

## **Denudacja chemiczna w zlewniach Gór Świętokrzyskich i Niecki Nidziańskiej**

### **Chemical denudation in the catchments of the Holy Cross Mts. and Nida Basin**

**Tadeusz Ciupa**

*Zakład Hydrologii i Geoinformacji, Instytut Geografii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach  
tciupa@ujk.kielce.pl*

**Zarys treści:** W pracy przedstawiono stan rozpoznania współczesnej denudacji chemicznej w Górach Świętokrzyskich i Niecce Nidziańskiej ze szczególnym uwzględnieniem zlewni Białej Nidy, Sufragańca i Silnicy. W oparciu o wyniki stacjonarnych i ekspedycyjnych badań hydrochemicznych w kilkunastu zlewniach cząstkowych wykazano, że przestrzenne zróżnicowanie tego procesu geochemicznego uwarunkowane jest głównie różnorodnością litologiczną podłoża i zagospodarowaniem terenu. Znalazło to odzwierciedlenie w uzyskanych wskaźnikach chemicznej denudacji jednostkowej, którego wartości kształtują się tu w szerokim przedziale, tj. od 10 t rok<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (obszary krzemionkowe) do 435 t rok<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (obszary gipsowe). Należy jednak pamiętać, że wskaźnik ten w sposób uproszczony charakteryzuje przestrzenne zróżnicowanie współczesnej denudacji chemicznej nawet wówczas, gdy badania prowadzone były w małych zlewniach.

**Słowa kluczowe:** denudacja chemiczna, antropopresja, Góry Świętokrzyskie, Niecka Nidziańska

**Abstract:** In the study there has been presented the state and the results of contemporary chemical denudation in the Holy Cross Mts. and Nida Basin, particularly considering the Biała Nida, Sufraganiec and Silnica catchments. The stationary and expeditionary hydrochemical researches have been conducted in several basins. The results indicate the spatial distribution of the process. This mainly depends on the lithological variety of the ground and landuse. It is reflected in the obtained rates of chemical specific denudation. It forms a wide interval between 10 ton year<sup>-1</sup>·km<sup>-2</sup> (silicon areas) and 435 ton year<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (gypsum areas). Nevertheless we ought to remember that the rate characterizes, in a simplified way, the spatial distribution of the contemporary chemical denudation even though the researches are carried out in small basins.

**Key words:** chemical denudation, antropopression, Holy Cross Mts., Nida Basin

### **Zarysowanie problemu i przegląd literatury**

Wielkość i dynamika transportu materiału rozpuszczonego oraz rozmiary denudacji chemicznej były przedmiotem wielu prac (m.in.: Cleaves i in. 1970, Kotarba 1972, Pulina 1974, Froehlich 1982, Zwoliński 1989, Krzemień 1991, Tyc 1997, Mazurek 2000, Ciupa 2009). Z uwagi na fakt, że badania były prowadzone w zlewniach o różnej powierzchni, zastosowano wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej ( $ld - \text{mg s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ). W bilansie denudacyjnym

zlewni obszarów umiarkowanych szerokości geograficznych, w tym na Wyżynach Polskich, wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej o rząd wielkości przewyższa wskaźnik denudacji mechanicznej (Zwoliński 1989, Ciupa 1991, Maruszczak i in. 1992, Świeca 1998). Zróżnicowanie intensywności procesów geochemicznych w zlewniach wyżynnych Polski uwarunkowane jest głównie różnorodnością litologiczną podłoża oraz użytkowaniem. Znajduje to odzwierciedlenie w wartościach wskaźnika chemicznej denudacji jednostkowej, które kształtują się tu w szerokim przedziale, tj. od około 10 t rok<sup>-1</sup> km<sup>2</sup> do

435 t rok<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (Markowicz-Łohinowicz 1968, Bura-  
czyński, Michalczyk 1973, Głazek, Markowicz-Łohi-  
nowicz 1973, Pulina 1974, Maruszczak 1990, Ciupa  
1991, Rzepa 1992, Janiec 1997, Tyc 1997, Świeca  
1998, 2004, Kostrakiewicz 1999, Chwalik 2006, Róż-  
kowski 2006, Rodzik i in. 2008).

W Górach Świętokrzyskich i Niece Nidziańskiej  
transport materiału rozpuszczonego i rozmiary de-  
nudacji chemicznej były przedmiotem wielu prac. W  
Górach Świętokrzyskich zależnością składu che-  
micznego wód krasowych od budowy geologicznej w  
poszczególnych porach roku zajmowali się Głazek i  
Markowicz-Łohinowicz (1973). Przestrzenne i sezo-  
nowe zróżnicowanie transportu materiału rozpusz-  
czonego i denudacji chemicznej w zlewni Czarnej  
Nidy przedstawił Rzepa (1992), a w zlewni Białej  
Nidy Ciupa (1991). Podczas wezbrań transport ten, w  
odniesieniu do innych form transportu fluwialnego,  
badany był w zlewni Białej Nidy i Belnianki (Ciupa  
1991, 1993). Wpływ użytkowania, w tym obszaru zur-  
banizowanego, na transport materiału rozpuszczo-  
nego i wybranych jonów w przekroju podłużnym Sil-  
nicy i Sufragańca wykazał Ciupa (2006, 2009).

