

Aneta Afelt

## TRANSPORT RUMOWISKA WLECZONEGO ZE ZLEWNI ŹRÓDLISKOWEJ (PRZYKŁAD ŹRÓDLISK ŁYNY)

**Streszczenie.** Wstępne wyniki badań źródła Łyny wskazują na proces intensywnego odprowadzania substancji mineralnej w postaci stałej – jako składowej erozji wodnej zachodzącej w krajobrazie młodoglacjalnym na styku wód podziemnych i powierzchniowych. Pomiary polowe eksportu substancji mineralnej w formie rumowiska wleczonego wykazały, iż sumarycznie w roku erozyjnie ze zlewni odprowadzane jest w przybliżeniu 840 kg materiału (okres badań lata 2008-2009). Oznacza to średnio ubytek masy rzędu 580 kg z 1 km<sup>2</sup> powierzchni jednostkowej zlewni rocznie. Woda źródłana pełni bardzo ważną rolę w odprowadzaniu substancji nierozpuszczonej ze zlewni topograficznej. Erozja wodna – sterując intensywnością transportu rumowiska, stymuluje w źródle Łyny proces odgrzebywania lokalnej rynny polodowcowej.

**Słowa kluczowe:** Łyna, źródło, rumowisko wleczone, erozja wodna.

### WSTĘP

Źródła są bezpośrednim inicjatorem rozwoju sieci rzecznej – ogniwem łączącym podziemną i powierzchniową fazę obiegu wody. Odcinki źródłiskowe rzek pozostają przeważająco w roku w reżimie bezpośredniego zasilania podziemnego; zatem rezerwar ten jest głównym nośnikiem energii niezbędnej w przebiegu wielu procesów towarzyszących funkcjonowaniu źródeł.

W obrębie formowania inicjalnych odcinków sieci rzecznej zachodzi szereg procesów o charakterze morfotwórczym – jednym z nich jest odpływ substancji mineralnej. Morfologiczną manifestacją tego procesu jest formowanie niszy źródłiskowej, powstającej na skutek odprowadzania erodowanego materiału ze strefy wypływu wody podziemnej. Jako podatne na przekształcenia filtracyjne w tych warunkach należy wskazać luźne skały osadowe, szczególnie te zróżnicowane litologiczne i strukturalne. Zróżnicowanie cech fizycznych i chemicznych wód źródłanych oraz ich zasobów podziemnych sprzyja różnicowaniu natężenia erozji wodnej. W literaturze przedmiotowej zdecydowanie przeważającym nutem badawczym jest analiza cech hydrochemicznych wód źródłanych w kontekście intensywności odprowadzania substancji rozpuszczonej – jako składowej denudacji podziemnej. Transport rumowiska analizowany jest głównie dla niższych – nieinicjalnych odcinków rzek, w przewadze o charakterze górskim. Na obszarach nizinnych badania koncentrują się na składowej rumowiska unoszonego, a jedynie nieliczne prace dotyczą wleczyn. Składowa rumowiska wleczonego jest z reguły zaniedbywana, z uwagi na niską

intensywność procesu w relacji to unosin oraz roztworów, vide Smolska [1992, 1996], bądź analizowana dla okresów wezbraniowych – jako najbardziej efektywnych w transporcie wleczyn [Popek 2010].

Badanie intensywności transportu rumowiska wlezonego z obszaru inicjalnego sieci rzecznej napotyka wiele trudności metodycznych. Główne problemy to małe w stosunku do niższych odcinków rzeki przepływy, często słabe wykształcenie koryt odprowadzających wody źródlane, niewielka – zmienna w czasie warstwa wody w strumieniach, zakłócenia przepływu wywołane występowaniem przeszkód naturalnych (np. okresowo zalegające w korytach i niszach źródłiskowych kłody).

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań ilościowych eksportu substancji mineralnej w postaci rumowiska wlezonego w strefie inicjowania odpływu powierzchniowego na obszarze pojeziernym. Badania zostały zlokalizowane w obrębie zlewni źródłowej Łyny (profil Orłowo, rys. 1). Jest to jeden z największych systemów źródłiskowych w pasie pojezierzy polskich, systematycznie położony w umiarkowanej strefie morfoklimatycznej, reprezentującej geosystem krajobrazu młodoglacjalnego obszaru nizinnego kraju. Hydrograficznie, źródła znajdują się w strefie wododziałowej Wisły i Pregoty, natomiast pod względem fizycznogeograficznym – w południowo-zachodniej części Pojezierza Mazurskiego (makroregion), na południu mezoregionu Pojezierze Olsztyńskie, niewielkim fragmentem wkraczając do podprovincji pojezierzy południowoBałtyckich (mezoregion Garb Lubawski) [Kondracki 2001].

