



Tadeusz Ciupa

Instytut Geografii
Akademia Świętokrzyska
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce
tciupa@pu.kielce.pl

Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe
Problemy Ekologii Krajobrazu, tom XVI
Warszawa 2006

Temperatura wód i występowanie zjawisk lodowych na rzekach odwadniających zlewnie o różnym sposobie użytkowania na przykładzie Silnicy i Sufragańca (Góry Świętokrzyskie)

Temperature of waters and icing phenomena in the rivers.
Draining river catchments of Silnica and Sufraganiec
(the Świętokrzyskie Mountains)

Abstract: This paper considers the influence of different landuse on spatial and temporal differentiation of the river waters and icing phenomena. Considerations are base in Silnica running through urban area of Kielce, and in the Sufraganiec draining the agricultural-woodland catchment. The lowest temperatures have been observed in the rivers draining the woodland catchments, whereas the highest temperatures have been observed within the urban region catchments. Urban areas change natural thermic balance of running waters causing an essential rise in temperature of those waters within all the temporal cycle ranges, daily, monthly, and yearly cycles. A mean yearly temperature of the river Silnica waters, runing throught the centre of Kielce, is higher by 2.4° to 3.5°C than the other river waters runing under natural conditions. Characteristics of landuse (covered surfaces, road surfaces, density of the drainage system including roads and storm cannals, water dams etc., seasonal agriculture activity, modifications of the river beds) might control or, at least, may modify space and temporal distribution of temperature of waters and icing phenomena in the rivers. Distortion of natural conditions of thermicity of the river waters in the urban areas is related to the following factors: 1. overheating of the river waters of a large, shallow, insolated river bed; 2. downflow of rain waters runing down insolated road surfaces or roofs, etc.; 3. influence of water dam which is a thermic reservoir for the whole year; 4. influence of covered storm cannals (with constant outflow) where the waters flowing out during summer are several degrees lower than those in the river, and during winter several degrees higher than in the river. Unaturally risen temperature of waters in the rivers of the urban areas leads to: acceleration of the vegetation period, increase of eutrophisation rate, biogeochemical changes, reduction of the constant and temporal ice cover, characteristics of fluvial transport and and conditions of sedimentation, and disruption of conditions of life of aquatic organisms.

Key words: temperature of river waters, landuse, urban region, antropopression, icing phenomena

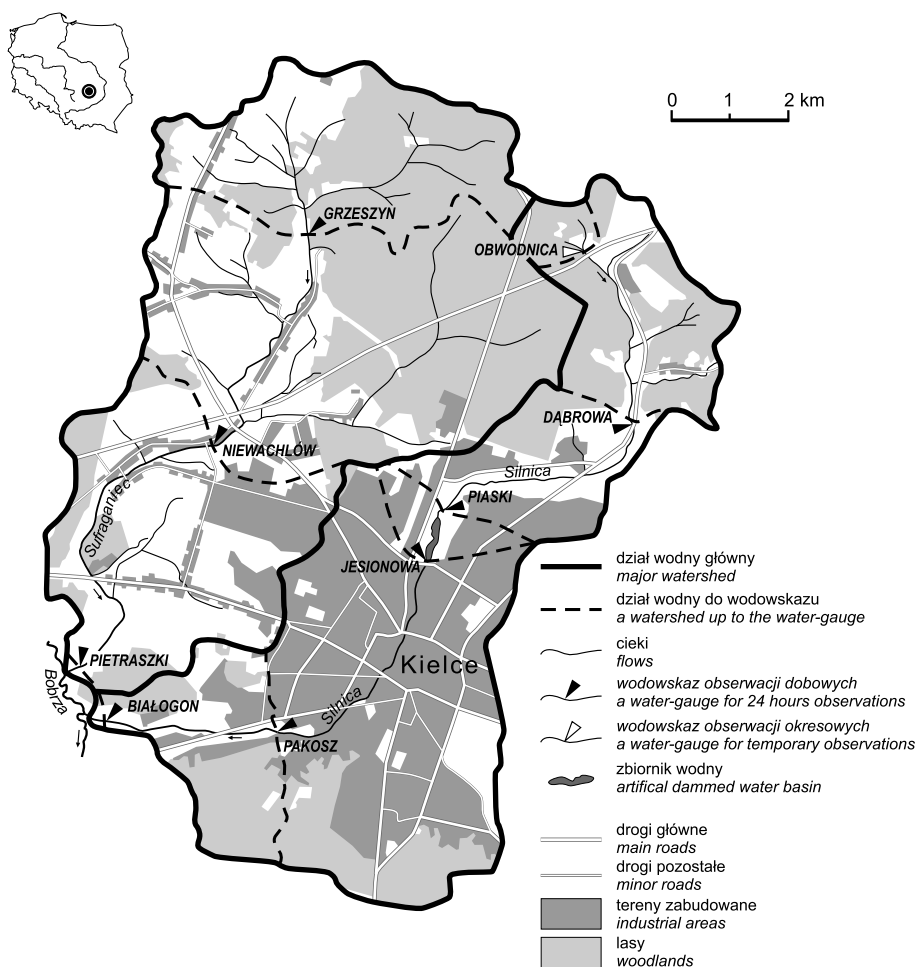
Słowa kluczowe: temperatura wód rzecznych, użytkowanie terenu, obszar zurbanizowany, antropopresja, zjawiska lodowe

