

## Wykorzystanie wskaźnika stabilności obszarowej zlewni do analizy wybranych cech odpływu i transportu fluwialnego na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce)

Use of areal stability index for an catchment in the analysis of discharge and fluvial transport; Case study: Silnica and Sufraganiec river catchments in Kielce, Poland

Tadeusz Ciupa

Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii  
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce; tadeusz.ciupa@ujk.edu.pl

**Zarys treści:** W pracy wykazano przydatność wskaźnika stabilności obszarowej zlewni ( $u_s$ ), jako wieloelementowego miernika określającego złożoność systemu zlewni (m.in. użytkowanie ziemi, stopień antropopresji i system drenażu), do analizy wybranych cech odpływu i transportu fluwialnego w warunkach zróżnicowanego zagospodarowania małych zlewni na przykładzie zlewni Sufragańca i Silnicy położonych w dużej części na obszarze miasta Kielce. Wskaźnik ten w zlewniach cząstkowych Sufragańca i Silnicy, o stosunkowo małej antropopresji, kształtował się w granicach od 1669 do 931, a w zurbanizowanych od 68 do 80. Analiza statystyczna wykazała, że wskaźnik  $u_s$  osiągnął wysokie, istotne statystycznie związki między charakterystycznymi odpływami jednostkowymi w zakresie wartości wysokich ( $NWq$ ,  $SWq$  i  $WWq$ ), średnimi wartościami koncentracji materiału rozpuszczonego ( $Cd$ ) i zawiesiny ( $Cs$ ) oraz wskaźnikiem chemicznej ( $ld$ ) i mechanicznej ( $ls$ ) denudacji jednostkowej. Jego wartość w granicach 400–500, określona na podstawie przebiegu linii wykresów, wskazuje na znaczącą wówczas utratę stabilności obszarowej badanych zlewni. Omawiany wskaźnik może być wykorzystywany w modelach hydrologicznych, a także podczas analiz wybranych cech odpływu i transportu fluwialnego w małych zlewniach o zróżnicowanym zagospodarowaniu.

**Słowa kluczowe:** wskaźnik stabilności obszarowej zlewni, odpływ jednostkowy, transport fluwialny, Kielce

**Abstract:** The paper illustrates the usefulness of the areal stability index for an catchment ( $u_s$ ) as a multi-element measure that helps determine the complexity of a catchment's functional system including land use, impact of human pressure, and drainage network. The index can be used to analyze different characteristics of discharge and fluvial transport in the context of different types of land use in the small catchments of the Silnica and Sufraganiec rivers. Both catchments are found, for the most part, in the City of Kielce in Poland. The areal stability index for the Silnica and Sufraganiec sub-catchments (little affected by human impact) ranged from 1669 to 931. In urban sub-catchments, the index ranged from 68 to 80. It has been shown that the  $u_s$  index produced strong and statistically significant relationships between specific discharge rates in the high value range ( $NWq$ ,  $SWq$ ,  $WWq$ ), average dissolved matter concentrations ( $Cd$ ) and suspended matter concentrations ( $Cs$ ), as well as the chemical denudation index ( $ld$ ) and the specific mechanical denudation index ( $ls$ ). The index ranged from 400 to 500 based on curvature, which indicates a significant loss of areas stability in the catchments of interest. The areal stability index can be used in hydrologic models as well as in analyses of discharge and fluvial transport characteristics in small catchments featuring variable land use.

**Key words:** catchment area stability index, specific runoff, fluvial transport, Kielce

## Wprowadzenie

Współcześnie w większości zlewni rzecznych procesy krążenia wody, dostawy materiału do koryt i transportu fluwialnego są pod wpływem antropopresji o zróżnicowanym nasileniu i zasięgu. Największe hydrologiczne konsekwencje antropogenicznych przekształceń obserwuje się w małych zlewniach o powierzchni do kilkuset kilometrów kwadratowych (m.in. Hojda 1974, Jankowski 1986, 1998, Rayzacher 1989, Gutry-Korycka 1993, Czaja 1999, Parzonka i in. 2002). Charakter zagospodarowania terenu warunkuje i modyfikuje propagację fal wezbraniowych oraz mechanizmy i natężenie procesów fluwialnych (Froehlich 1975, 1982, Świeca 1998, Ciupa 2005). Syntetycznym miernikiem uwzględniającym m.in. sposób zagospodarowania zlewni, stopień antropopresji i system drenażu jest wskaźnik stabilności obszarowej zlewni zurbanizowanej –  $u_s$  (Rohon 1980, Hlavaček 1981, Gutry-Korycka 2003, Ciupa 2009). Przyjęto, że wskaźnik ten w pewnym stopniu charakteryzuje przestrzenne zróżnicowanie warunków krążenia wody oraz dostawy materiału do koryt i transportu fluwialnego w małych zlewniach.