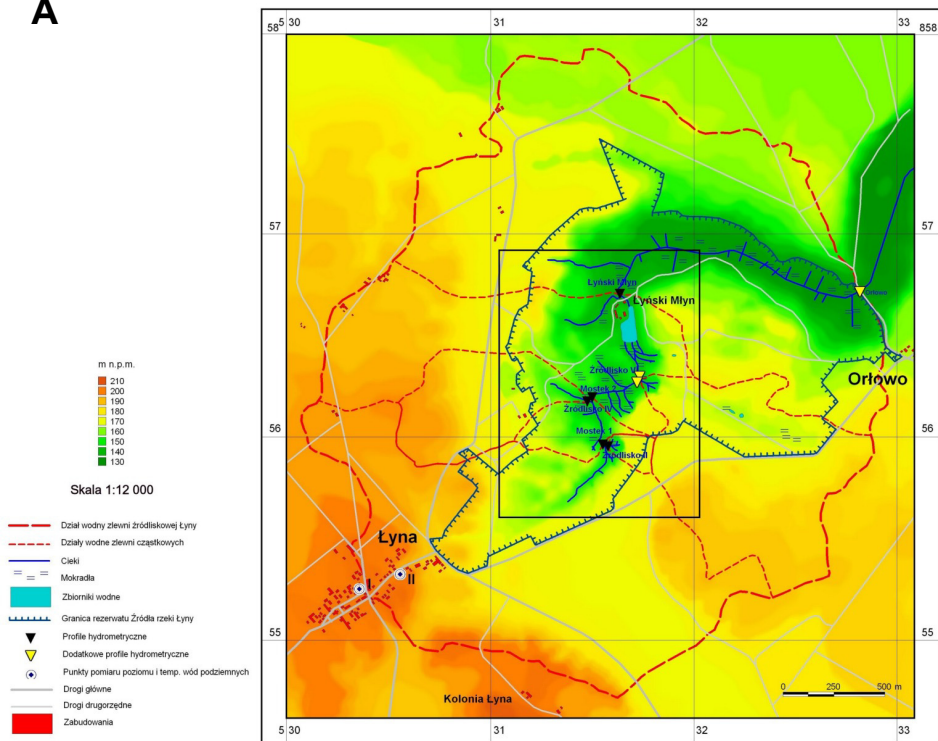
Badania prowadzono na stacji badawczej w Kamieńcu Wrocławskim, przylegającej bezpośrednio do wschodniej granicy Wrocławia. We Wrocławiu przeważa wiatr o kierunkach z sektorów zachodniego i południowego. Wiatr z kierunków od NW do S wieje przez około 60% dni w roku, ze średnią prędkością  $v = 2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Miejsce pomiarów ilości opadów i poboru prób do badań przedstawione jest na rys. 1. Wiatry z kierunków zachodnich, przemieszczają masy powietrza głównie z obszaru miasta. W odległości kilkudziesięciu metrów od tego miejsca, od strony północnej i zachodniej, przebiegają drogi o dużym nasileniu

## **MATERIAŁ I METODY**

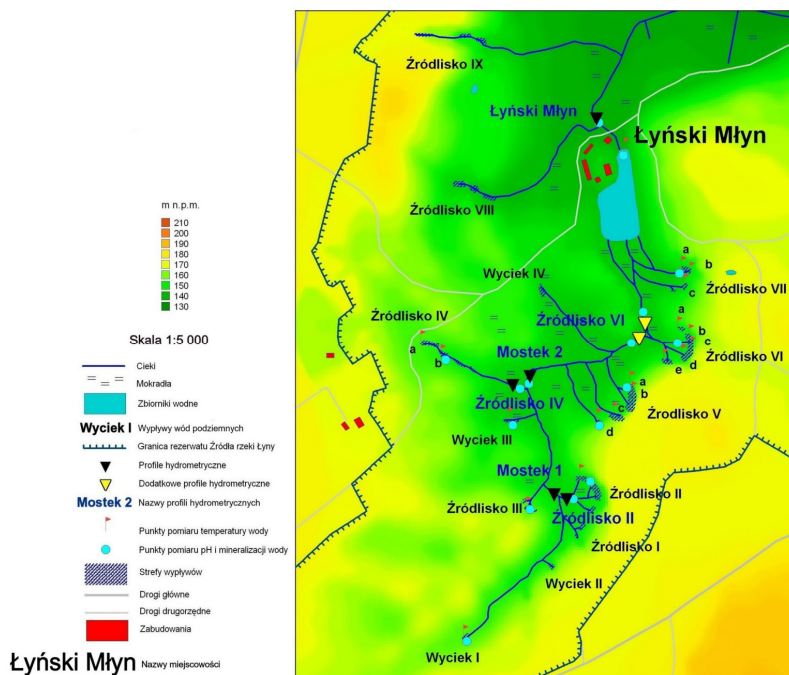
### **Warunki występowania i wydajność źródeł**

Rejon występowania źródeł jest dobrze udokumentowany pod względem budowy geologicznej. Prace dokumentacyjno-badawcze, w tym badania elektrooporowe płytkich struktur, prowadzone przez Morawskiego (2004a,b; 2001a,b) dają bardzo dobry obraz stopnia skomplikowania warunków strukturalno-litologicznych. Woda ze źródeł wypływa w obrębie partii stokowych czołowego odcinka rynnny polodowcowej datowanej na fazy poznańską oraz leszczyńską ostatniego zlodowacenia (rys. 2). Lokalne, wielokrotne nasunięcia czołowej partii jezora lodowcowego oraz jego statyczne oddziaływanie na podłoże ma dwie zasadnicze konsekwencje: głębokie do ponad 100 m rozcięcie starszych struktur plejstoceniowych oraz silne odkształcenie występujących w podłożu iłów plioceńskich – wyciśniętych ku powierzchni terenu w formacji diapiru [Morawski 2004a,b] (rys. 2).

