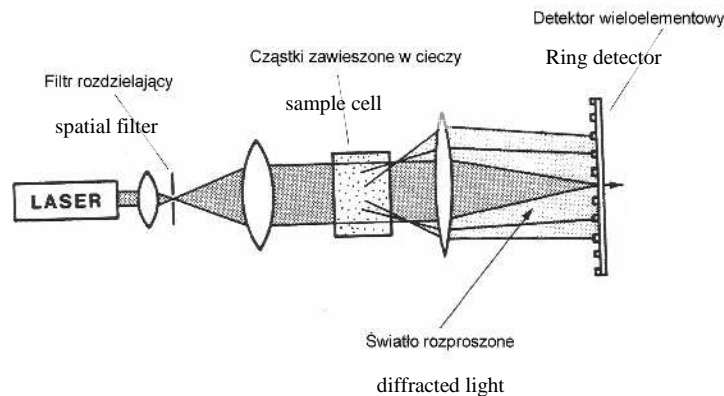
Duża różnica w prędkości (ponad 600 razy) wpływającej wody z rumowiskiem i przepływu przez batometr powoduje, że jedynie znikoma ilość najdrobniejszych ziaren może wydostać się z przyrządu.

Batometr BS-2, umiejscowiony na niższym poziomie (zanurzony także w okresie niżówek), zainstalowano w Czarnej w listopadzie 2002 roku, natomiast w taki sam sposób umiejscowiony batometr w Płachtach Starych, oraz drugi wyżej umiejscowiony batometr w Czarnej zainstalowano w czerwcu 2003 roku.

Metodyka pomiarów granulometrycznych

Do pomiaru rozkładu granulometrycznego zastosowano urządzenie działające na zasadzie metody dyfrakcji laserowej. Metoda ta nazywana także metoda małokątowego rozpraszania światła laserowego (ang. LALLS: Low Angle Laser Light Scattering) [8] bazuje na zjawisku rozpraszania światła. Cząstki o określo-

nej wielkości oświetlone światłem laserowym powodują jego rozproszenie przy czym odchylenie (kąąt załamania ang. scattering angle) światła jest odwrotnie proporcjonalny do wielkości cząstek. Wiązka monochromatycznego i równoległego światła jest przepuszczana przez zawieszinę w której znajdują się cząstki, a rozproszone światło kierowane jest na wieloelementowy detektor o kolistym kształcie. Detektor ten ma za zadanie pomiar natężenia rozszczepionego światła w zależności od kąta rozczepienia. Soczewki umieszczone za oświetlaną próbką skupiają niezłamane światło w centralnym punkcie detektora co powoduje pozostawienie jedynie rozszczepionego widma, które nie zależy od ruchów cząstek. Schemat ideowy przedstawiający działanie analizatora podano na rysunku 3.



Rys 3. Schemat obrazujący działanie laserowego analizatora cząstek (na podstawie [9])

Fig. 3. LALLS operation schematic (based on [9])

Załamanie światła przez cząstki o sferycznym kształcie i przy małych kątach załamania jest prawie jednoznaczne z dyfrakcją przez szczelinę o tej samej średnicy. Zakładając to przybliżenie, natężenie rozszczepionego światła spowodowane przez cząstkę o średnicy r (a przy nieregularnych kształtach cząstek o średnicy równoważnej średnicy r) w zależności od kąta załamania θ wyznaczone jest z zależności [9]:

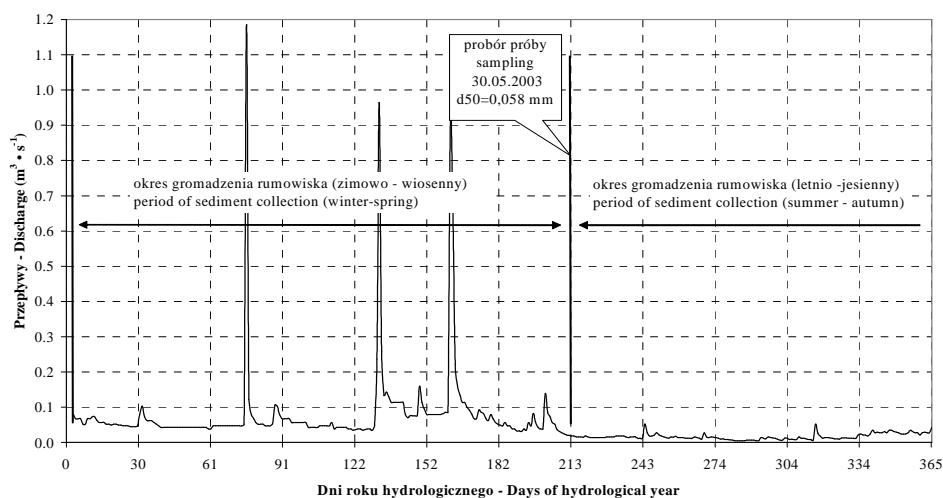
$$I(\theta) = \frac{1}{\theta} \int_0^{\infty} r^2 n(r) J_1^2(kr\theta) dr \quad (1)$$

gdzie: θ – kąt załamania się światła na cząstkach, r – średnica cząstki, $n(r)$ – funkcja rozkładu wielkości cząstek, $k = 2\pi / \lambda$, λ – długość fali światła, J_1 – funkcja Bessela pierwszego rodzaju. Po odpowiednim przekształceniu powyższego równania uzyskuje się rozkład cząstek ($n(r)$).