Celem pracy jest wykazanie przydatności wskaźnika stabilności obszarowej zlewni do analizy wybranych cech odpływu i transportu fluwialnego w warunkach zróżnicowanego zagospodarowania małych zlewni na przykładzie Sufragańca i Silnicy w Kielcach.

## Teren badań

Badane zlewnie położone są w obrębie strefy miejskiej i podmiejskiej Kielc. Cechują się podobną powierzchnią, budową geologiczną, rzeźbą terenu, natomiast różnią się zagospodarowaniem. Powierzchnia zurbanizowanej zlewni Silnicy wynosi 49,40 km<sup>2</sup>, a leśno-rolniczej zlewni Sufragańca –

62,01 km<sup>2</sup> (tab. 1). W ich obrębie wyróżniono 9 zlewni cząstkowych o różnym charakterze użytkowania, w których prowadzono badania stacjonarne i ekspedycyjne. W górnej części zlewni Silnicy, tj. po przekrój Obwodnica, lasy zajmują 95,1%, a po przekrój Dąbrowa – 72,9% ogólnej powierzchni. Poniżej zmniejsza się udział lasów, a wzrasta powierzchnia terenów uszczelnionych (nieprzepuszczalnych lub bardzo słabo przepuszczalnych), które cechują się przewagą przyspieszonego spływu powierzchniowego. Zaliczono do nich różnego rodzaju drogi, utwardzone parkingi oraz zabudowania. Ich udział po przekrój Pakosz, który położony jest poniżej centrum Kielc, wynosi 30,2%. W dół zlewni po przekrój Białogon wzrasta ponownie powierzchnia lasów i łąk, a tereny uszczelnione zmniejszają się do 27,6%. Między przekrojami Piaski i Jesionowa znajduje się zbiornik retencyjny o powierzchni 10,5 ha i pojemności 170 000 m<sup>3</sup>. W zlewni Sufragańca udział lasów zmniejsza się od 65,5% (Grzeszyn) do 46,7% po przekrój ujściowy (Pietraszki). Natomiast powierzchnie uszczelnione zwiększają się tu odpowiednio od 1,7% do 6,7% (tab. 1, ryc. 1).