**A**

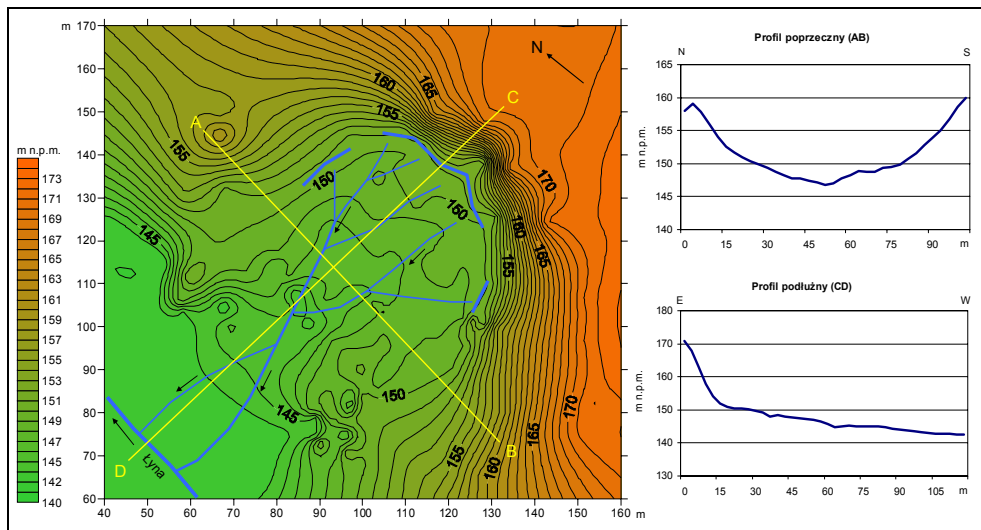


**B**

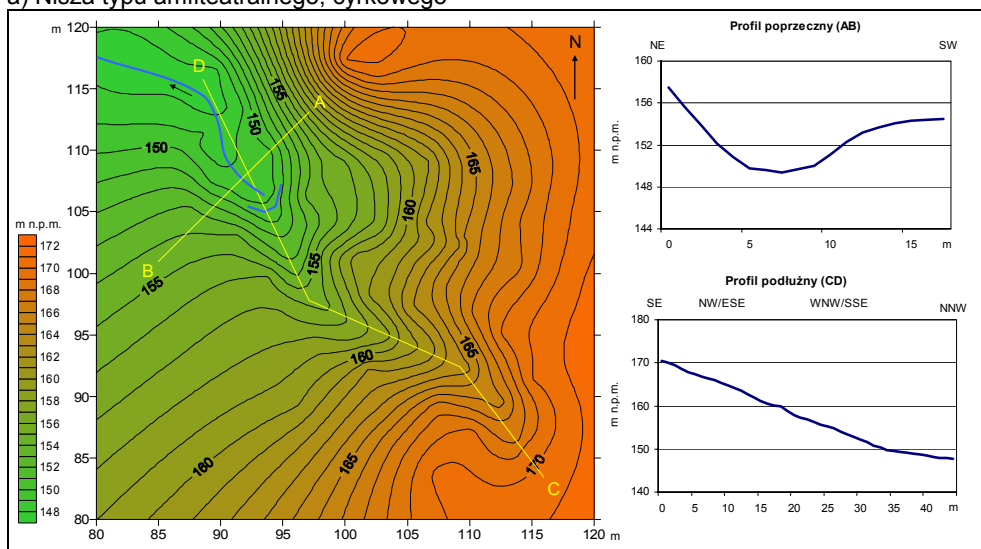


**Rys. 1.** Zlewnia źródeł Lyny: a) mapa hipsometryczna, profil Orłowo, b) punkty pomiarowe (Afelt, Samulski 2008)

**Fig. 1.** Lyna catchment: a) hypsometry, b) measuring points (Afelt, Samulski 2008)



a) Nisza typu amfiteatralnego, cyrkowego



b) Nisza typu dolinnego

**Rys. 2.** Typy nisz źródłkowych: a) amfiteatralna, b) dolinna (pomiar tachymetryczne)  
**Fig. 2.** The types of springs niche: a) amphitheatrically, b) valley

W wyniku rozcięcia struktur osadów starszych faz zlodowaceń, nastąpiło lokalne erozyjne otworzenie śródglinowych horyzontów wodonośnych. W konsekwencji – rynna, po zasypaniu w trakcie procesu deglacjacji osadami fluwioglacjalnymi (VI kolejnych cykli sypania sandrów), może stanowić odrębny zbiornik wód podziemnych. Maskujące strukturę geologiczną pokrywy piaszczyste są silnie zróżnicowane granulometryczne; bardzo dobrze przewodzą i kolekcjonują wodę podziemną, ale również są podatne na przekształcania filtracyjne – sufozję (selektywne odprowadzanie cząstek spławianych ze strumieniem filtracji, Morawski 2004a).