## Cel i metody pracy

Celem pracy jest określenie wartości średniego  
rocznego wskaźnika chemicznej denudacji jednost-  
kowej oraz analiza jego przestrzennego zróżnicowa-  
nia w wybranych zlewniach Gór Świętokrzyskich i  
Niecki Nidziańskiej. Tak postawiony problem wyma-  
gał wieloletnich stacjonarnych i ekspedycyjnych ba-  
dań terenowych w zlewniach o zróżnicowanej lito-  
logii, użytkowaniu oraz zagospodarowaniu. Badania te  
były prowadzone w zlewniach o zróżnicowanej wiel-  
kości, tj.: Białej Nidy, Sufragańca i Silnicy.

Na Białej Nidzie stacjonarne badania terenowe  
wykonano w czterech przekrojach (Podłazie, Mni-  
szek, Jaclów i Żerniki) oraz w pięciu na jej dopły-  
wach (Grabówka, Hutka, Brynica, Kwilinka, Lipni-  
ca, Łososina), w systemie ekspedycyjnym co  
najmniej raz w miesiącu, w latach hydrologicznych  
1981–1982 i podczas wezbrania roztopowego w mar-  
cu 1985 r. W przekrojach tych zakres badań obejmo-  
wał m.in. pomiary przepływu wody i przewodności  
właściwej.

Na rzece Sufraganiec (3 przekroje hydrometrycz-  
ne: Grzeszyn, Niewachłów i Pietraszki) i Silnicy (5  
przekrojów: Dąbrowa, Piaski, Jesionowa, Pakosz i  
Białogon) w latach hydrologicznych 1998–2001 pro-  
wadzono stacjonarne badania hydrologiczne i prze-  
wodności właściwej, a w kolejnych (2001–2003) – sta-  
cjonarne pomiary kontynuowano tylko w zakresie  
badań hydrologicznych, badania zaś przewodności  
właściwej ograniczono wówczas do 1–2 pomiarów w  
miesiącu. Ekspedycyjnie badania prowadzono rów-  
nież na Silnicy w przekroju Obwodnica (bez stałych

obserwacji), zamykającym całkowicie zalesioną gór-  
ną część zlewni Silnicy (ryc. 1, tab. 1).

Przewodność właściwą badano metodą konduk-  
tometryczną, a otrzymane wartości przeliczono na  
koncentrację materiału rozpuszczonego, stosując  
metodę zaproponowaną przez Markowicz i Pulinę  
(1979).