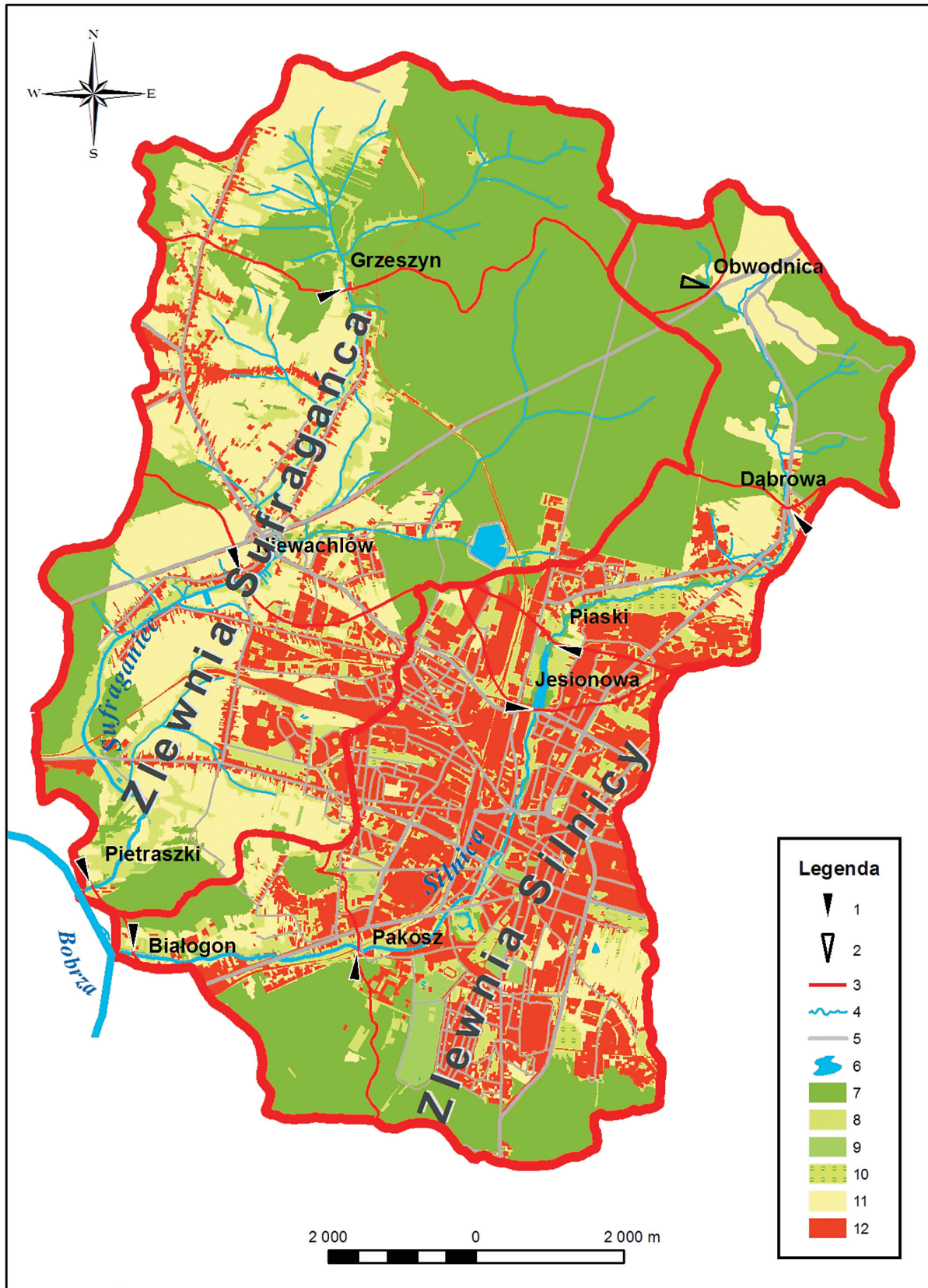
## Metody badań

Podstawą analizy były stacjonarne badania prowadzone w latach hydrologicznych 1998–2001 w ośmiu przekrojach hydrometrycznych (Silnica – Dąbrowa, Piaski, Jesionowa, Pakosz i Białogon, Sufraganiec – Grzeszyn, Niewachłów i Pietraszki), które obejmowały: codzienne pomiary stanów wody, temperatury wody, koncentracji zawiesiny i przewodności właściwej. Koncentrację zawiesiny oznaczano metodą filtracyjną, a przewodność właściwą badano metodą konduktometryczną. Podczas wybranych wezbrań o różnej genezie częstość pomiarów zwiększano od kilku do kilkunastu razy na dobę. W wyżej wymienionych przekrojach oraz w jednym

**Tabela 1.** Powierzchnia (*A*) oraz wybrane rodzaje użytków i wskaźniki zagospodarowania zlewni Sufragańca i Silnicy. Obwodnica \* – badania niestacjonarne

**Table 1.** Surface area, selected types of land use, and land use indicators for the Sufraganiec and Silnica river catchments. Obwodnica \* – extraordinary research

Rodzaj charakterystyki	Zlewnia Sufragańca					Zlewnia Silnicy			
	Grzeszyn	Niewachłów	Pietraszki	Obwodnica*	Dąbrowa	Piaski	Jesionowa	Pakosz	Białogon
A (km <sup>2</sup> )	13,61	42,25	62,01	1,46	9,23	15,49	17,88	42,62	49,38
lasy (%)	65,5	59,0	46,7	95,2	72,9	51,2	44,9	29,6	32,7
tereny uszczelnione (%)	1,7	3,4	6,7	0,3	4,6	12,7	17,4	30,2	27,5
pozostałe (%)	32,8	37,6	46,6	4,5	22,5	36,1	37,7	40,2	39,8
wskaźnik stabilności obszarowej zlewni $u_s$ (-)	931	478	395	1669	715	384	329	68	80



Ryc. 1. Mapa użytkowania zlewni Sufragańca i Silnicy (na podstawie Topograficznej Bazy Danych)

1 – wodowskaz, 2 – wodowskaz okresowy, 3 – działy wodne, 4 – ciek, 5 – drogi utwardzone, 6 – zbiorniki wodne, 7 – lasy, 8 – trwałe użytki zielone, 9 – tereny zielone, 10 – sady i ogródki działkowe, 11 – grunty orne, 12 – tereny uszczelnione (budynki, drogi, parkingi itd.)

Fig. 1. Sufragańiec and Silnica river basin land use map (based on the Topographic Data Base)

1 – water gauge, 2 – seasonal water gauge, 3 – drainage divides, 4 – water courses, 5 – paved roads, 6 – water reservoirs, 7 – forests, 8 – permanent grassland, 9 – green areas, 10 – orchards and private gardens, 11 – arable land, 12 – impermeable areas (buildings, roads, parking lots etc.)

bez stałych obserwacji (Obwodnica – zamyka zalesioną całkowicie górną część zlewni Silnicy) średnio raz na 2–3 tygodnie prowadzono m.in. pomiary: natężenia przepływu, koncentracji zawiesiny i przewodności właściwej wody. Ekspedycyjnie pomiary wykonywano ponadto w kilku innych miejscach ww. rzek oraz na dopływach i kanałach. W okresie badań przeprowadzono około 90 serii pomiarowych zmierzających do określenia składu chemicznego wody i składu mechanicznego zawiesiny. W wybranych sytuacjach hydrologicznych dodatkowo wykonywano pomiary natężenia wleczenia (20–25 serii) za pomocą łapaczki PIHM-C. Jednocześnie w sześciu profilach (w sezonie letnim od maja do października) prowadzono pomiary limnigraficzne, a w czterech pluwiograficzne. W okresie badań wykonano również trzykrotne kartowanie koryt rzecznych. Stacjonarne badania hydrologiczne i ekspedycyjne fluwialne kontynuowano w latach 2002–2003.