Współczesna rzeźba charakteryzuje się lokalnie bardzo wyraźnym obniżeniem strefy wypływu źródeł względem otoczenia: od 20 do 70 m wysokości względnej (rys. 1). W obrębie czoła obniżenia intensywnie rozwija się sieć suchych dolinek nawiązujących do osi formy wklęsłej, stoki wyróżniają się dużym nachyleniem (do 70%), zaś dno doliny jest płaskodenne, o małym spadku. Źródła usytuowane są w obrębie bocznych partii doliny (9 nisz źródłiskowych), położone są na wysokości od 144 do 156 m n.p.m., zaś wycieki (4 obiekty) zajmują dolne partie suchych dolin. Źródła zasadniczo mają charakter descensyjny, większość z nich wypływa z podcięć na zboczach rynny Łyny, odpływ zaś ma charakter rozlewny.

Morfologicznie, strefy wypływu wód podziemnych ograniczone są rozległymi niszami erozyjnymi, rozwiniętymi w 2 formach przestrzennych (rys. 2): (1) podcięcia stoku o kształcie amfiteatralnym/cyrkowym (rys. 2a), gdzie typowe są duże wysokości względne oraz silnie nachylone, słabo urzeźbione stoki oraz (2) wypływ wody następuje z podcięć podstokowych, ale stoki powyżej rozcięte są suchymi dolinami o charakterze zbliżonym do wąwozów, krętymi w planie (rys. 2b). Nisze typu amfiteatralnego przeważają na południowej ścianie stoków rynny (w odsłonięciach ujawnia się glina pylasta przykryta osadem piaszczysto-żwirowym), zaś wąwozy typowe są dla północnej i północno-zachodniej partii obniżenia źródłiskowego, gdzie na powierzchni przeważają miększe pokrywy piaszczyste (piaski grube, średnie, ujawniające się również w licznych odsłonięciach). Wspólną cechą wszystkich nisz źródeł w obrębie rynny są intensywnie zachodzące procesy stokowe. Intensywnemu odprowadzaniu rumowiska sprzyja znaczne wyniesienie źródeł względem osi doliny, wynoszące 3 do 8 m (rys. 1).

Zespół źródeł zamyka zlewnia topograficzna w profilu hydrologicznym Orłowo, zawierająca cały system wypływów podziemnych składających się na początek Łyny (rys. 1). Jest to zlewnia niekontrolowana, pomiary hydrometryczne prowadzone są w cyklu miesięcznym od 2004 r. Zasoby zlewni znacznie przekraczają wartości regionalne; średni odpływ jednostkowy wynosi  $5,6 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  [Stachy, Biernat, 1994], zaś w badanej zlewni  $38,8 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  [Jegier 2005, Wydrych 2009]. Cechą charakterystyczną struktury sieci odpływu powierzchniowego jest równoliczny rozkład dopływów prawych i lewych (po 6 obiektów); większy udział w odpływie mają wypływy prawobrzeżne – niemal  $70,0 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ . Wydajność największego źródłiska przekracza  $30 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , przeciętny odpływ ze źródeł zawiera się w przedziale  $8,5\text{--}14,5 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , przy odpływie średnim ze zlewni  $192 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Ze względu na specyfikę budowy geologicznej, niewielka zlewnia topograficzna źródłiskowa Łyny bardzo szybko reaguje na warunki zasilania atmosferycznego. Z badań Jegiera (2005) oraz własnych pomiarów wynika, że odpowiedź na opad wynosi od kilku godzin do maksymalnie 3 dni, w zależności od intensywności zasilania oraz stanu początkowego wilgotności zlewni. Dla przykładu, 16 lipca 2009 r. suma 60 mm opadu skoncentrowanego w czasie 2 godzin (dane IMGW, stacja Olsztyn) w profilu hydrologicznym Mostek 2 skutkowało lokalnie przyrostem 15 cm stanu wody w korycie (wznios lustra wody o 90%).

### **Sieć pomiarowa**

W celu pomiaru masy ładunku odprowadzanego z wodą ze źródeł od lipca 2008 do czerwca 2009 przeprowadzono jednoczesne pomiary: natężenia przepływu

(młynek hydrometryczny HE-GA) oraz transportu rumowiska (łapaczka osadu wg konstrukcji Bunte 2007, Wydrych 2009). Z uwagi na obecność zbiornika wodnego w strukturze sieci odpływu powierzchniowego, do realizacji celu badań ograniczono pomiary do zlewni cząstkowej, zamkniętej w profilu Mostek 2 – powyżej cofki zbiornika (rys. 1). Pomiary przeprowadzono w 4 przekrojach hydrologicznych, w kroku miesięcznym (ogółem 15 serii pomiarowych), wyniki zestawiono w tabeli 1. Zbiór danych hydrometrycznych uzupełniono ponadto o: pomiar spadku podłużnego koryta na odcinkach 25-40 m powyżej przekroi pomiarowych, uziarnienie (miarodajna średnica ziaren  $d_{50}$ ) oraz geometrię koryta.

Metodycznie, pomiar rumowiska przeprowadzony został przy użyciu łapaczek osadu zbudowanych przez Wydrycha [2009] wg instrukcji Bunte i in. [2007]. Zazwyczaj urządzenie jest stosowane w pomiarach górskich potoków, ale po wprowadzeniu modyfikacji gęstości siatki rękawa łapaczki (zastosowano podwójną warstwę siatki poliestrowej o średnicy oczek poniżej 0,1 mm) zdecydowano o jego wykorzystaniu w ciekach o mniejszym spadku. Zespół przenośnych łapaczek był instalowany w przekroju hydrometrycznym koryta z czasem ekspozycji 2 godzin.