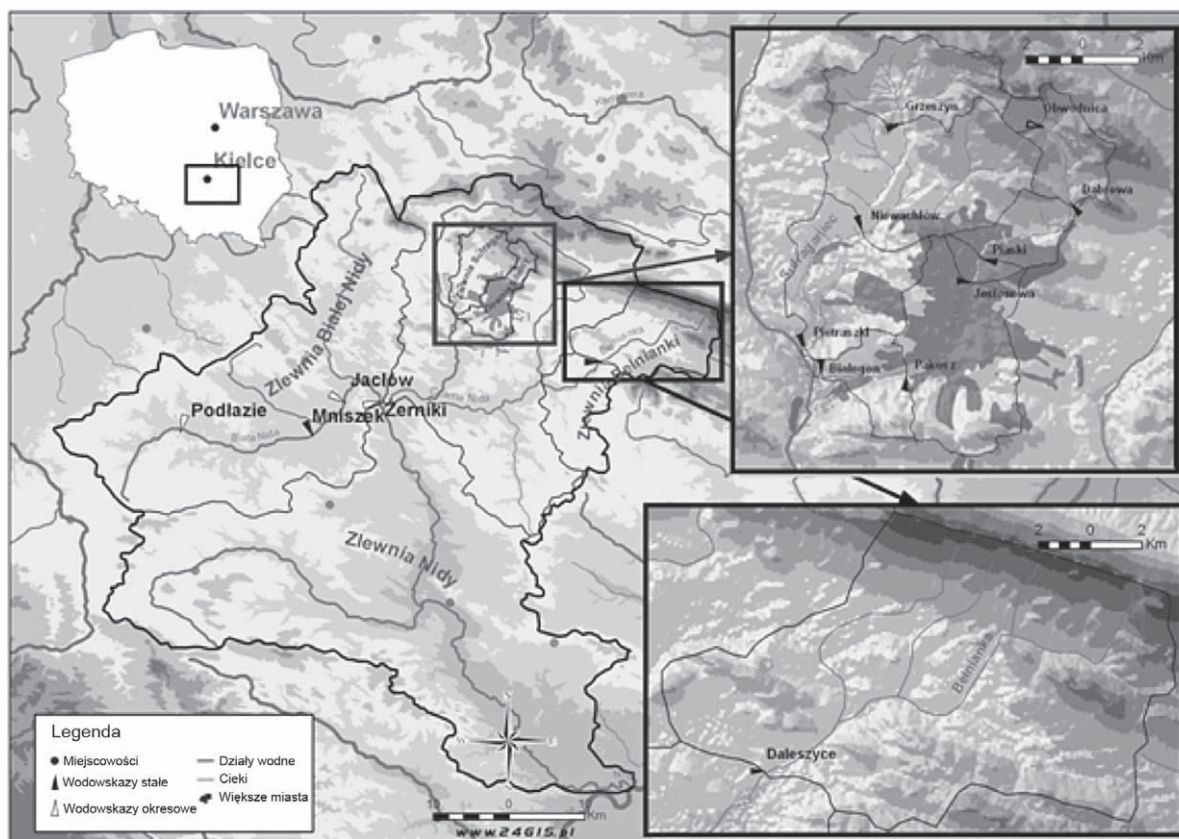
## Teren badań

Zlewnia Białej Nidy o powierzchni 1030 km<sup>2</sup> obej-  
muje południowo-zachodnie mezozoiczne obrzeżenie  
Gór Świętokrzyskich. Położona jest w interwale wyso-  
kości 207–444 m n.p.m. Długość Białej Nidy wynosi  
52,4 km, a jej średni spadek 1,13‰. Rzeka ta płynie  
korytem wyciętym w aluwialnych holoceniach, a tylko  
lokalnie w podcięciach zboczowych osiąga starsze  
podłoże (ryc. 1, tab. 1). W górnej i środkowej części  
zlewni (po przekrój w Mniszku) podłoże podczwarto-  
rzędowe budują prawie w całości skały węglanowe.  
Poniżej Mniszka udział skał węglanowych maleje do  
76% (po przekrój zamykający zlewnię w Żernikach), a  
jednocześnie zwiększa się urozmaicenie rzeźby tere-  
nu. W trzech zlewniach badanych dopływów Białej  
Nidy (Grabówki, Kwilinki i Brynicy) udział skał wę-  
glanowych wynosi 100%, a w pozostałych kształtuje  
się od 86,4% (Lipnica) do 40,2% (Łososina) (ryc. 2).  
Średni roczny odpływ jednostkowy w okresie badań w  
górnej części zlewni Białej Nidy malał dość szybko od  
przekroju Podłazie do przekroju Mniszek (odpowied-  
nio: 7,2 i 5,7 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>), a następnie wzrastał w kie-  
runku Żernik (7,2 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>) (tab. 1). W górnej czę-  
ści zlewni, gdzie występują duże powierzchnie  
stawów, było to zapewne spowodowane większymi  
stratami na parowanie i retencję. Wzrost odpływu jed-  
nostkowego poniżej przekroju w Mniszku związany  
był z większymi opadami w północnej części zlewni  
oraz mniejszymi stratami na parowanie wynikającymi  
m.in. z mniejszej tam powierzchni stawów (Ciupa  
1991).

Zlewnie Sufragańca i Silnicy cechują się podobną  
powierzchnią, budową geologiczną, rzeźbą terenu,  
natomiast różnią się użytkowaniem ziemi. Powierzchnia  
leśno-rolniczej zlewni Sufragańca wynosi 62,01 km<sup>2</sup>,  
a zurbanizowanej zlewni Silnicy – 49,40 km<sup>2</sup>. Zlewnie te  
położone są obok siebie. W ich obrębie wydzielono  
zlewnie cząstkowe o różnym charakterze użytkowania  
(ryc. 1, tab. 1). W obu zlewniach udział lasów zmniejsza  
się wraz z przyrostem powierzchni zlewni. W górnej  
części zlewni Sufragańca (Grzeszyn) udział ten wynosi  
65,5%, a w zlewni do przekroju Pietraszki, położonym  
w odcinku ujściowym rzeki, zmniejsza się do 46,7%.  
Jednocześnie udział powierzchni słabo przepuszczalnych  
lub nieprzepuszczalnych zwiększa się tam odpowiednio  
od 1,7% do 6,7%. W górnej części zlewni Silnicy, po  
przekrój Obwodnica, lasy zajmują 95,1%, a przekrój

Dąbrowa – 72,9% powierzchni. W niżej położonych zlewniach cząstkowych: Piaski, Jesionowa i Pakosz zmniejsza się udział lasów, a wzrasta powierzchnia terenów uszczelnionych (drogi, utwardzone parkingi, zabudowania). Powierzchnie te są nieprzepuszczalne i słabo przepuszczalne oraz charakteryzują się bardzo małą retencyjnością i szorstkością. Między przekrojami Piaski i Jesionowa znajduje się zbiornik retencyjny o powierzchni 10,5 ha i pojemności 170 000 m<sup>3</sup>. Poniżej centrum Kielce, po przekrój Pakosz, udział terenów uszczelnionych wynosi 30,2%. W dół zlewni, aż do przekroju Białogon, wzrasta nieco powierzchnia lasów i łąk, a tereny zakryte zmniejszają się do 27,6% (Ciupa 2001). Udział skał węglanowych w budowie powierzchni podłoża zlewni Sufragańca i Silnicy jest niski (od 0,0 do 7,5%), natomiast udział skał niewęglanowych kształtuje się w granicach od 20,6% – Obwodnica do 71,0% – Dąbrowa (ryc. 2). W okresie badań średni roczny odpływ jednostkowy w zlewni rzeki Sufraganiec zmniejszał się wraz z przyrostem powierzchni zlewni od 9,22 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (Grzeszyn) do 8,74 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (Niewachłów), a w dolnej części zarejestrowano jego wzrost o 1,2% (Pietraszki – 8,84 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>). Rzeka Sufraganiec odwadnia zlewnię leśno-rolniczą z niewielkim, ale zwiększającym się udziałem terenów zurbanizowanych w środkowej i dolnej części. W górnej części zlewni Silnicy odpływ ten zmniejszał się w dół zlewni od 10,26 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>