Według Gutry-Koryckiej (2003) wieloelementowy wskaźnik stabilności obszarowej zlewni, uwzględniający m.in. złożoność systemu obszaru zurbanizowanego, może być wykorzystywany w modelach hydrologicznych. Postać wskaźnika może być uproszczona poprzez uwzględnienie tylko wybranych cech, np. ilościowych czy też jakościowych:

$$u_s = \frac{O + PO + A \times TTP + B \times L + C \times V}{Z + P} \times K \times G \times Q$$

gdzie:  $O$  – powierzchnia gruntów ornych (km<sup>2</sup>),  
 $PO$  – powierzchnia obszarów naturalnych (km<sup>2</sup>),  
 $A$  – współczynnik określający udział łąk i pastwisk (użytki zielone),  
 $TTP$  – powierzchnia łąk i pastwisk wraz z powierzchnią ogródków działkowych, sadów, parków, skwerów, cmentarzy, zieleńców (km<sup>2</sup>),  
 $B$  – współczynnik udziału powierzchni zalesionych,  
 $L$  – powierzchnia lasów (km<sup>2</sup>),  
 $C$  – współczynnik udziału powierzchni wód otwartych,  
 $V$  – powierzchnia wód otwartych (km<sup>2</sup>),  
 $Z$  – powierzchnia zabudowana (km<sup>2</sup>),  
 $P$  – powierzchnia zabudowy przemysłowej (km<sup>2</sup>),  
 $K$  – współczynnik rozczłonkowania terenu (powierzchniowego i podziemnego),  
 $G$  – współczynnik zależny od zaludnienia,  
 $Q$  – współczynnik określający jakość środowiska.

Szczegółowy opis metody obliczania elementów, charakteryzujących zagospodarowanie poszczególnych zlewni, znajduje się w pracy Gutry-Koryckiej (2003).

## Wyniki badań

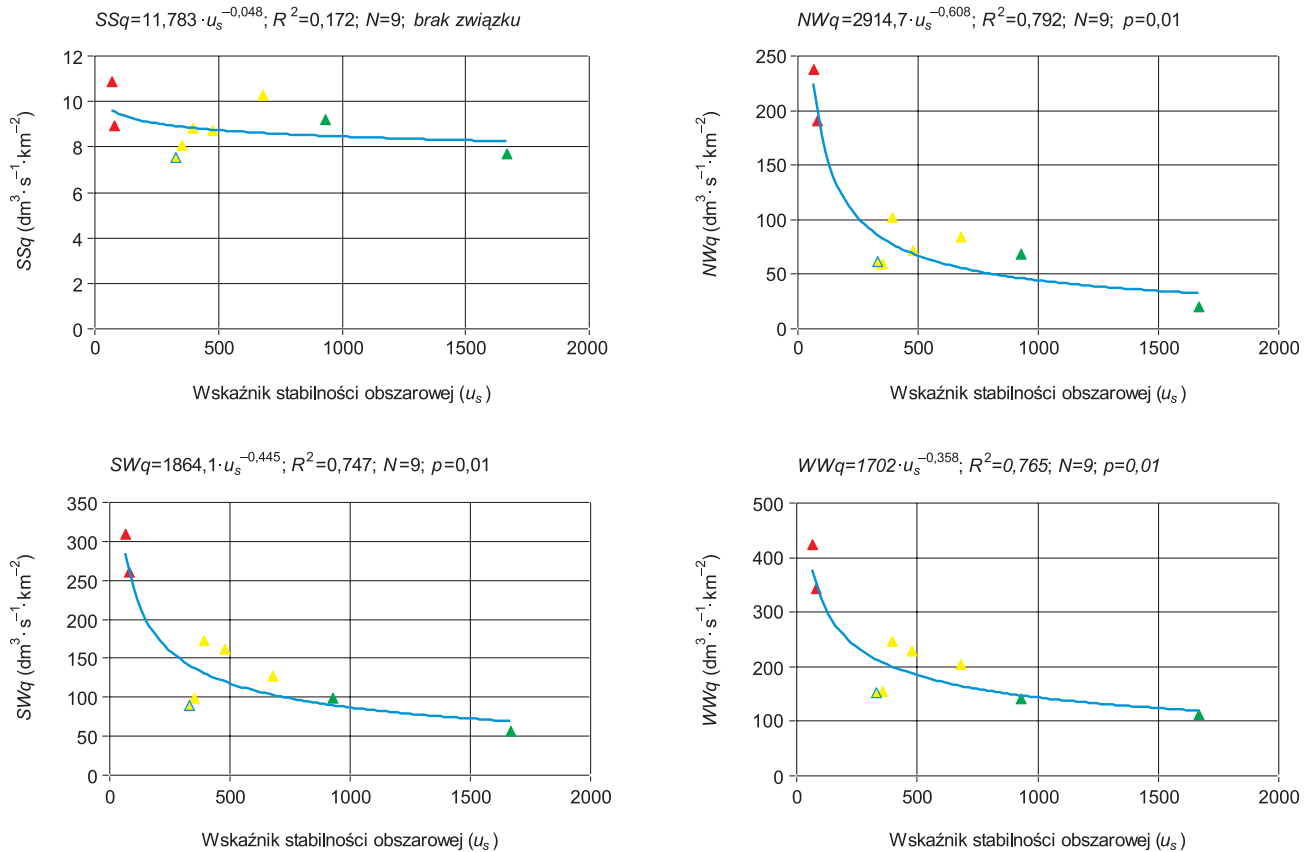
Wskaźnik stabilności obszarowej zlewni, bez uwzględniania parametru  $G$  i  $Q$ , określono dla wszystkich badanych zlewni cząstkowych (tab. 1).