Zawartość substancji organicznej w pobranym rumowisku oznaczono metodą wyprężania (piec muflowy Czylok, model FCF55P). Próbkę umieszczoną w ceramicznych tyglach poddawane były temperaturze 550°C przez okres 1 godziny.

## WYNIKI

Nateżenie przepływu oraz odpływ jednostkowy Łyny w profilu Mostek 2 w analizowanym roku na tle własnych pomiarów z wielolecia 2004-2010 oscylował blisko wartości średnich. Suma opadów w tym okresie wyniosła 651 mm, kształtowała się powyżej średniej z wielolecia 1960-2009, tj. 617 mm (posterunek Frąknowo, dane IMGW). Odpływ podziemny ze zlewni jest wyrównany (tab. 1); w półroczu letnim jest niewiele większy (51,5 %) niż zimowym. W trakcie wykonywania pomiarów oraz do 5 dni poprzedzających termin ich wykonania w analizowanym roku opady nie wystąpiły, stwierdzono wyłącznie zasilanie podziemne zlewni. Prawidłowością jest przyrost przepływu z biegiem strumienia odwadniającego, dopływy boczne charakteryzują się zbliżonym wydatkiem w czasie oraz 2-krotnie wyższym odpływem jednostkowym. O stabilności zasobów wód podziemnych alimentujących źródła świadczy również przyrastający odpływ jednostkowy wraz z powierzchnią zlewni (tab. 1).

W obrębie nisz źródłiskowych i strefy formowania skoncentrowanego odpływu typowe jest intensywne odprowadzanie frakcji drobnoziarnistej. Na miejscu pozostaje jedynie materiał trudnosplawialny w postaci bruku, przeważnie żwirowego. Typowy jest również udział dobrze obrobionych okruchów skał o średnicach rzędu 5-30 cm, które tkwiły w lokalnych różnoziarnistych pokrywach osadów fluwiogłajalnych wcześniej redeponowanych w wyniku erozji wodnej (fot. 1A). Głównym obszarem pochodzenia materiału odprowadzanego z nisz źródłiskowych są stoki; intensywnie zachodzą tu procesy stokowe (osuwiska, spełzywanie, obrywanie) (fot. 1B). Materiał ten jest następnie sukcesywnie odprowadzany z nisy – najszybciej w strefach skoncentrowanego wypływu wód źródłanych (fot. 1C). Z kolei w strefie

formowania odpływu z nisz źródłiskowych typowe jest występowanie naturalnych pułapek odprowadzanego rumowiska poprzez licznie zalegające w korytach konary drzew i krzewów (fot. 1D).

**Tabela 1.** Odpływ ze zlewni źródłiskowej Łyny od lipca 2008 do czerwca 2009 r. (lokalizacja profili pomiarowych wg rys. 1b)

**Table 1.** The flow rate of Lyna catchment, July 2008-June 2009 (see fig. 1)

		Profil pomiarowy			
		źródłisko II	mostek 1	źródłisko IV	mostek 2
Przepływ ( $\text{dm}^3\text{s}^{-1}$ )	max	12,8	33,2	12,6	48,8
	min	6,0	13,2	3,3	25,8
	średni	8,3	25,0	9,2	34,8
Natężenie wleczenia ( $\text{g s}^{-1}$ )	max	0,018	0,042	0,079	0,041
	min	0,003	0,008	0,015	0,007
	średni	0,010	0,029	0,034	0,027
Zawartość części organicznych (%)		6,1-48,9	9,1-23,8	3,4-16,1	6,1-41,1
Odpływ jednostkowy ( $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ )		41,5	21,7	41,8	24,2
Średnie jednostkowe natężenie wleczenia ( $\text{g s}^{-1}\text{km}^{-2}$ )		0,51	0,02	0,17	0,02
Spadek podłużny koryta na odcinku profilu pomiarowego ( $^{\circ}$ )		2,89	1,06	1,14	0,58
Średnica miarodajna osadów korytowych $d_{50}$ (mm)		1,4	1,1	1,2	0,5
Geometria koryta	pole przekroju, $F$ ( $\text{m}^2$ )	0,02-0,03	0,06-0,17	0,03-0,07	0,1-0,21
	głębokość maksymalna, $h_{\text{max}}$ (m)	0,04-0,08	0,06-0,16	0,03-0,07	0,13-0,22
	głębokość średnia, $h_{\text{sr}}$ (m)	0,03-0,06	0,02-0,07	0,01-0,04	0,08-0,15
	współczynnik kształtu, $h_{\text{sr}}/h_{\text{max}}$	0,44-0,92	0,27-0,54	0,43-0,65	0,54-0,76

\* wg zlewni topograficznej

Przebieg transportu rumowiska w czasie i w zlewni nie jest jednorodny (tab. 1). Sezonowo zaznaczyła się niewielka przewaga transportu w porze chłodnej (wzrost lepkości wody wraz z obniżaniem się jej temperatury). Wyraźnie zaznacza się związek pomiędzy natężeniem przepływu a wleczeniem, stąd mniejsze ilości przemieszczanego materiału z dopływów bocznych. Czynnikiem modyfikującym powyższą zależność jest nachylenie koryta – większe spadki sprzyjają wzrostowi natężenia przepływu, co umożliwia oderwanie od dna i przemieszczenie cząstek o większej masie, a pośrednio – średnicy ziarna. Zależność ta jest bardzo dobrze zaznaczona pomiędzy poszczególnymi profilami pomiarowymi: średnica miarodajna uziarnienia materiału korytowego maleje wraz ze spadkiem, najmniejsza jest w profilu zamykającym (tab. 1).