(Dąbrowa) do 7,55 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (Jesionowa). W zlewni po przekrój Dąbrowa stosunkowo wysokie jego wartości były efektem zrzutów wód z kopalni piaskowca kwarcytowego w Wiśniówce (szczególnie w latach z wysokimi opadami). Z kolei najniższe wartości odpływu jednostkowego (7,6 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>) występowały w zlewni po przekrój Jesionowa. Było to spowodowane stratami na parowanie ze zbiornika wodnego (Zalew Kielecki) o powierzchni 10,5 ha. Poniżej centrum Kielce, w zlewni po przekrój Pakosz, miał miejsce skokowy wzrost średniego rocznego odpływu jednostkowego o 44,2% (10,89 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>). Był to efekt wpływu obszaru zurbanizowanego na występujące tu procesy krążenia wody, gdzie następowało zmniejszenie intercepcji, retencji powierzchniowej, infiltracji i parowania przy jednoczesnym wzroście spływu powierzchniowego na skutek m.in. przyspieszonego drenażu systemem dróg i kanalizacji deszczowej oraz zrzutów wody (legalnych i nielegalnych). W przekroju Białogon, zamykającym zlewnię Silnicy, zanotowano z kolei gwałtowne zmniejszenie omawianych wartości o 18,1% (8,91 dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>). Było to spowodowane m.in. oddziaływaniem rozległego leja depresyjnego, który wytworzył się wokół 13 ujęć wód podziemnych w Dolinie Białogońskiej (tab. 1). Z ujęć tych pobiera się ponad 50% wody dla miasta Kielce (Rybka i in. 2004, Ciupa 2008, 2009, 2010).



**Ryc. 1.** Położenie zlewni i lokalizacja przekrojów pomiarowych na Białej Nidzie, Belniance, Silnicy i Sufragańcu  
**Fig. 1.** Location of the catchments and gauging profiles on Biała Nida, Belnianka, Silnica and Sufraganiec



**Tabela 1.** Parametry morfometryczne, użytkowanie i średni roczny odpływ jednostkowy w zlewniach rzek: Białej Nidy, Silnicy i Sufragańca  
**Table 1.** Morphometric parameter, landuse, mean annual specific discharge in drainage basins: Biała Nida, Silnica and Sufraganiec

Rzeka	Przekrój	Parametry morfometryczne					Użytkowanie (%)				Odptyw jednostkowy
		A (km <sup>2</sup> )	L (km)	i (‰)	I (‰)	Hśr. (m n.p.m.)	l	ł	g	i	$q$ (dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )
Biała Nida	Podłazie	151,5	14,6	2,05	10,7	260,1	32,3	12,9	54,3	0,5	7,2
	Mniszek	438,5	33,2	1,45	14,4	257,2	26,7	10,9	61,4	1,0	5,7
	Jacłów	639,8	40,5	1,31	15,5	254,1	26,9	10,6	61,7	0,8	6,3
	Żerniki	1030,5	52,4	1,13	23,0	255,9	29,4	10,8	59,3	0,5	7,2
dopływy Białej Nidy	Grabówka	26,7	10,6	3,16	13,0	249,9	56,5	5,8	37,7	0,0	3,5
	Hutka	47,2	11,5	6,81	61,7	260,0	22,8	6,6	70,6	0,0	5,9
	Brynica	61,6	14,0	3,14	15,8	265,1	22,2	5,0	71,7	1,1	6,1
	Kwilinka	62,7	13,8	2,72	15,5	264,3	23,4	6,9	67,6	2,1	7,0
	Lipnica	112,6	22,7	2,58	16,7	260,0	21,5	9,6	68,1	0,8	6,5
	Łososina	313,8	39,6	1,83	31,6	257,5	31,1	14,9	54,0	0,0	6,6
	Silnica	Obwodnica	1,46	0,83	23,85	58,6	370,8	95,1	4,6	0,0	0,3 (0,3)
	Dąbrowa	9,23	4,27	14,86	64,5	360,8	76,1	12,9	3,6	7,4 (4,6)	10,3
	Piaski	15,48	8,78	11,66	59,0	339,0	60,7	15,0	9,9	14,4 (12,7)	8,1
	Jesionowa	17,88	9,88	10,67	58,8	331,8	56,0	15,3	9,1	19,6 (17,4)	7,6
	Pakosz	42,6	14,49	8,37	52,0	302,4	47,7	16,3	4,3	31,7 (30,2)	10,9
	Białogon	49,37	17,81	7,33	53,2	297,4	50,1	17,0	4,1	28,8 (27,6)	8,9
Sufraganiec	Grzeszyn	13,61	4,50	20,98	68,1	355,7	69,6	11,7	17,0	1,7 (1,7)	9,2
	Niewachłów	42,25	9,69	12,08	54,3	330,4	63,3	9,7	23,0	4,0 (3,4)	8,7
	Pietraszki	61,93	15,88	8,38	48,8	313,0	52,2	14,7	25,7	7,4 (6,7)	8,8