W badaniach zastosowano analizator Mastersizer Microplus firmy Malvern Instruments działający według opisanej metody, umożliwiający pomiary cząstek o wielkościach z zakresu od 0,05 do 550 μm . Aby uzyskać rozkłady jak najbardziej zbliżone do warunków rzeczywistych, analizowane próbki rumowiska nie były w żaden sposób modyfikowane.

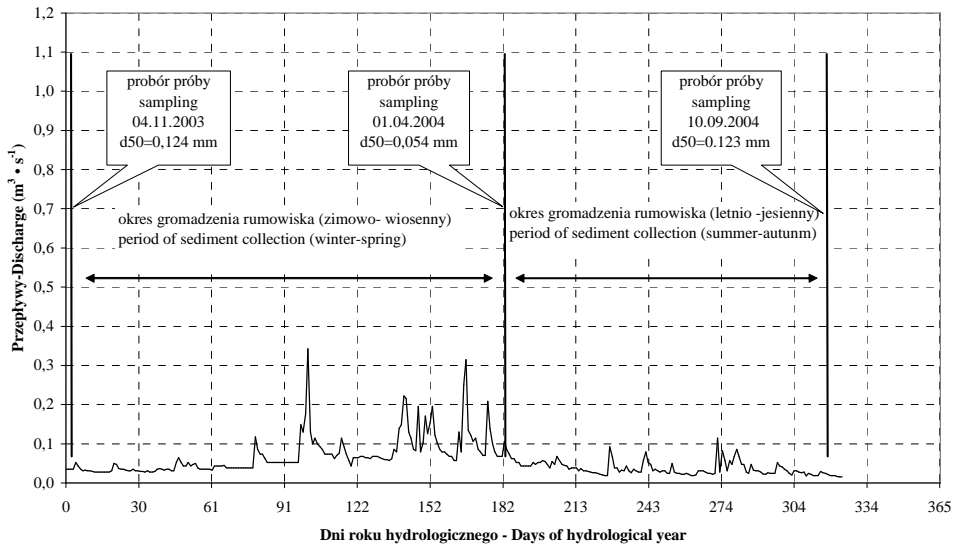
WYNIKI I DYSKUSJA

W latach 2003-2004 pobrano cztery próbki z profilu Czarna (w dniach: 30.05.2003, 4.11.2003, 1.04.2004, 10.09.2004) oraz trzy próby z batometru uśredniającego z profilu Płachty Stare (w dniach: 4.11.2003, 1.04.2004, 10.09.2004). Terminy poborów próbek rumowiska wybierano tak aby w batometrach znajdowało się wystarczająco dużo materiału do przeprowadzenia analizy granulometrycznej oraz aby uwzględnić okresy o różnej zasobności w wodę (rys. 4 i 5). Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono krzywe uziarnienia oraz zestawiono średnice charakterystyczne ww. siedmiu próbek. Średnice charakterystyczne d_{50} zawierały się w granicach od 54 μm do 124 μm , natomiast średnice miarodajne d_m w granicach od 79 μm do 159 μm . Te ostatnie były w każdej z siedmiu próbek nie mniejsze niż średnice charakterystyczne d_{60} .



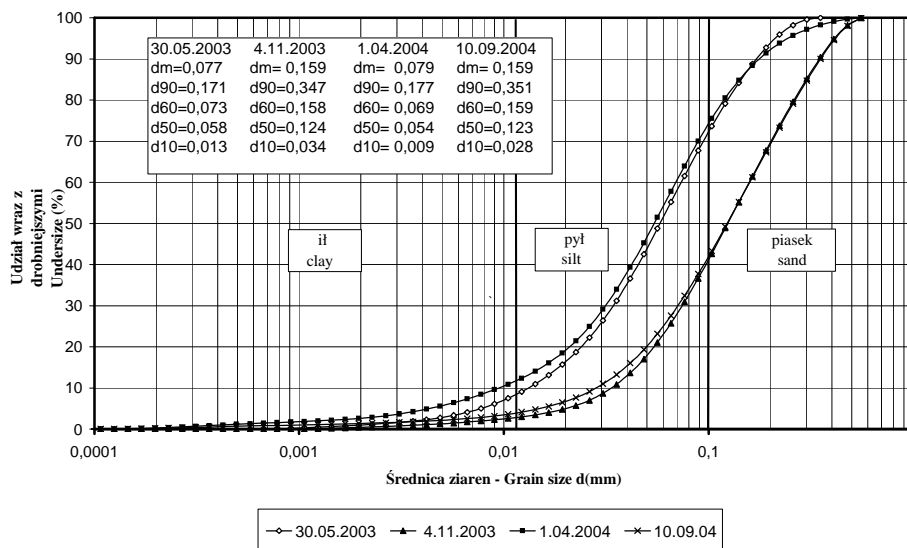
Rys. 4. Hydrogram przepływów dla posterunku Czarna (rok hydrologiczny 2003)