**Fot. 1.** Materiał mineralny w niszach źródliskowych

**Photo 1.** Sediment in the spring niche

- A – okruchy skalne w niszach źródliskowych
- B – procesy osuwiskowe na stokach nisz źródliskowych
- C – centralnie strefa skoncentrowanego odpływu z niszy źródliskowej
- D – konary i gałęzie na wypływie wód z nisz źródliskowych: naturalne pałapki wleczyn

Zwoźński (1989) oraz Smolska (1992, 1996) zwracają uwagę na zmienność parametrów geometrycznych przekroju koryta w konsekwencji dostosowywania się do przebiegu odpływu w czasie. Spośród 4 przekroi hydrometrycznych, największą dynamikę zmian geometrii koryta stwierdzono w profilu Mostek 1 (tab. 1). Okresowo dochodzi tu do zawężenia strumienia wody do połowy szerokości koryta oraz jego znacznego wypłylenia, zaś sezonowo formowana jest również łacha śródkorytowa rozdzielająca nurt. Dynamikę zmian głębokości koryta bardzo dobrze oddaje współczynnik kształtu, będący relacją głębokości średniej do maksymalnej w przekroju porzecznym (tab. 1, Smolska, 1996). Największą stabilnością charakteryzują się koryta cieków o wielkości wskaźnika zbliżonej do 1; w przypadku źródlisk górne profile hydrometryczne wykazują najszerszy przedział zmienności parametru, co sugeruje zaangażowanie w tych odcinkach erozji wglębnej oraz nieustabilizowanie koryta. Brak stabilności głębokości koryt wynika przede wszystkim z przemieszczania dużej ilości rumowiska, wpływając na ich wypłylenie. W trakcie pomiarów inwentaryzowano formy łach śródkorytowych; stwierdzono obecność form o szerokości 30-70 cm i długości 50-300 cm, ripplemarki oraz wyraźne strefy wymycia materiału piaszczystego w strefie nurtu strumieni (obrukowanie koryta).



Duży udział wagowy w masie rumowiska ma substancja organiczna, nawet do 48% masy całkowitej próbki (tab. 1), o zaawansowanym stopniu rozkładu, bez możliwości rozpoznania pochodzenia. Substancja organiczna na tym stopniu rozkładu jest łatwo spławialna z uwagi na małą masę własną – podlega więc transportowi wodnemu w bardzo szerokim zakresie natężenia przepływu. Wzrost udziału procentowego jej zawartości w próbkach terenowych zauważalny jest w okresach niższych przepływów. Masy substancji organicznej nie uwzględniono w dalszej ocenie natężenia wleczenia z uwagi na charakter jej przemieszczania w postaci rumowiska unoszonego.

Przybliżona masa eksportowanego rumowiska wleczonego w profilu zamykającym zlewnię topograficzną (Mostek 2), uwzględniając średnie natężenie wleczenia w profilu (tab. 1), to około 2,3 kg substancji mineralnej stałej w ciągu doby, zaś w ciągu roku zlewnię opuszcza w przybliżeniu odpowiednio 840 kg materiału. Zatem średnie roczne wymycie jednostkowe z 1 km<sup>2</sup> wynosi 583 kg.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

W ostatnim 20-leciu powstały liczne opracowania wyników badań terenowych oraz modelowych z zakresu transportu materiału mineralnego, głównie rozpuszczonego w i ze zlewni młodoglacjalnej (m.in. Zwoliński 1989, Smolska 1996). Część prac polskich dotyczy bezpośrednio źródeł lub niewielkich powierzchniowo zlewni [Szpilkowska 2006, Mazurek 2007, 2008, 2010]. Zlewnia źródłkowa Łyny wyróżnia się na tle dotychczasowych opracowań bardzo wysoką zasobnością wód podziemnych (dla przykładu: 4-krotnie większy odpływ jednostkowy w stosunku do zlewni Kludy [Mazurek 2010]), wysokim wskaźnikiem krenologicznym oraz skoncentrowanym przestrzennie usytuowaniem wypływów.

Dane zawarte w cytowanych publikacjach wskazują na ważną cechę różnicującą relację ilościową transportu rozpuszczonego i stałego: w dużych zlewniach (dla przykładu Parsęta, Zwoliński 1989) wzrasta udział składowej materiału stałego, zaś w zlewniach niewielkich – ujmujących inicjalne odcinki sieci rzecznej, składowa ta ma znacząco mniejszy udział [Smolska 1996]. Dane z Szeszupy [Smolska 1996] wskazują, że transport rumowiska wleczonego sytuuje się w ekstremalnie najniższych przedziałach cytowanych badań. Nie oznacza to jednak, że należy zaniedbywać tą składową erozji wodnej. Wyniki badań Popka [2010] wskazują, że uruchomienie wleczenia rumowiska w korycie cieku nizinnego następuje w trakcie intensywnego przyrostu objętości przepływu wody (wezbrania opadowe i roztopowe). Jak wykazano na podstawie przeprowadzonych badań terenowych, odprowadzanie rumowiska w formie wleczyn zachodzi również przy jedynie podziemnej alimentacji ze źródeł, zasadniczo przeważającej w skali roku hydrologicznego.

