

MAREK KOPACZ<sup>1</sup>, WOJCIECH DRZEWIECKI<sup>2</sup>, STANISŁAW TWARDY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach  
Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

<sup>2</sup>Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

## BADANIA NAD ZAWARTOŚCIĄ ZAWIESINY OGÓLNEJ W WODACH POWIERZCHNIOWYCH ZLEWNI RABY ZASILAJĄCYCH ZBIORNIK DOBCZYCKI

**Streszczenie.** Celem pracy było porównanie zmian ładunku zawiesiny za lata 1982-1984 i 2007-2008. Monitoring prowadzono w zlewni górnej Raby w sześciu punktach pomiarowych. Stwierdzono zróżnicowane ładunki zawiesiny – większe występowały w wodach Raby, mniejsze w jej dopływach. Zróżnicowane były też ładunki jednostkowe, czego przykładem są wody potoków Bysinka i Trzemeszianka. Miesięczne wielkości ładunków zawiesiny rozkładały się równomiernie, zasadniczo jednak nieco większe występowały w półroczach letnich. Znaczny ładunek zawiesiny odnotowano w 2008 roku w przekroju Stróża, co bezpośrednio należy wiązać z prowadzonymi wówczas pracami modernizacyjnymi „zakopianki”. Analizując podany okres, należy stwierdzić, że nastąpiło ograniczenie ładunku zawiesiny w zlewni górnej Raby w stosunku do stanu z lat 80. ubiegłego wieku.

**Słowa kluczowe:** zlewnia górnej Raby, zawiesina, zmianę w użytkowaniu ziemi

### Wstęp

Zlewnia Raby jest obszarem wodorodnym. Decyduje o tym zarówno jej położenie, w tym uwarunkowania orograficzne i hipsometryczne, jak i pozostałe czynniki przyrodnicze, zwłaszcza klimatyczne. Z racji górskiego charakteru zlewni zjawiska erozyjne są tu bardziej zauważalne. Deniwelacja terenu oraz intensywne opady atmosferyczne często niszczą i degradują powierzchnie terenu, w większym stopniu kultury uprawne niż okryte szatą roślinną. Erodowane części mineralne i organiczne przemieszczane są do cieków, nieraz w znacznych ilościach (KOWALCZYK i TWARDY 2007). Stąd też celem pracy było określenie poziomu zawartości zawiesiny ogólnej w zlewni górnej Raby w latach 2007-2008 na tle wyników pochodzących z lat 80. ubiegłego stulecia, zgroma-

dzonych w Małopolskim Ośrodku Badawczym IT-P w ciągu ostatnich trzydziestu lat. Zmiany w wielkości ładunku zawiesiny odniesiono także do ówczesnych przeobrażeń w użytkowaniu ziemi, Zmiany strukturalno-przestrzenne mają bowiem istotne znaczenie w kształtowaniu jakości wód (KOPACZ 2007) oraz w intensywności procesów erozyjnych, czego wynikiem jest m.in. obecność zawiesiny w wodach powierzchniowych.

## Material i metody

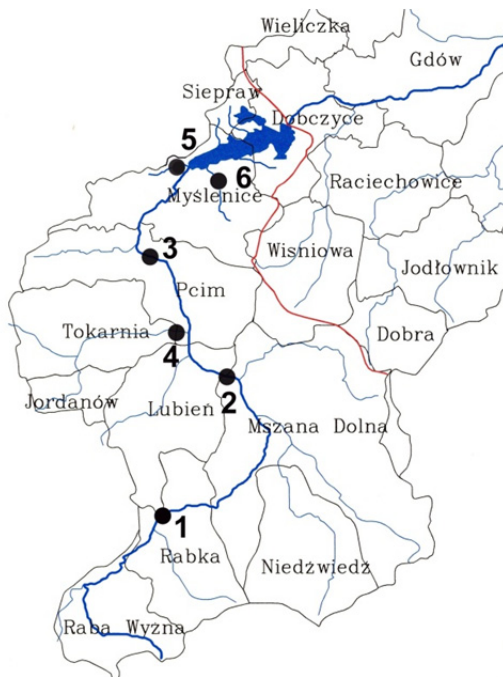
W ramach prac badawczych zestawiono dane historyczne z lat 1982-1984 oraz dane monitoringowe z lat 2007-2008. Analizowano dwa parametry: wartość całkowitą ładunku zawiesiny ogólnej (w kilogramach) oraz wielkości przepływu ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) w poszczególnych przekrojach pomiarowych w zlewni Raby. Przekroje pomiarowe przedstawiono w tabeli 1, a ich rozkład przestrzenny na rysunku 1. Trzy z nich znajdowały się bezpośrednio na Racie, dwa zlokalizowano w dopływach Raby powyżej Zbiornika Dobczyckiego (Krzczonówka, Bysinka) oraz jeden w bezpośrednim dopływie do zbiornika (Trzemeśnianka). Wartości obu wspomnianych parametrów zestawiono w układzie miesięcznym oraz rocznym, przeliczając stężenia oraz przepływy na wielkości ładunków (MROZEK 1992, PAWLIK-DOBROWOLSKI i IN. 1993).