Fig. 4. Hydrograph of the discharges at Czarna gauge (hydrological year 2003)



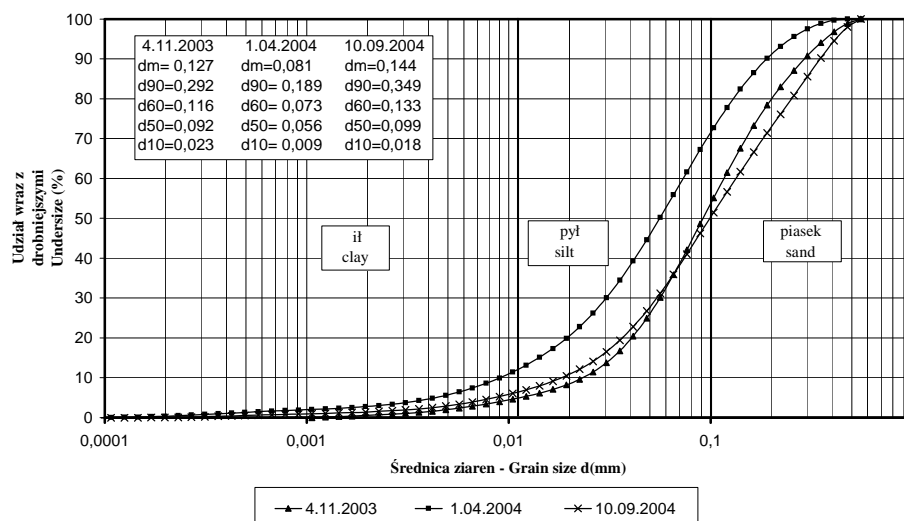
Rys. 5. Hydrogram przepływów dla posterunku Czarna (rok hydrologiczny 2004)

Fig. 5. Hydrograph of the discharges at Czarna gauge (hydrological year 2004)



Rys. 6. Wyniki analiz granulometrycznych w zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Czarna

Fig. 6. Sediment grain size distribution on Zagożdżonka river at Czarna gauge



Rys. 7. Wyniki analiz granulometrycznych w zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare
Fig. 7. Sediment grain size distribution on Zagożdżonka river at Płachty Stare gauge

W okresach kiedy rumowisko gromadzone w batometrach pochodziło z okresów zimowo-wiosennych (próbki pobrane 30.05.2003 i 1.04.2004) wartości średnic charakterystycznych były mniejsze niż w okresach kiedy gromadzone rumowisko pochodziło z okresów letnio-jesiennych (próbki pobrane 4.11.2003 i 10.09.2004).

Rozdzielając pobrane próbki na dwie grupy można stwierdzić, że średnice d_{50} dla okresów zimowo-wiosennych zawierały się w granicach od 54 μm do 58 μm (trzy próbki), natomiast średnice d_{50} dla okresów letnio-jesiennych zawierały się w granicach od 92 μm do 124 μm (cztery próbki). Możliwym wyjaśnieniem tych różnic jest wpływ sezonowości formowania się odpływu. W okresie zimowo-wiosennym, bardziej zasobnym w wodę częściej występujące zmywy powierzchniowe skutkowały większą ilością materiału ilastego w rzece, co wpłynęło na obniżenie wartości d_{50} . Podobne zależności pomiędzy średnicami charakterystycznymi rumowiska unoszonego i przepływem podawane są w literaturze, m.in. dla rzek w USA i Wielkiej Brytanii [10]. Porównując ze sobą próbki pobrane w Czarnej i Płachtach Starych (tj. trzy pary próbek), zauważyć można, iż w dwóch terminach 4.11.2003 i 10.09.2004 (po okresie letnio-jesiennym) unosiny w Płachtach Starych były wyraźnie drobniejsze: średnica d_{50} wynosiła 92 i 99 μm przy 124 i 123 μm w tych samych terminach w Czarnej. Różnice d_{50} trzeciej pary były nieznaczne. Mniejsze średnice rumowiska unoszonego w niżej położonym przekroju rzeczonym są wynikiem zmniejszenia się prędkości wody, a co za tym