Problem transportu w postaci stałej należy rozpatrywać z perspektywy obszarów pochodzenia substancji eksportowanej z odpływem cieku. W przypadku wleczenia rumowiska – obszarem pochodzenia jest dominująco bezpośrednia zlewnia topograficzna źródlisk. Zwoliński (2008) wskazuje ponadto na procesy eoliczne, powołując się na badania Smolskiej w zlewni górnej Szeszupy oraz koncentrację zanieczyszczeń pokrywy śnieżnej w zlewniach Pojezierza Drawskiego. Odrębnym, nie roz-

strzygnięciem ilościowo na tym etapie zagadnieniem jest dostarczanie do strefy wypływu wód podziemnych na powierzchnię materiału mineralnego pochodzącego z procesu sufozji mechanicznej [Afelt 2007].

Czynnikiem wpływającym na spowolnienie i różnicowanie przestrzennej dostawy materiału mineralnego ze strefy nisz źródłiskowych do inicjalnych odcinków struktury odpływu jest zmienna w czasie szorstkość podłoża. Nisze źródłiskowe są również sezonowo miejscem akumulacji obumarłych szczątków roślinnych (liście, drobne konary, kłody), które stanowią pułapki dla przemieszczanego rumowiska. Tworzą się wówczas typowe mikro-kieszenie akumulacyjne (fot. 1). Również w obrębie cieków zbiorczych obserwowane są naturalne zatory, powyżej których akumulowany jest osad. Zjawisko to dla cieków górskich charakteryzuje m.in. Michalec i in. (2011).

## WNIOSKI

Zlewnia powierzchniowa i podziemna źródeł Łyny podlega naturalnemu przekształcaniu erozyjnemu z udziałem odpływu powierzchniowego, sterowanego zasobnością drenowanych horyzontów wodonośnych. Anomalnie, w stosunku do regionu, wysokie wydatki poszczególnych źródeł oraz sumaryczny odpływ rzędu niemal  $200 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$  stwarzają dogodne warunki do intensywnego odprowadzania substancji mineralnej w postaci rozpuszczonej oraz stałej.

Zapleczem dla dostawy materiału nierozpuszczonego są głównie nisze źródłiskowe. W ich obrębie udokumentowane są dynamiczne procesy stokowe (obrywy, osuwiska, spełzywanie, wypłukiwanie drobnych cząstek z wodą bezpośrednio w strefie wylewu wód źródłanych), dostarczające materiał do stery odpływu, skąd jest sukcesywnie redeponowany z odpływem źródłiskowym i biegiem strumieni. Intensywność przestrzenna procesu w zlewni jest zróżnicowana, w zależności od parametrów geometrycznych koryt cieków odwadniających (tab.1). Stwierdzone szacunkowe natężenie erozji wodnej w odniesieniu do substancji mineralnej nierozpuszczonej wynosi  $0,027 \text{ g s}^{-1}$ , co odpowiada jednostkowej rocznej masie opuszczającej zlewnię z odpływem powierzchniowym rzędu  $580 \text{ kg km}^{-2}$ .

Analizując krytycznie wyniki oraz warunki pomiarowe, należy założyć, iż uzyskane dane mają z dużą pewnością charakter przybliżony, zaś rzeczywiste odprowadzanie substancji mineralnej w postaci wleczyn jest wyższe. Badano intensywność wleczenia jedynie w warunkach przeważającej alimentacji podziemnej struktury sieci odpływu, co prawda o relatywnie najmniejszej sile transportowej, ale przeważającej w roku hydrologicznym. Z danych pomiarowych przyrostu natężenia przepływu w trakcie trwania oraz bezpośrednio po opadzie deszczu w zlewni źródeł Łyny wynika, że warunki uruchomienia transportu rumowiska w okresie wezbrań są sprzyjające jedynie w krótkich odcinkach czasowych – 3 do 5-ciodniowych.

Na obecnym etapie rozpoznania nie jest możliwe rozdzielenie substancji mineralnej autochtonicznej od allochtonicznej (w tym pochodzącej z procesu sufozji mechanicznej). Można postawić tezę, iż ubytek ze zlewni topograficznej masy substancji stałej ma znamiona lokalne ze względu na obszar pochodzenia rumowiska wlezonego oraz występujące formy morfologiczne uformowane w strefach wypły-

wu wód podziemnych. Odprowadzanie osadów w postaci różnych form rumowiska prawdopodobnie doprowadzi w konsekwencji do sukcesywnego odgrzebywania rynny polodowcowej. Rozważając dystans dzielący źródła Łyny od działu wodnego Wisły i Pregoly, w przyszłości możliwe jest jego przesunięcie na korzyść odpływu powierzchniowego ku dorzeczu Pregoly.