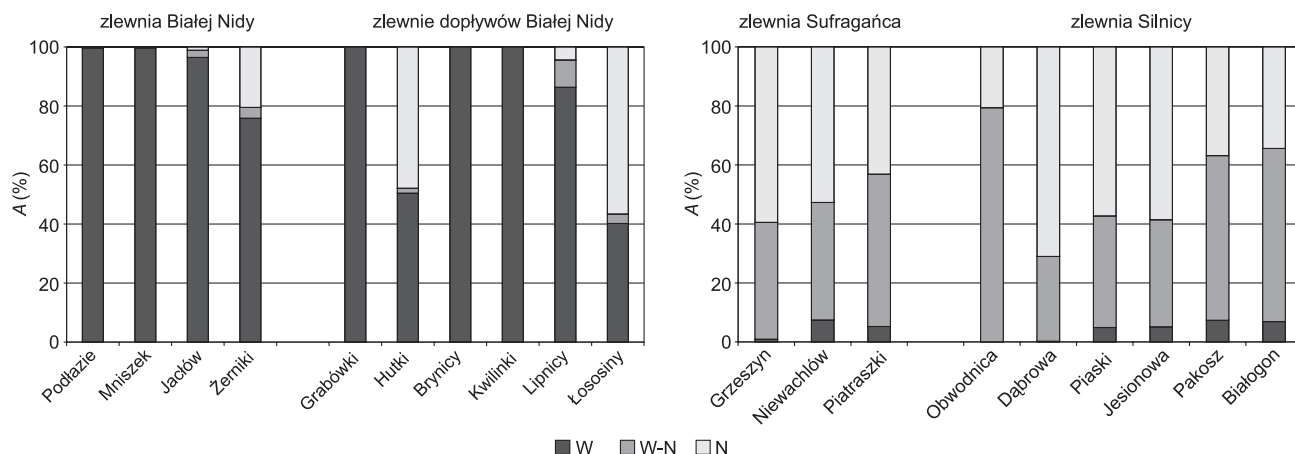
Objaśnienia symboli: A – powierzchnia zlewni, L – długość rzeki, i – średni spadek rzeki, I – średni spadek zlewni, Hśr. – średnia wysokość zlewni, l – lasy, ł – łąki i tereny zielone, g – grunty orne, i – inne użytki (w nawiasie podano udział terenów uszczelnionych – zabudowa, drogi, parkingi),  $q$  – odpływ jednostkowy (zlewnie: Białej Nidy i jej dopływów w latach 1981–1982, Silnicy i Sufragańca w latach 1998–2001).

Explanations of symbols: A – catchment area, L – river length, i – mean slope of a river, I – mean slope of a catchment, Hśr. – mean height of a catchment, l – forests, ł – meadows and green areas, g – arable land, i – other land (in parentheses are part of the sealed – house, roads, parking lots),  $q$  – specific discharge (Biała Nida catchment – in the period of 1981–1982, Silnica and Sufraganiec catchments – 1998–2001).

## Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika chemicznej denudacji jednostkowej

Wody rzeczne w zlewni Czarnej Nidy i Białej Nidy, zgodnie z klasyfikacją Alekina (1956), zalicza się do grupy wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowych (Rzepa 1986, Ciupa 1991). W składzie chemicznym wód rzeki Sufragańca i Silnicy domino-

wały również aniony  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ , które w kolejnych przekrojach stanowiły od 51,1% (Dąbrowa) do 62,2% (Grzeszyn) sumy sześciu głównych jonów, oraz kation  $\text{Ca}^{2+}$  (odpowiednio: 18,3% i 23,9%). Potwierdzają to również wydzielone typy hydrochemiczne wód rzek Sufraganiec i Silnica, na podstawie klasyfikacji Altowskiego i Szwieca (Macioszczyk 1987).



**Ryc. 2.** Udział skał węglanowych (W), węglanowych i niewęglanowych (W–N) oraz niewęglanowych (N) w powierzchni podłoża podczwartorzędowego (A) zlewni cząstkowych rzek Białej Nidy, Sufragańca i Silnicy

**Fig. 2.** Participation of carbonate (W) carbonate and noncarbonate (W–N) rocks in the pre-Quaternary ground (A) in the Biała Nida, Sufragańca and Silnica catchments

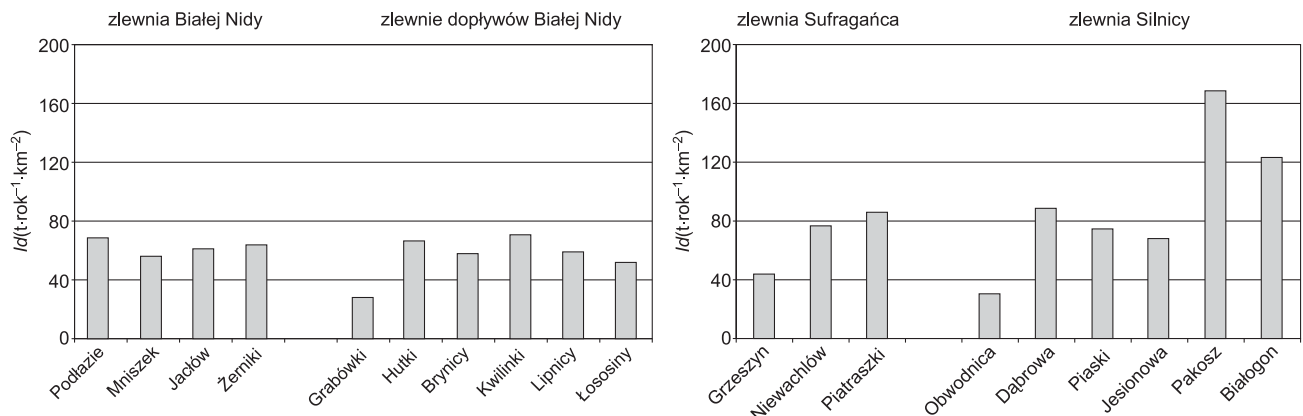
W celu porównania transportowanych ładunków materiału rozpuszczonego ze zlewni o różnej powierzchni zastosowano wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej ( $ld$  –  $\text{mg s}^{-1} \text{km}^{-2}$ ). Pozwala on porównywać wielkość wynoszonych ładunków materiału rozpuszczonego ze zlewni o zróżnicowanych powierzchniach i uwarunkowaniach geograficznych (Cleaves i in. 1970, Kotarba 1972, Pulina 1974, Froehlich 1975, 1982, Ciupa 1991, Rzepa 1992, Tyc 1997, Świeca 1998). Przestrzenne zróżnicowanie natężenia denudacji ujmuje się w sposób uproszczony, nawet wówczas, gdy badania prowadzone były w kilku zlewniach cząstkowych (Froehlich 1975, 1982, Ciupa 1991, Świeca 1998, Mazurek 2000).