Tabela 1. Przekroje badawczo-pomiarowe w zlewni górnej Raby  
Table 1. The sample points in the upper Raba basin

Nr przekroju	Rzeka	Miejsce posterunku	Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )
1	Raba	Rabka Zaryte	115,3
2	Raba	Kasinka Mała	353,0
3	Raba	Stróża	644,0
4	Krzczonówka	Krzczonów	87,9
5	Bysinka	Myślenice	14,9
6	Trzemeśnianka	Banowice	29,1

Przepływy wód w małych ciekach określano na zaporkach pomiarowych wyposażonych w przelewy Thomsona, rejestrując stany za pomocą limnigrafów, bądź też korelowano ze zlewniami kontrolowanymi za pomocą analogii hydrologicznej (BYCZKOWSKI i MENDES 1993) oraz w relacji opad – odpływ w obrębie powierzchni badanych zlewni (DRZEWIECKI i IN. 2008).

Wodę do analizy pobierano raz w miesiącu podczas występowania średnich przepływów do specjalnych kanistrów o pojemności 10-20 dm<sup>3</sup> i przesączano przez specjalną bibułę filtracyjną (MROZEK 1992, MROZEK i MACHNIK 1998). W latach 2007-2008 stosowano identyczne metody, jak w początku lat 80. Zestawiono też dane dotyczące użytkowania ziemi i użytków rolnych, pozyskując je z Bazy Danych Regionalnych GUS.



Rys. 1. Rozkład przekrojów pomiarowych w zlewni Raby

Fig. 1. The spatial distribution of sample points in the Raba basin

## Wyniki

Dane o ładunkach uzyskane na podstawie badań monitoringowych w zakresie pomiaru stężeń zawiesiny ogólnej prowadzonych w latach 1982-1984 przedstawiono w tabeli 2.

Wielkość ładunku zawiesiny ogólnej w latach 1982-1984 była zróżnicowana. Większe wartości ładunku całkowitego odnosiły się do Raby na różnych jej przekrojach (niższe rejestrowano w częściach źródłowych, a wyższe w niższych jej partiach). Inaczej było na dopływach – np. Krzczonówka charakteryzowała się wyraźnie, bo około 10-krotnie mniejszym ładunkiem, a bezpośrednio dopływy Zbiornika Dobczyckiego nawet kilkaset razy mniejszą wartością ładunku zawiesiny. Wyniki ładunku zawiesiny zestawione w układzie jednostkowym (w przeliczeniu na 1 km<sup>2</sup> zlewni) dały już inny obraz badanych zlewni. Niektóre ich fragmenty wykazały większy potencjał erozyjny, aniżeli wynikałoby to z wartości sumarycznej ładunku. Przykładem jest rzeka Bysinka w Myślenicach, której ładunek w stosunku do znacznie mniejszej powierzchni od pozostałych zlewni jest bardzo duży.

Tabela 2. Sumaryczne i jednostkowe ładunki roczne zawiesiny z lat 1982-1984 (na podstawie danych IMUZ)

Table 2. The total and unit of annual load of suspension from 1982 to 1984 (according to IMUZ)

Rzeka	Posterunek	1982	1983	1984	1982	1983	1984
		Mg			Mg·km <sup>-2</sup>		
Raba	Rabka Zaryte	957,7	1 337,1	721,9	8,31	11,60	6,26
Raba	Kasinka Mała	2 188,6	3 241,4	1 739,0	6,20	9,18	4,97
Raba	Stróža	5 749,8	9 644,0	5 987,0	8,93	14,98	9,30
Krzczonówka	Krzczonów	331,2	1 794,4	320,2	3,79	20,42	3,64
Bysinka	Myślenice	13,2	12,1	12,3	0,88	0,82	0,83
Trzemeśnianka	Banowice	18,5	16,1	15,2	0,64	0,55	0,52