Generalnie wraz z przyrostem powierzchni zlewni Sufragańca i Silnicy, tj. w kierunku jak wzrasta stopień zagospodarowania, a zatem i antropopresji, następuje bardzo wyraźne zmniejszanie wartości omawianego wskaźnika (odpowiednio: 931–395 i 1669–68). W zalesionych, górnych zlewniach cząstkowych Sufragańca i Silnicy osiągał wartości od 1669 do 931 (odpowiednio: Obwodnica i Grzeszyn), a w zurbanizowanych od 68 do 80 (odpowiednio: Pakosz i Białogon) (Ciupa 2009).

W badanych zlewniach określono związek między wskaźnikiem stabilności obszarowej zlewni –  $u_s$  a wybranymi charakterystycznymi odpływami jednostkowymi –  $SSq$ ,  $NWq$ ,  $SWq$ ,  $WWq$  (9 przekrojów hydrometrycznych, w tym 8, gdzie prowadzono badania stacjonarne, a 1 – niestacjonarne). W pierwszym przypadku ( $u_s - SSq$ ) nie stwierdzono istotnego statystycznie związku, a w kolejnych – związek ten przybliżają równania potęgowe przy dość wysokich współczynnikach determinacji ( $R^2$  od 0,747 do 0,792) istotnych na poziomie 0,01 (ryc. 2). Wynika z tego, że sposób zagospodarowania badanych zlewni, charakteryzowany w niniejszej pracy przez wskaźnik  $u_s$ , ma istotny wpływ na kształtowanie się odpływu jednostkowego jedynie w strefie stanów wysokich (Ciupa 2009).

Określono również związek między wskaźnikiem  $u_s$  a wybranymi charakterystykami transportu fluwialnego, tj. średnią roczną koncentracją materiału rozpuszczonego –  $Cd$  i zawiesiny –  $Cs$ . W pierwszym przypadku związek ten opisuje równanie logarytmiczne, a w drugim – potęgowe. W obu otrzymano wysokie wartości współczynnika determinacji  $R^2$  (odpowiednio: 0,929 i 0,805) na poziomie istotności 0,01 i 0,001. Średnia roczna koncentracja materiału rozpuszczonego i zawiesiny była największa w przekrojach Pakosz ( $Cd = 566,7$  i  $Cs = 38,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) i Białogon ( $Cd = 502,1$  i  $Cs = 34,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), tj. zamykających zlewnie zurbanizowane, gdzie wskaźnik stabilności obszarowej ( $u_s$ ) osiągał najmniejsze wartości (odpowiednio: 68 i 80). Z kolei w zlewniach leśnych (Grzeszyn i Obwodnica) związek ten kształtował się odwrotnie (ryc. 3). Potwierdza to bardzo dużą rolę charakteru zagospodarowania zlewni w procesach dostawy materiału do koryt i transportu fluwialnego w badanych zlewniach. Wysoką i istotną statystycznie zależność średniej rocznej koncentracji materiału rozpuszczonego i zawiesiny stwierdzono również w odniesieniu do innych, nie prezentowanych w pracy parametrów charakteryzujących stan zagospodarowania i przekształcenia powierzchni terenu.