W górnej części zlewni Białej Nidy wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej ( $ld$ ) malał od  $69,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Podłazie) do  $56,0 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Mniszek), a następnie wzrastał, osiągając w całej zlewni  $64,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (przekrój Żerniki). Taki rozkład, w układzie zgodnym z przyrostem dorzecza, uwarunkowany był głównie litologią podłoża i warunkami krążenia wody.

Spośród zlewni dopływów Białej Nidy wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej najniższe wartości osiągnął w zlewni Grabówki ( $27,9 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) i Łososiny ( $51,79 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). W tej pierwszej, mimo że jej podłoże w całości zbudowane jest ze skał węglanowych, tak niska wartość wskaźnika spowodowana była głównie małymi odpływami jednostkowymi. Zlewnia ta, najbardziej zalesiona w zlewni Białej Nidy (56,5%), charakteryzuje się mało urozmaiconą rzeźbą terenu. Przymuszalnie niewielkie wcięcie doliny rzecznej i małe deniwelacje powodują, że część wód zasilających rzekę krąży w płytkich, piaszczystych i silnie wylugowanych utworach czwartorzędowych o dużej przepuszczalności. Z kolei stosunkowo niskie wartości wskaźnika  $ld$  w zlewni Łososiny to efekt małego udziału skał węglanowych (40,2%) w powierzchni podłoża podczwartorzędowego. Naj-

wyższe wartości wskaźnika chemicznej denudacji jednostkowej wystąpiły w zlewni Kwilinki ( $70,9 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ), gdzie w podłożu występuje 100% skał węglanowych, oraz w zlewni Hutki ( $67,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) – udział tych skał wynosi tylko 50,5%. W tej drugiej zlewni tak wysokie wartości omawianego wskaźnika spowodowane były głównie działalnością człowieka. W obrębie zlewni zlokalizowany jest kamieniołom dolomitu „Ostrówka”, z którego wody o dość wysokiej koncentracji materiału rozpuszczonego były kierowane do rzeki Hutki ( $361 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Według Tyc (1997) w warunkach dużej antropogenizacji środowiska, głównie w efekcie sztucznego drenażu wyrobisk górniczych oraz intensywnej eksploatacji wód podziemnych, wskaźnik denudacji chemicznej jest na niektórych obszarach wielokrotnie wyższy niż w warunkach naturalnych. Decyduje o tym znacznie wyższy odpływ jednostkowy. W zlewni Białej Przemyszy na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej, gdzie następuje intensywne odwadnianie górotworu węglanowego dla potrzeb podziemnej eksploatacji rud cynku i ołowiu, odpływ jednostkowy wynosi ponad  $18 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ , a denudacja chemiczna osiąga około  $350 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ .

Średnia roczna wartość wskaźnika chemicznej denudacji jednostkowej ( $ld$ ) w zlewni Sufragańca wzrastała wraz z przyrostem jej powierzchni od  $43,6$  do  $86,3 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ , ale również w kierunku obszarów o narastającej antropopresji. W zlewni Silnicy natomiast przebieg ten był bardziej złożony. W jej górnej części (Obwodnica – Dąbrowa) wartość omawianego wskaźnika ( $ld$ ) także wzrastała od  $30,39$  do  $88,76 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Wysoki gradient jego wzrostu na tym odcinku to w głównej mierze efekt zrzutów wód, o podwyższonej koncentracji materiału rozpuszczonego, z kopalni piaskowca kwarcytowego w Wiśniówce (ryc. 3). Wpływ drenażu wyrobisk górniczych na wzrost wartości wskaźnika  $ld$  w zlewni Hutki (Góry Świętokrzyskie) stwierdził również Ciupa (1991), a w zlewni Białej Przemyszy (Wyżyna Śląsko-Krakowska)



**Ryc. 3.** Średni roczny wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej ( $ld$ ), bez uwzględnienia czynnika antropogenicznego, w zlewni Białej Nidy w latach 1981–1982 oraz Sufragańca i Silnicy w latach 1998–2001

**Fig. 3.** Mean annual rate of chemical specific denudation ( $ld$ ), without taking into account the anthropogenic factor, in the Biała Nida catchment (in the period of 1981–1982), Sufraganiec and Silnica catchments (1998–2001)