W tabeli 3 zaprezentowano wyniki badań dotyczące zawiesiny prowadzone w latach 2007-2008. Zróznicowania ładunku oraz jego wzajemne proporcje, szczególnie wartości całkowitych, były podobne jak w latach 80. XX wieku. Wzdłuż biegu Raby następuje stopniowe zwiększenie ładunku zawiesiny, zarówno wartości całkowitych, jak też w przeliczeniu na jednostkę powierzchni zlewni. Wysokie wartości wynoszonego ładunku zawiesiny odnotowano dla potoków Krzczonówka i Bysinka.

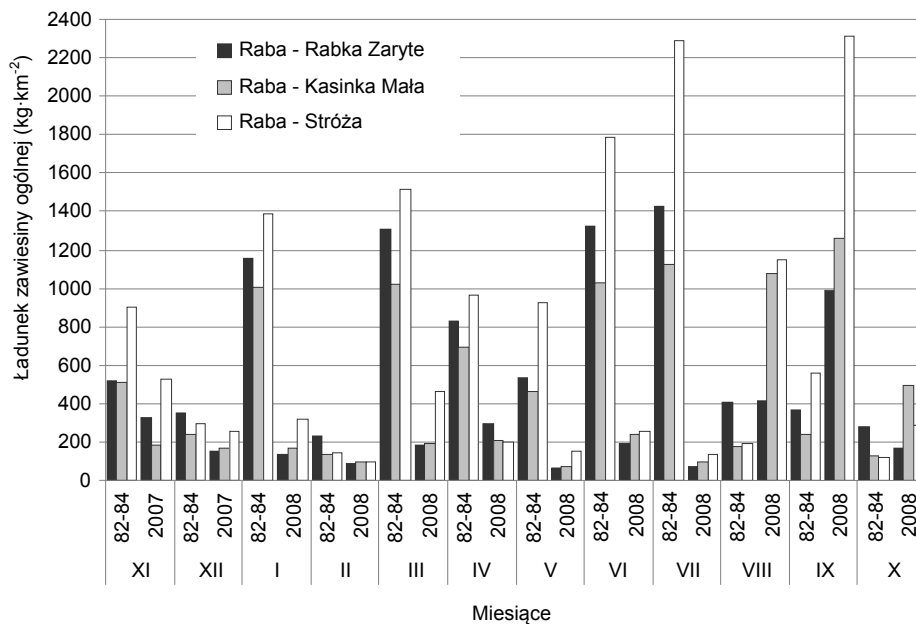
Tabela 3. Sumaryczne i jednostkowe ładunki roczne zawiesiny z lat 2007-2008

Table 3. The total and unit of annual load of suspension from 2007 to 2008

Rzeka	Posterunek	Ładunki zawiesiny: suma 2007-2008	
		Mg	Mg·km <sup>-2</sup>
Raba	Rabka Zaryte	331	2,87
Raba	Kasinka Mała	1 442	4,09
Raba	Stróža	3 723	5,78
Krzczonówka	Krzczonów	302	3,44
Bysinka	Myślenice	20,2	1,36
Trzemeśnianka	Banowice	33,7	1,16

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono rozkład miesięczny ładunków jednostkowych zawiesiny w obu okresach pomiarowych. Większe wartości ładunków notowano w miesiącach letnich. W przekrojach Raby prawie we wszystkich miesiącach ładunek sprzed 25 lat był znacznie większy niż obecnie. Jedynie w sierpniu i wrześniu większy ładunek stwierdzono w badaniach przeprowadzonych w 2008 roku. Najbardziej widoczna różnica odnosiła się do przekroju „Raba-Stróža”. W dopływach Raby rozkład ładunku jednostkowego był nieco inny. Zmienność sezonowa ładunku była tu nieregularna i nie wykazywała konkretnych zależności.

Kopacz M., Drzewiecki W., Twardy S., 2011. Badania nad zawartością zawiesiny ogólnej w wodach powierzchniowych zlewni Raby zasilających Zbiornik Dobczycki. Nauka Przyr. Technol. 5, 4, #36.