## PIŚMIENNICTWO

- Afelt A. 2007. Sufozja: proces filtracyjnego przekształcania skały, *Prace i Studia WGSR*, 38: 157-172.
- Bunte K., Swingle K.W., Abt S.R. 2007. Guidelines for Using Bedload Traps In Coraz-Bedded Mountain Streams: Constriction, Installation, Operation and Sample Processing, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-191, Fprt Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Jegier A. 2005. Obieg wody w napiwodzkim węźle wodnym, maszynopis, archiwum Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW.
- Korelski K. 2008. Teoretyczne i praktyczne aspekty systemastyki procesów erozji wodnej gleb, *Przegląd Naukowy*, Warszawa, 40: 5-11.
- Mazurek M. 2006. Morphometric differences in channel heads in postglacial zone (Parseta catchment, West Pomerania), *Quaestiones Geographicae*, 25A: 39-47.
- Mazurek M. 2008. Obszary źródłiskowe ogniwem łączącym system stokowy z systemem korytowym, dorzecze Parsęty, *Landform Analysis*, 9: 63-67.
- Mazurek M. 2010. Hydrogeomorfologia obszarów źródłiskowych (dorzecze Parsęty, Polska NW), Wyd. Naukowe UAM, Poznań.
- Michalec B., Leksander B. 2011. Określenie bezwymiarowego współczynnika oporów i współczynnika szorstkości w przekroju zatoru z grubego rumoszu drzewnego, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 10/2011: 63-70.
- Morawski W. 2001a. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50000, arkusz Muszaki, Wyd. PIG, Warszawa.
- Morawski W. 2001b. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Nidzica, Wyd. PIG, Warszawa.
- Morawski W. 2004a. Stratygrafia i paleogeografia czwartorzędu południowej Warmii, [w:] *Zastosowanie metod geofizycznych do badań osadów kenozoicznych i zaburzeń glacictektonicznych na przykładzie południowej Warmii*, *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, CLXXXI: 81-108.
- Morawski W. 2004b. Struktury glacictektoniczne południowej Warmii, [w:] *Zastosowanie metod geofizycznych do badań osadów kenozoicznych i zaburzeń glacictektonicznych na przykładzie południowej Warmii*, *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, CLXXXI: 109-142.
- Popek Z. 2010. Variability of bedload transport rate during flood flows in the Zagożdżonka River, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 42 (1): 69-77.
- Smolska E. 1992. Współczesne procesy fluwialne Pojezierza Suwalskiego (na przykładzie Górnej Szeszupy) – wstępne wyniki badań, *Pr. Geogr. Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp. PAN*, 155: 85-102.
- Smolska E. 1996. Funkcjonowanie systemu korytowego w obszarze młodoglacjalnym na przykładzie górnej Szeszupy (Pojezierze Suwalskie), Wyd. WGSR UW, Warszawa, s. 123.

- Stachy J., Biernat B. 1994. Mapa średniego odpływu jednostkowego (1951-1970), [w:] Najgrakowski M. (red.), Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, PAN, Warszawa
- Szpikowska G. 2006. Odpływ materiału rozpuszczonego ze zlewni źródłiskowej w latach o zróżnicowanych warunkach opadowych (Chwalimski Potok, górna Parsęta), [w:] Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych 4. Procesy ekstremalne w środowisku geograficznym. Poznań – Storkowo, s.73-76.
- Wydrych M. 2009. Zmienność odpływu i rumowiska wleczonego w dorzeczu górnej Łyny, maszynopis, archiwum Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW.
- Zwoliński Z. 1989. Geomorfologiczne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznego, Dokumentacja Geograficzna IGPZ PAN, z. 3-4, Warszawa, s.144.
- Zwoliński Z. 2008. Wybrane zjawiska ekstremalne pojezierzy polskich, Landform Analysis, 8: 98-106.

## **INTENSITY OF WATER EROSION IN THE SPRING CATCHMENT OF THE ŁYNA RIVER**

**Abstract.** The spring area of the Łyna river is a geological reserve, where naturally occurring retrogressive erosion is protected. Intensity of removal of solid and dissolved mineral material from the spring area of the river is the study aim. The study area is exceptional for Polish lowlands due to its complexity, as it includes 9 spring niches and 4 effluents. Geological setting plays here a decisive role, because all springs are situated in a head of a deep, buried tunnel valley which is developed in older sediments. The tunnel valley is filled with sands and gravels deposited during the last phase of the Vistulian glaciation. Removal of solid and dissolved material by retrogressive erosion leads to enlargement of the spring area and to uncovering of the buried tunnel valley.

Intensive increase of the flow rate occurs downstream as tributary streams join the main river. Data from 3 gauge profiles covering 850 m downstream are as follows; 8,5; 22,8 and 48,8 dm<sup>3</sup>/s on average (based on a period 2004-2010). Intensity of the dragged material increases from 0,01 up to 0,08 g/s (measured in 2007-2008), 0,027 g/s on average. Mineralization of river water ranges between 150 and 234 mg/dm<sup>3</sup> (178 mg/dm<sup>3</sup> on average). It is assessed that the dissolved material removed from the area equals to 630 kg per day (230 tons per annum). On the other hand, the solid dragged material equals to 2,3 kg per day (0,84 tons per annum) for 34,8 dm<sup>3</sup>/s discharge measured at the lowermost gauge profile and for average mineralization of spring waters.

Springs of the Łyna river have a high and stabilized outflow leading to the dynamic removal of mineral material. Removal of the dissolved material by the spring waters represents denudational potential of the regional aquifers which feed the springs. On the other hand, removal of the dragged material represents only erosion occurring within the uppermost part of the topographic catchment adjacent to the spring area which supplies the river channel with the solid material.

**Keywords:** Łyna river, spring, river headchannel, bedload, water erosion.