Tyc (1997). W kolejnych zlewniach cząstkowych, aż do przekroju Jesionowa (poniżej zbiornika retencyjnego), wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej zmniejszał się, osiągając tu  $68,7 t \cdot rok^{-1} \cdot km^{-2}$ . Skokowy wzrost jego wartości stwierdzono w zlewni zamkniętej przekrojem Pakosz poniżej centrum Kielc ( $169,6 t \cdot rok^{-1} \cdot km^{-2}$ ). Jest to sumaryczny efekt oddziaływania miasta zarówno na wzrost odpływu jednostkowego, jak i koncentracji materiału rozpuszczonego. Występuje tu bowiem wiele antroposferycznych wydajnych źródeł zasilania rzek materiałem rozpuszczonym (zanieczyszczenia gazowe i pyłowe opadów atmosferycznych, niekontrolowane ścieki przemysłowe i komunalne, zanieczyszczenia komunikacyjne, urządzenia hydrotechniczne, zabudowa itd.). Wpływ wielokierunkowej antropopresji na kształtowanie wysokości omawianego wskaźnika w obrębie obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych został określony w wielu pracach (Tyc 1997, Świeca 1998, Ciupa 2007). W przekroju zamykającym całą zlewnię Silnicy zanotowano wyraźny spadek wartości omawianego wskaźnika do  $123,5 t \cdot rok^{-1} \cdot km^{-2}$ . W obszarze tym, o czym wspomniano wyżej, wytworzył się lej depresyjny, powodując ucieczkę wód z koryta Silnicy, a to wywołało zmniejszenie odpływu jednostkowego o 18,1%. Ponadto ograniczenie ilości źródeł oraz wydajności i obszarów zasilania poniżej centrum miasta spowodowało zmniejszenie średniej rocznej koncentracji materiału rozpuszczonego o 11,4%.

Rozdzielenie wyżej omawianych wartości na część naturalną, tj. pochodzącą z ługowania pokryw zwietrzelinowych, rozpuszczania litych skał i związków organicznych pochodzących z rozkładu biomasy, oraz na część antropogeniczną jest trudne. Jednakże dysponując wynikami badań z dwóch zlewni o podobnych cechach fizycznogeograficznych, które uznano za analogi, podjęto próbę oszacowania udziału antropogenicznego w wielkościach omawianych wskaźników uzyskanych w zlewniach zurbanizowanych. Przyjmując średnią wartość wskaźnika

chemicznej denudacji jednostkowej w zlewniach leśnych, rolniczych i podmiejskich (zlewnie naturalne i stosunkowo słabo przekształcone antropogenicznie) za reprezentatywną na badanym obszarze, otrzymano:  $ld = 73,9 t \cdot rok^{-1} \cdot km^{-2}$ . Odnosząc ten wynik do wartości określonych w zlewni cząstkowej Pakosz ( $ld = 169,4 t \cdot rok^{-1} \cdot km^{-2}$ ), uzyskujemy wzrost analizowanego wskaźnika  $ld$  o 231%, zaś w zlewni po przekroju Białogon o 169%. Jest to efekt wpływu terenu zurbanizowanego na kształtowanie wartości wskaźnika chemicznej denudacji jednostkowej. W zlewniach cząstkowych rzeki Silnicy, zamkniętych przekrojami Pakosz i Białogon, wartości omawianych wskaźników odzwierciedlają w pewnym stopniu rolę obszaru zurbanizowanego i leja depresyjnego w kształtowaniu przestrzennego obrazu denudacji chemicznej. Należy jednak pamiętać, że przy przestrzennej analizie tego wskaźnika denudacji przedstawianie wyniesionej masy w stosunku do całej powierzchni zlewni, przy małej ostrożności interpretacyjnej, może prowadzić do błędnych wniosków, zwłaszcza w zlewniach o zróżnicowanej antropopresji (por. Froehlich 1975, 1982, Ciupa 1991, 2009).

## Zakończenie

Reasumując, należy stwierdzić, że współczesne natężenie naturalnej denudacji chemicznej w zlewniach Gór Świętokrzyskich i Niecki Nidziańskiej, po uwzględnieniu czynnika antropogenicznego określonego w zlewniach rolniczych na około 25%, jest zdezeterminowane różnorodnością litologiczną podłoża, a także zróżnicowanym odpływem jednostkowym.

W zlewniach Gór Świętokrzyskich, gdzie w podłożu występują utwory krzemionkowe: piaskowce, szarogłazy i łupki, wskaźnik chemicznej denudacji jednostkowej wynosi od około 10 do  $40 t \cdot rok^{-1} \cdot km^{-2}$ . W Górach Świętokrzyskich i Niecce Nidziańskiej, z podłożem wapiennym i marglistym, omawiany wskaź-

nik osiąga wartości od około 25 do 75 t rok<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>. Z kolei w zlewniach Gór Świętokrzyskich, z podłożem skał wapiennych i dolomitowych, wskaźnik ten kształtuje się w przedziale od około 65 do 120 t-rok<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>. Największe jednak natężenie denudacji chemicznej, osiągające wartości od około 120 do 435 t-rok<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>, stwierdzono na obszarach gipsowych Niecki Nidziańskiej.