Rys. 2. Miesięczne ładunki jednostkowe w wodach Raby w latach 1982-1984 (na podstawie danych IMUZ) oraz 2007-2008

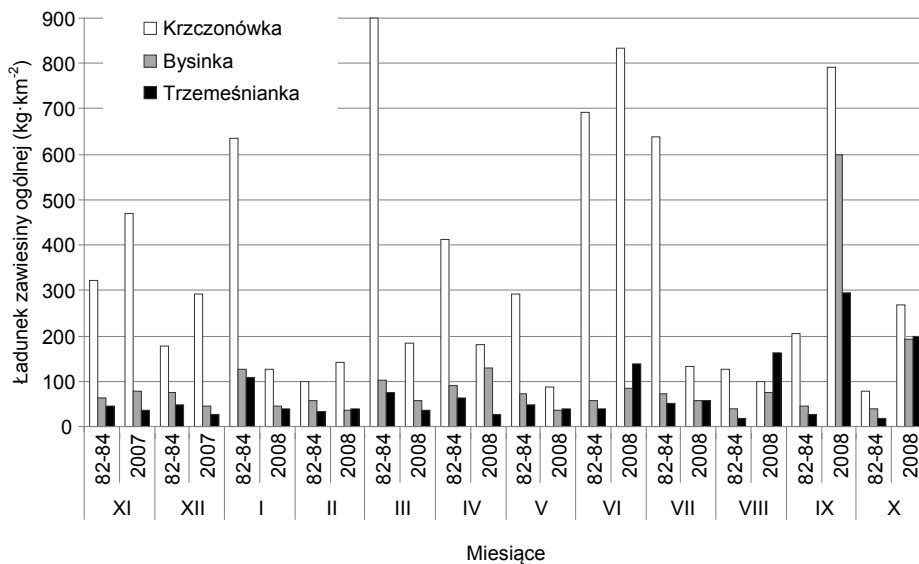
Fig. 2. The monthly loads of suspension in the waters of Raba from 1982 to 1984 (according to IMUZ) and from 2007 to 2008

W tabeli 4 przedstawiono zestawienie wartości odprowadzanego ładunku zawiesiny ogólnej z poszczególnych fragmentów zlewni Raby wraz z monitorowanymi jej dopływami powyżej Zbiornika Dobczyckiego oraz z rzeki Krzczonówki. W wodach rzeki Raby nastąpiło ograniczenie ładunku zawiesiny w stosunku do lat 80. mniej więcej o 35-40%, w bezpośrednich dopływach Zbiornika Dobczyckiego (tab. 2 i 3) doszło zaś do wzrostu ładunku, głównie w wodach Trzemeśnianki. W Krzczonówce ładunek ten

Tabela 4. Ładunki całkowite i jednostkowe zawiesiny ogólnej dla wybranych fragmentów obszaru badań

Table 4. The total and unit loads of suspension for selected parts of the research area

Lata badań	Sumaryczne roczne ładunki zawiesiny ogólnej (Mg)		Roczne jednostkowe ładunki zawiesiny ogólnej (Mg·km <sup>-2</sup> )	
	Raba z dopływami powyżej zbiornika	Krzczonówka	Raba z dopływami powyżej zbiornika	Krzczonówka
1982	5 763	331	8,75	3,79
1983	9 656	1 794	14,66	20,42
1984	5 999	320	9,11	3,64
2007-2008	3 743	302	5,68	3,44



Rys. 3. Miesięczne ładunki jednostkowe w dopływach Raby i Zbiornika Dobczyckiego w latach 1982-1984 (na podstawie danych IMUZ) oraz 2007-2008

Fig. 3. The monthly loads of suspension in the inflows of the Raba River and the Dobczyce reservoir from 1982 to 1984 (according to IMUZ) and from 2007 to 2008

był porównywalny, nie licząc 1983 roku, kiedy to ze względu na ekstremalnie wysokie opady atmosferyczne doszło do znaczącego odpływu.

W tabeli 5 pokazano zmiany w strukturze użytkowania ziemi w zlewni Raby, jakie zaszły w ostatnim ćwierćwieczu. W podanym okresie w górnej części zlewni Raby użytki rolne zmniejszyły swój udział o około 4,3%, a lasy o 6,6%. Wyraźnie zaś, bo aż o 10,9% zwiększyły się powierzchnie określone jako „pozostałe”, do których wliczono zapewne część zakrzaczonych terenów, wcześniej kwalifikowanych jako obszary leśne lub nieużytki rolnicze, a także tereny zabudowane. Istotne zmiany wystąpiły w strukturze użytków rolnych. Grunty orne, które początkowo zajmowały niewiele ponad 44,1%, zostały zredukowane do 27,4% powierzchni UR.