W badanych przekrojach pomiarowych określono też związek między analizowanym wskaźnikiem ( $u_s$ ) a wartościami średniego rocznego wskaźnika chemicznej ( $ld$ ) i mechanicznej ( $ls$ ) denudacji jednostkowej. Związek ten opisuje także równanie logarytmiczne i potęgowe przy dość wysokich współczynnikach determinacji (odpowiednio: 0,845 i 0,805)



**Ryc. 2.** Związek między wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a wybranymi charakterystycznymi odpływami jednostkowymi w latach 1998–2003

$SSq$  – średni ze średnich rocznych odpływów jednostkowych z wielolecia,  $NNq$  – najmniejszy z największych rocznych odpływów jednostkowych z wielolecia,  $SWq$  – średni z największych rocznych odpływów jednostkowych z wielolecia,  $WWq$  – największy odpływ jednostkowy z wielolecia

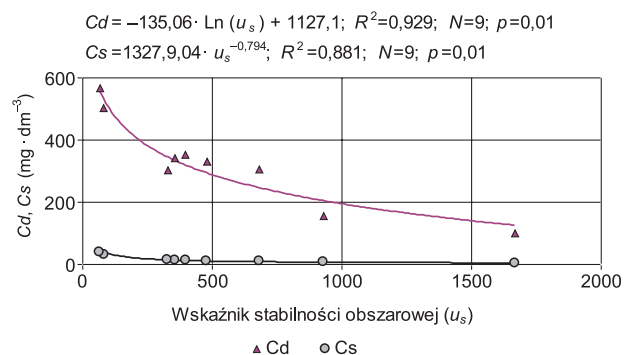
**Fig. 2.** The relationship between catchment area stability index ( $u_s$ ) use in the Sufraganiec and Silnica river sub-catchments and characteristic specific runoff

$SSq$  – Average specific runoff,  $NNq$  – Minimum annual specific runoff,  $SWq$  – Average of maximal annual specific runoff,  $WWq$  – Maximum annual specific runoff

istotnych na poziomie 0,01. Podobnie, jak już wcześniej wielokrotnie stwierdzono, punkty reprezentujące zlewnie leśne grupują się w dolnej części wykresów, podmiejskie i rolnicze – w środkowej, a zurbanizowane – w górnej. Przedstawione równania i ich graficzne obrazy w postaci wykresów pozwalają w badanych zlewniach prognozować wzrost wartości wskaźników chemicznej i mechanicznej denudacji jednostkowej w miarę obniżania się wartości wskaźnika stabilności obszarowej ( $u_s$ ) w warunkach intensyfikacji zagospodarowania zlewni (ryc. 4).

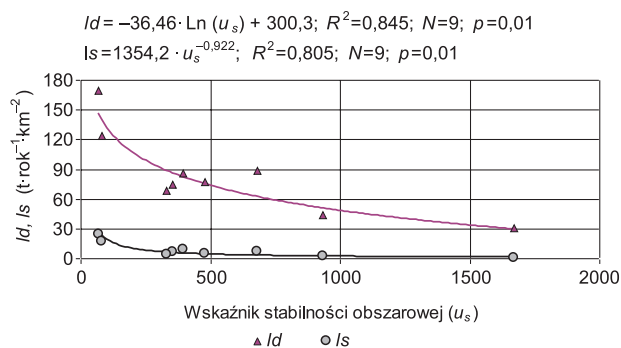
W badanych zlewniach określono również związki pomiędzy wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a średnim rocznym udziałem procentowym transportowanych ładunków: materiału rozpuszczonego ( $Ld$ ), zawiesiny ( $Ls$ ) i dennego ( $Lb$ ). W tym pierwszym przypadku opisuje je równanie potęgowe, a współczynnik determinacji  $R^2$  osiągnął 0,899 na poziomie istotności 0,01, a w drugim – równania liniowe przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,787$  na poziomie istotności 0,01 (ryc. 5). Najślabszy związek ( $R^2 = 0,407$ ), również liniowy, na poziomie istotności 0,1

stwierdzono pomiędzy wartościami  $u_s$  i  $Lb$ . Zauważono, że wraz ze zmniejszaniem się wartości



**Ryc. 3.** Związek między wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a średnią roczną koncentracją materiału rozpuszczonego ( $Cd$ ) i zawiesiny ( $Cs$ ) w zlewni Sufragańca i Silnicy w latach 1998–2001

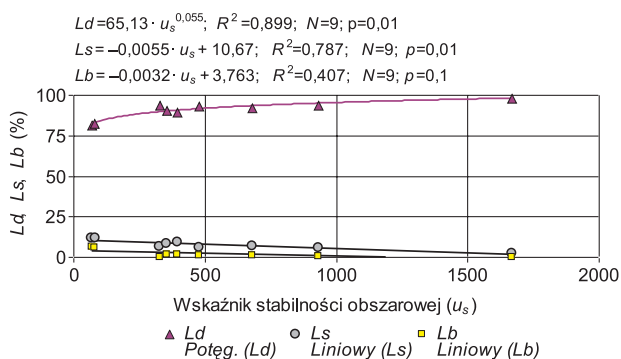
**Fig. 3.** The relationship between catchment area stability index ( $u_s$ ) and mean annual suspended sediment concentration ( $Cs$ ) and total dissolved solid concentration ( $Cd$ ) in the Sufraganiec and Silnica river sub-catchments from 1998 to 2001