idzie mniejszej turbulencji i w efekcie opadania grubszych ziaren. Jest to wyraźne w okresach niższych przepływów (letnio-jesiennych), kiedy rumowisko unoszone (z uwagi na brak zmywów) pochodzi z erozji dna i charakteryzuje się większymi średnicami niż w okresach o wyższych przepływach (zimowo-wiosennych). Małe zróżnicowanie średnic charakterystycznych w obydwu przekrojach w okresie zimowo-wiosennym (większe przepływy i częste zmywy) tłumaczyć można znacznie mniejszym wpływem turbulencji strumienia (prędkości wody) na drobniejsze ziarna dominujące w mieszaniu materiału unoszonego w tym okresie.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwalają na wstępne oszacowanie granulometrii rumowiska unoszonego w korycie rzeki Zagożdżonki, oraz w przypadku konieczności – przyjęcie dla innych małych rzek nizinnych o podobnych cechach fizjograficznych. Zmienność granulometrii w okresie roku hydrologicznego, jak również uzależnienie jej od przepływów wymaga szczegółowych badań. Trudnym problemem jest również porównywanie wyników analizy granulometrycznej przeprowadzonych za pomocą metody dyfrakcji laserowej a innymi metodami np. areometryczną. Z badań przeprowadzonych na glebach [4] wynika, że uzyskiwany skład granulometryczny z metody laserowej i areometrycznej jest różny. Niektórzy autorzy [3,5] wskazują konieczność poszukiwania związków korelacyjnych pomiędzy wynikami uzyskanymi z wyżej wymienionych metod dla każdej badanej próbki.

PIŚMIENNICTWO

1. **Banasik K.:** Rozmieszczenie użytków w zlewni jako czynnik minimalizujący natężenie transportu rumowiska w korycie rzeczonym, Rozprawa doktorska, Maszynopis – Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Warszawa, 1983.
2. **Banasik K.:** Model sedimentogramu wezbrania opadowego w małej zlewni rolniczej, Wyd. SGGW, Warszawa, 1994.
3. **Beuselinck L., Govers G., Poesen J., Degraer G., Froyen L.:** Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena* 32, 193-208, 1998.
4. **Dębicki R., Klimowicz Z., Zgłobicki W.:** Porównanie rozkładu granulometrycznego oznaczonego metodą areometryczną i laserową na przykładzie gleb lessowych. *Acta Agrophysica*, 56, 95-104, 2002.
5. **Frankowski Z., Smagała S.:** Przydatność metody laserowej w badaniach uziarnienia gruntów spoistych. XII krajowa konf. mechaniki gruntów i fundamntowania "Problemy geotechniczne obszarów przyziemnych", mat. konf. 163-171, 2000
6. **Russell A.A., Walling D.E., Hodgkings R.A.:** Appraisal of a simple sampling device for collecting time-integrated fluvial suspended sediment samples. *IAHS Publ.* 263, "The Role of Erosion and Sediment Transport in Nutrient and Contaminant Transfer" (red. M. Stone), 119-127, IAHS Press, Walingford, Wielka Brytania, 2000.

7. **Hejduk L., Banasik K.:** Badania zmienności uziarnienia rumowiska unoszonego w małej zlewni rolniczej. *Przeł.Nauk., Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 2(25), SGGW, Warszawa, 2002.
8. **Rawle A.:** The basic principles of particle size analysis. Materiały firmy Malvern Instruments Ltd., Malvern, Wielka Brytania, 1997.
9. **McCave I.N., Syvitski J.P.M.:** Principles and methods of geological particle size analysis w Principles, methods and application of particle size analysis red. J.P.M. Syvitski, Cambridge University Press: 3-22, Wielka Brytania, 1991.
10. **Walling D.E., Moorehead P.W.:** The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. *Hydrobiologia* 176/177, 125-149, 1989.

GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF SUSPENDED SEDIMENT IN SMALL LOWLAND RIVER

Kazimierz Banasik, Leszek Hejduk

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation
Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: banasik@alpha.sggw.waw.pl

Abstract. A time integrated sediment sampler has been developed and applied in the investigations. The sampler has been implemented in the lowland Zagożdżonka river near the town of Radom. During the investigation period (2003-2004), seven samples from two river gauges have been taken. The low angle laser light scattering method has been applied for suspended sediment size distribution determination. The d_{50} varied from 54 μm to 124 μm and the d_m from 79 μm to 159 μm . The investigations give an initial estimation of suspended sediment sizes in the Zagożdżonka river.

Key words: time integrated sediment sampler, suspended sediment, grain size distribution