Tabela 5. Zmiany w użytkowaniu zlewni górnej Raby w latach 1981-2005

Table 5. The changes of land use in the upper Raba basin from 1981 to 2005

Rok	Użytki rolne (%)				Lasy	Pozostałe
	ogółem	grunty orne	sady	użytki zielone		
1981	53,7	44,1	1,0	8,6	44,7	1,6
2005	49,4	27,4	0,7	21,3	38,1	12,5
Zmiany	-4,3	-16,7	-0,3	+12,7	-6,6	+10,9

„+” – wzrost, „-” – spadek udziału w danej formie (kategorii) użytkowania ziemi.

## Dyskusja

Większy ładunek zawiesiny w okresie letnim, częściowo też wiosennym, wynika głównie z większych opadów atmosferycznych, które występują w tym okresie. Wielkość ładunku zawiesiny w rzece Rabe jest silnie zróżnicowana i wzrasta wraz z jej biegiem. Dopływy wykazują podobne proporcje między sobą zarówno w ładunku całkowitym, jak i jednostkowym, gdyż powierzchnie zlewni tych dopływów są znacznie mniejsze niż powierzchnie zlewni Raby. Wydaje się więc, że w małych zlewniach zmienność sezonowa ładunku zawiesiny jest bardziej zależna od sytuacji meteorologicznych niż np. zmian strukturalnych.

Inna sytuacja dotyczy przekroju „Raba-Stróża”, gdzie odnotowano znacznie większy ładunek zawiesiny w 2008 roku, w miesiącach letnich, aniżeli w tym samym sezonie w latach 1982-1984, ponieważ w okresie letnim 2008 roku wzdłuż biegu rzeki (głównie na odcinku Stróża-Pcim-Myślenice) prowadzono intensywne prace ziemno-budowlane związane z modernizacją i przebudową drogi krajowej zwanej popularnie „zakopianką”. Była to więc jedna z najważniejszych przyczyn tak gwałtownego wzrostu zawartości zawiesiny w wodach Raby na tym odcinku.

Osobnej analizie (modelowania) wymaga ocena zmian w strukturze użytkowania i jej wpływu na wielkość wynoszonego materiału erodowanego w zlewni. Widać, że w głównej mierze to właśnie użytkowanie płużne, połączone z wysokimi dawkami nawożenia, powodowało znaczące zagrożenia erozyjne powierzchni zlewni (KUREK i IN. 1993). Dziś w miejsce intensywnej produkcji rolniczej następuje ekspansja urbanistyczna, która nie zawsze idzie w parze z właściwym funkcjonowaniem infrastruktury sanitarnej, co skutkuje niekontrolowanymi zrzutami ścieków z gospodarstw. W takiej sytuacji doprowadzone zanieczyszczenia mają duże znaczenie w kształtowaniu jakości wód, w tym ilości zawiesiny w wodzie.

## Podsumowanie i wnioski

Analiza porównawcza pozwala na wyciągnięcie kilku najważniejszych wniosków. W rzece Rabe zarejestrowano większe różnice w ładunku zawiesiny między poszczególnymi przekrojami pomiarowymi, szczególnie w układzie ładunków jednostkowych. Sezonowo ładunek całkowity zawiesiny rozkładał się w miarę równomiernie, większy był w okresie letnim, mniejszy w zimowym. Pomiary z 2008 roku wykazały jednak znaczące podwyższenie koncentracji zawiesiny w przekroju Stróża, co pokazuje duży wpływ prac technicznych na zjawiska erozyjne w zlewni. Nastąpiło pewne ograniczenie wielkości ładunku w stosunku do lat 80. XX wieku. Jedynie w niektórych dopływach bezpośrednich do zbiornika odnotowano nieznaczny wzrost wielkości wynoszonego ładunku w stosunku do tych rejestrowanych sprzed 25 lat. Wzrost ten dotyczy przede wszystkim rzek wypływających z obszarów, w których w ostatnich latach nastąpił gwałtowny rozwój urbanistyczny, objawiający się wzrostem powierzchni terenów zabudowanych zarówno o charakterze mieszkalnym, jak też usługowo-turystycznym.