## Literatura

- Alekin O.A., 1956. Podstawy hydrochemii. Wyd. Geol., Warszawa.
- Buraczyński J., Michalczyk Z., 1973. Denudacja chemiczna w dorzeczu Białej Łady. *Annales UMCS*, sec. B 28: 127–138.
- Chwalik A., 2006. Ewolucja wybranych form rzeźby Niecki Soleckiej (Niecka Nidy). Maszynopis pracy doktorskiej. Katedra Geomorfologii, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec.
- Ciupa T., 1991. Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy. Wyd. WSP w Kielcach.
- Ciupa T., 1993. Transport fluwialny Belnianki (Góry Świętokrzyskie) podczas wezbrania roztopowego w 1991 r. *Przeg. Geogr.* 45(3–4): 419–429.
- Ciupa T., 2001. Funkcjonowanie systemu fluwialnego Silnicy i Sufragańca w strefie miejskiej Kielc. W: A. Karczewski, Z. Zwoliński (red.), *Funkcjonowanie geoekosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring–ochrona–edukacja*: 103–113.
- Ciupa T., 2006. Wpływ użytkowania na transport materiału rozpuszczonego w małych zlewniach na przykładzie Silnicy i Sufragańca (Kielce). W: A. Kostrzewski (red.), *Przemiany środowiska geograficznego Polski Północno-Zachodniej*. Forum Geografów Polskich. UAM, KNG PAN, SGP, PZPN, PTG, Poznań: 51–54.
- Ciupa T., 2008. Rola użytkowania w kształtowaniu obszarów dostawy sedymentu do koryt w zlewni Sufragańca i Silnicy (Góry Świętokrzyskie). *Landform Analysis* 9: 75–78.
- Ciupa T., 2009. Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce). Kielce, UJK.
- Ciupa T., 2010. Zastosowanie wskaźnika stabilności obszarowej zlewni do analizy wybranych cech odpływu i transportu fluwialnego na przykładzie Sufragańca i Silnicy. *Landform Analysis* 13: 5–11.
- Cleaves E.T., Godfrey A.E., Bricker O.P., 1970. Geochemical balance of a small watershed and its geomorphic implications. *Geol. Soc. of America Bull.* 81(10): 3015–3032.
- Froehlich W., 1975. Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 114: 1–122.
- Froehlich W., 1982. Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 143: 1–144.
- Głazek J., Markowicz-Łohinowicz M., 1974. Zależność składu chemicznego wód krasowych od budowy geologicznej w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich. *Acta Geol. Pol.* 23, 3: 529–546.
- Janiec B., 1997. Transformacje i translokacje jonowe w wodach naturalnych Roztocza Zachodniego. *Rozpr. Habilit. UMCS*, 57, Lublin.
- Kostrakiewicz L., 1999. Denudacja chemiczna skał węglanowych na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego i obrzeża. *Chrońmy Przyrodę Ojczyzn* 55, 6: 55–68.
- Kotarba A., 1972. Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach. *Prace Geogr. IG PAN*, 96: 1–116.
- Macioszczyk A., 1987. *Hydrogeochemia*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Markowicz M., Pulina M., 1979. Ilościowa półmikroanaliza chemiczna wód w obszarach krasu węglanowego. *Prace Nauk. UŚ* 289: 1–67.
- Markowicz-Łohinowicz M., 1968. Procesy współczesnej korozji krasowej masywu węglanowego Jury Częstochowskiej. *Speleologia* 3(2): 55–79.
- Maruszczak H., 1990. Denudacja chemiczna. W: M. Bogacki (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski południowo-wschodniej*. *Prace Geogr. IGiPZ PAN* 153: 23–41.
- Maruszczak H., Rodzik J., Świeca A., 1992. Denudacja mechaniczna i chemiczna we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. *Prace Geogr. IGiPZ* 155: 105–131.
- Mazurek M., 2000. Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). *Wyd. Naukowe UAM*, ser. Geogr. 62, Poznań.
- Pulina M., 1974. Denudacja chemiczna na obszarach krasu węglanowego. *Prace Geogr. IG PAN* 105: 1–159.
- Rodzik J., Ciupa T., Janicki G., Kociuba W., Tyc A., Zgłobicki W., 2008. Współczesne przemiany rzeźby Wyżyn Polskich. W: L. Starkel, A. Kostrzewski, A. Kotarba, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Wyd. IGiGP UJ, Kraków, s. 165–228.
- Rózkowski J., 2006. Wody podziemne utworów węglanowych południowej części Jury Krakowsko-Częstochowskiej i problemy ich ochrony. *Wyd. Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice.
- Rybka A., Ciupa T., Biernat T., Łoboda H., Szczygieł I., Lipska K., Gielżecka-Mądry D., Wójtowicz J., Rokicki B., 2004. Program ochrony środowiska dla miasta Kielce – część I. *Archiwum UM*, Kielce.

- Rzepa Cz., 1992. Wpływ denudacji na chemizm wód Czarnej Nidy w Górach Świętokrzyskich. Wyd. KTN, Kielce.
- Świeca A. (red.), 2004. Przyrodnicze uwarunkowania dynamiki obiegu wody i natężenia transportu fluwialnego w zlewni górnego Wieprza. Wyd. UMCS, Lublin.
- Świeca A., 1998. Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu. Rozpr. Hab., 61. Wyd. UMCS, Lublin.
- Tyc A., 1997. Wpływ antropopresji na procesy krasowe Wyżyny Śląsko-Krakowskiej na przykładzie obszaru Olkusz-Zawiercie. Kras i Speleologia, nr spec. 2: 1–176.
- Zwoliński Z., 1989. Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczne-go. Dok. Geogr. IGiPZ PAN 3–4: 1–144.