**Ryc. 4.** Związek między wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a średnim rocznym wskaźnikiem chemicznej ( $ld$ ) i mechanicznej ( $ls$ ) denudacji jednostkowej w latach 1998–2001 w zlewni Sufragańca i Silnicy

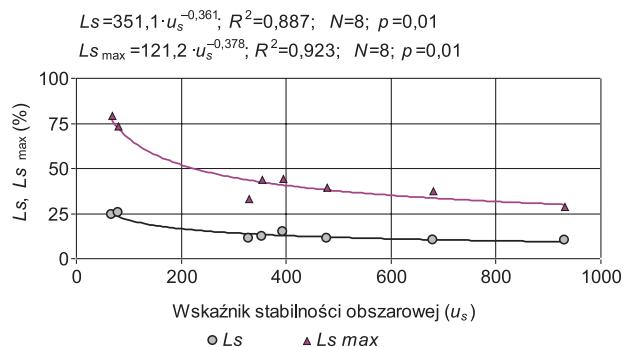
**Fig. 4.** The relationship between catchment area stability index ( $u_s$ ) and mean chemical ( $ld$ ) and mechanical ( $ls$ ) denudation in the Sufraganiec and Silnica river sub-catchments from 1998 to 2001

analizowanego wskaźnika ( $u_s$ ) następowało zmniejszanie się średniego rocznego udziału ładunku materiału rozpuszczonego (od 98% – Obwodnica do 81,5% – Pakosz) w transporcie fluwialnym. Jednocześnie w tym samym kierunku następował wzrost udziału ładunku zawiesiny (od 1,9% – Obwodnica do 11,8% – Pakosz) i dennego (od 0% – Obwodnica do 6,7% – Pakosz). Największe odchylenia od linii trendu stwierdzono w przekroju Jesionowa, co wiąże się m.in. z wytrącaniem i absorpcją substancji chemicznych, a także z sedymentacją zawiesiny i rumowiska wlezonego w czaszy zbiornika. Przeprowadzone wyżej analizy dowiodły, że stosunek procentowy badanych ładunków, tj. materiału rozpuszczonego, zawiesiny i materiału dennego w poszczególnych przekro-



**Ryc. 5.** Związek między wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a średnim rocznym udziałem procentowym transportowanych ładunków: materiału rozpuszczonego ( $Ld$ ), zawiesiny ( $Ls$ ) i dennego ( $Lb$ ) w zlewni Sufragańca i Silnicy w latach 1998–2001

**Fig. 5.** The relationship between catchment area stability index ( $u_s$ ) and mean annual percentage of transported loads: dissolved solid ( $Ld$ ) and suspended sediment ( $Ls$ ) in the Sufraganiec and Silnica river catchments from 1998 to 2001



**Ryc. 6.** Związek między wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a występującym średnim ( $Ls$ ) i maksymalnym godzinowym ( $Ls_{max}$ ) udziałem ładunku zawiesiny w sumie ładunku zawiesiny i materiału rozpuszczonego podczas jedenastu wybranych wezbrań różnej genezy w latach 1998–2001

**Fig. 6.** The relationship between catchment area stability index ( $u_s$ ) in Sufraganiec and Silnica river sub-catchments and mean annual ( $Ls$ ) and maximum daily ( $Ls_{max}$ ) percentage of suspended sediment load in the total of transported suspended sediment and dissolved solid during 11 selected floods caused by a variety of factors from 1998 to 2001

jach badawczych Sufragańca i Silnicy był wyraźnie zróżnicowany i uwarunkowany sposobem zagospodarowania poszczególnych zlewni cząstkowych.

Obliczono również związki pomiędzy wskaźnikiem stabilności obszarowej ( $u_s$ ) a średnim i maksymalnym udziałem zawiesiny w sumie ładunku zawiesiny ( $Ls$ ) i materiału rozpuszczonego ( $Ld$ ), określonym podczas 11 wybranych wezbrań w przekrojach hydrometrycznych Sufragańca i Silnicy w latach 1998–2001. Związki te opisują równania potęgowe o współczynnikach determinacji  $R^2$  od 0,887 do 0,923 (odpowiednio dla wartości: średnich i maksymalnych) na poziomie istotności 0,01. Uzyskane wysokie współczynniki determinacji także i w tym wypadku potwierdzają fakt, że w miarę wzrostu intensywności zagospodarowania badanych zlewni cząstkowych wzrasta wyraźnie udział zawiesiny w sumie ładunków  $Ls$  i  $Ld$ , szczególnie w zakresie wartości maksymalnych (ryc. 6). Przeprowadzona analiza wskazuje, że w badanych zlewniach w miarę powiększania się powierzchni uszczelnionych, w tym dróg utwardzonych, oraz gęstości sieci dróg i kanałów będzie następował dalszy wzrost udziału ładunków zawiesiny podczas wezbrań – zarówno w zakresie wartości średnich, jak i maksymalnych.