Zauważalne są też tendencje rozwojowe w odniesieniu do zabudowy mieszkalnej oraz infrastrukturalnej kosztem ograniczenia użytkowania rolniczego, w tym głównie

ornego. Jest to zresztą ogólna tendencja występująca w obszarach zlewniowych terenów karpackich.

## Literatura

- BYCZKOWSKI A., MENDES B., 1993. Obiektywna metoda oceny analogii hydrologicznej przy określaniu charakterystyk odpływu ze zlewni nie kontrolowanych. *Wiad. Inst. Meteorol. Gosp. Wod.* 16, 1: 33-41.
- DRZEWIECKI W., MULARZ S., TWARDY S., KOPACZ M., 2008. Próba kalibracji modelu RUSLE/SDR dla oceny ładunku zawiesiny wprowadzonego do Zbiornika Dobczyckiego ze zlewni bezpośredniej. *Arch. Fotogram. Kart. Teledet.* 18: 83-98.
- KOPACZ M., 2007. Modelowanie zmian w jakości wód powierzchniowych na tle przeobrażeń użytkowo-przestrzennych w małych zlewniach górskich. W: *Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej.* Wyd. AR, Kraków: 154-164.
- KOWALCZYK A., TWARDY S., 2007. Metoda określania procesów erozyjnych w warunkach obszarów karpackich. W: *Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej.* Wyd. AR, Kraków: 165-174.
- KUREK S., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., TWARDY S., 1993. Ocena zagrożeń jakości wód zbiornika retencyjnego w Dobczycach ze strony rolnictwa oraz sposoby ich ograniczania. W: *Zlewnia Raby jako obszar alimentacji wód i zanieczyszczeń dla zbiornika retencyjnego w Dobczycach.* Wyd. PK, Kraków, 145: 253-271.
- MROZEK T., 1992. Transport zawiesiny w zlewni rolniczej (Dębnik) i leśnej (Ratanica). *Zesz. Nauk. AR Krak.* 260: 229-239.
- MROZEK T., MACHNIK A., 1998. Jakość wód powierzchniowych w zlewniach o różnym użytkowaniu ziemi na przykładzie zlewni rolniczej (Dębnika) i leśnej (Ratanicy). *Wiad. Inst. Melior. Użyt. Ziel.* 19, 4: 23-44.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., DOMAGAŁA R., MROZEK T., 1993. Przestrzenne zróżnicowanie ładunków składników chemicznych w bezpośredniej zlewni zbiornika retencyjnego w Dobczycach. W: *Zlewnia Raby jako obszar alimentacji wód i zanieczyszczeń dla zbiornika retencyjnego w Dobczycach.* Wyd. PK, Kraków, 145: 215-240.

## STUDIES ON THE CONTENT OF SUSPENSION IN SURFACE WATER OF THE RABA BASIN SUPPLYING THE DOBCZYCE RESERVOIR

**Summary.** The aim of this study was comparison of changes of suspension in the upper Raba basin between 1982-1984 and 2007-2008. Monitoring was conducted in six measuring points. The load of suspension was varied; more observed in the water of the Raba River and less in its inflows. Unit loads of suspension varied even more as exemplified by the streams of Trzemińianka and Rysinka. Monthly suspensions were slightly larger in the summer. The biggest load was recorded in 2008 at the sample point-Stróża, where road No 7 (commonly called Zakopianka) construction was carried on. It was found that the load of the suspension was reduced in the upper Raba basin in relation to the situation observed in the 80's.

**Key words:** load the suspension, the upper Raba basin, changes in land use



Kopacz M., Drzewiecki W., Twardy S., 2011. Badania nad zawartością zawiesiny ogólnej w wodach powierzchniowych zlewni Raby zasilających Zbiornik Dobczycki. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #36.

---

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Marek Kopacz, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie, ul. Ulanów 21 B, 31-450 Kraków, Poland, e-mail: itepkrak@itep.edu.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*11.05.2011*

*Do cytowania – For citation:*

*Kopacz M., Drzewiecki W., Twardy S., 2011. Badania nad zawartością zawiesiny ogólnej w wodach powierzchniowych zlewni Raby zasilających Zbiornik Dobczycki. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #36.*