## Wnioski

Wskaźnik stabilności obszarowej zlewni  $u_s$ :

- w zalesionych zlewniach cząstkowych Sufragańca i Silnicy, o stosunkowo małej antropopresji, osiągał wartości od 1669 do 931, a w zurbanizowanych od 68 do 80,

- nie wykazał związku ze średnim rocznym odpływem jednostkowym ( $SSq$ ), natomiast między charakterystycznymi odpływami jednostkowymi w zakresie wartości wysokich ( $NWq$ ,  $SWq$  i  $WWq$ ) związek ten był istotny statystycznie ( $R^2$  odpowiednio: 0,792, 0,747 i 0,765),
- wykazał wysoki związek między średnimi wartościami koncentracji materiału rozpuszczonego ( $Cd$ ) i zawiesiny ( $Cs$ ) oraz wskaźnikiem chemicznej ( $ld$ ) i mechanicznej ( $ls$ ) denudacji jednostkowej ( $R^2$  od 0,805 do 0,929),
- osiągnął dość wysoki związek między średnim rocznym udziałem procentowym transportowanych ładunków: materiału rozpuszczonego ( $Ld$ ) i zawiesiny ( $Ls$ ) zarówno w zakresie wartości średnich rocznych ( $R^2$  odpowiednio: 0,899 i 0,787), jak i podczas wezbrań,
- posiadający wartość w granicach 400–500, określoną na podstawie przebiegu linii wykresów – graficznych obrazów funkcji krzywoliniowych, wskazuje na znaczącą wówczas utratę stabilności obszarowej badanych zlewni,
- jest wieloelementowym, syntetycznym miernikiem określającym złożoność systemu obszaru zlewni, w tym użytkowanie ziemi, stopień antropopresji oraz system drenażu,
- może być wykorzystywany w modelach hydrologicznych, a także podczas analiz wybranych cech odpływu i transportu fluwialnego w małych zlewniach o zróżnicowanym zagospodarowaniu.

## Literatura

- Ciupa T., 2005. Wpływ użytkowania na transport zawiesiny w małych zlewniach na przykładzie Silnicy i Sufragańca (Kielce). W: A. Kotarba, K. Krzemień, J. Świąchowiec (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski*. IGI GP UJ, Kraków: 77–84.
- Ciupa T., 2009. *Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce)*. UJK, Kielce.
- Czaja S., 1999. Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej). Katowice, *Prace Nauk. UŚ* 1782.
- Froehlich W., 1975. Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. *Prace Geogr. IGI PAN* 114.
- Froehlich W., 1982. Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. *Prace Geogr. IGI PAN* 143.
- Gutry-Korycka M., 1993. Wpływ urbanizowania i uprzemysławiania. W: I. Dynowska (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*. Kraków, UJ: 344–354.
- Gutry-Korycka M., 2003. Możliwości modelowania odpływu ze zlewni zurbanizowanych i uprzemysławianych. W: T. Szczepke, M. Rzętała (red.), *Człowiek i woda*. PTG, Katowice–Sosnowiec 38–53.
- Hlavaček S., 1981. Reálne hodnocení krajiny s využitím mapových podkladů. Zév. práce postgr. studia. Stavební Fakulta ČVUT, Praha.
- Hojda K., 1974. Zmiany stosunków wodnych w obszarze silnie uprzemysłowionym na przykładzie zlewni Chechła. *Prace Geogr. UJ* 37: 21–34.
- Jankowski A.T., 1986. Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowianym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego). *Prace Naukowe UŚ* 868.
- Jankowski A.T., 1998. Antropogeniczne uwarunkowania obiegu wody na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W: A. Magnuszewski, U. Soczyńska (red.), *Hydrologia u progu XXI wieku*. Konferencja Hydrologiczna, Mądralin k. Warszawy, 24–27 września 1996. Komisja Hydrologiczna PTG, Warszawa: 139–156.
- Parzonka W., Głowski R., Kasperek R., 2002. Wpływ zmian użytkowania doliny Widawy w obrębie miasta Wrocławia na warunki przepływu w tej rzece. W: T. Ciupa, E. Kupczyk, R. Suligowski (red.), *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*. Prace Inst. Geogr. AŚ 7: 123–131.
- Rayzacher Z., 1989. Wpływ urbanizacji i uprzemysłowienia na zmiany hydrograficzne w obszarach miejskich Włocławka, Torunia, Chełma i Świecia. *Studia Soc. Sc. Torunensis* sec. C, 9, 5.
- Rohon P., 1980. Širiši rozhodovací proces vřizeni péče o clránená uzemi. *Pamat, a prir.* 2.
- Świecia A., 1998. Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu. *UMCS, Rozpr. Habil.* 61.