Wstęp

Charakter użytkowania zlewni rzecznych i stan przekształcenia ich koryt istotnie kształtuje przebieg wielu procesów hydrologicznych oraz fluwialnych

(Froehlich 1982, Jankowski 1986, Kostrzewski, Mazurek, Zwoliński 1994, Świeca 1998), w tym temperaturę wód i przebieg zjawisk lodowych (Ciupa 2004). Temperatura wód wpływa z kolei na przebieg niektórych procesów hydrologicznych, fluwialnych i biologicznych.

Obszary miejskie, a także podmiejskie, zajmujące coraz większe powierzchnie, charakteryzują się podwyższoną temperaturą powietrza. Na tle terenów sąsiednich stanowią one „wyspy ciepła” (Fortuniak 2003, Szponar 2003). Czy problem ten odnosi się tu również do wód rzecznych?



Ryc. 1. Położenie i użytkowanie zlewni rzeki Silnicy i Sufragańca

Fig. 1. Position and man (agricultural) use of catchments of the rivers Silnica and Sufraganiec

Celem pracy jest ukazanie wpływu użytkowania zlewni na termikę wód rzecznych na przykładzie Silnicy przepływającej przez zurbanizowane tereny Kielc, oraz rzeki Sufraganiec odwadniającej podmiejską zlewnię rolniczo-leśną.

Do badań wybrano położone obok siebie, w obrębie strefy miejskiej i podmiejskiej Kielc, dwie zlewnie o podobnej powierzchni, budowie geologicznej, rzeźbie terenu, ale różnym użytkowaniu ziemi (Ciupa 2001) (ryc. 1).

Teren badań

Powierzchnia zurbanizowanej zlewni rzeki Silnicy wynosi 49,40 km², a rolniczo-leśnej zlewni Sufragańca – 62,01 km² (ryc. 1). W ich obrębie wydzielono jeszcze zlewnie cząstkowe o różnym charakterze użytkowania. Górną część zlewni Silnicy prawie w całości zajmują lasy i łąki. Poniżej występuje wzrost udziału terenów antropogenicznych (zabudowania, drogi, parkingi, itd.), a zatem uszczelnionych, nieprzepuszczalnych i szybko nagrzewających się (ryc. 1, tab. 1). W wydzielonych zlewniach udział powierzchni o zmienionym użytkowaniu jest znaczny. Pomiędzy profilami Piaski i Jesionowa znajduje się przepływowy zbiornik retencyjny o powierzchni 10,5 ha i pojemności 170 000 m³. W zlewni, do profilu Pakosz, który położony jest poniżej centrum Kielc, udział terenów „zakrytych” wzrasta aż do 30,2%. Poniżej, tj. do profilu ujściowego (Białogon), występuje niewielki wzrost powierzchni lasów i łąk, a powierzchnie „zakryte” zmniejszają się do 27,6%.

W zlewni rzeki Sufraganiec udział lasów w poszczególnych zlewniach cząstkowych zmniejsza się od 65,5% (Grzeszyn) do 46,7% (Pietraszki), zaś powierzchnie „zakryte” zwiększają się od 1,72% do 6,70%.

Rzeki Silnica i Sufraganiec, o długości odpowiednio 18,05 km i 16,13 km i średnim spadku 7,3 ‰ oraz 8,3 ‰, mają charakter rzek górskich.

Tab. 1. Powierzchnia zlewni cząstkowych Silnicy i Sufragańca (A) i udział procentowy wybranych rodzajów użytków

Tab. 1. The surface area of catchments (A) and selected agricultural use of the rivers Silnica and Sufraganiec

Powierzchnia (A), rodzaje użytków	Zlewnia Silnicy						Zlewnia Sufragańca		
	Obwod- nica	Dąbro- wa	Piaski	Jesio- nowa	Pakosz	Biało- gon	Grze- szyn	Niewa- chlów	Pietra- szki
A (km ²)	1,465	9,23	15,49	17,88	42,62	49,38	13,61	42,25	62,01
las (‰)	95,15	72,9	51,2	44,9	29,6	32,7	65,5	59,0	46,7
tereny zakryte (uszczelnione) (‰)	0,28	4,6	12,7	17,4	30,2	27,5	1,7	3,4	6,7
pozostałe (‰)	4,57	22,5	36,1	37,7	40,2	39,8	32,8	37,6	46,6

Metody badań

W latach hydrologicznych 1998–2001 w ośmiu profilach hydrometrycznych (Silnica – 5, Sufraganiec – 3) prowadzono codzienne pomiary temperatury wody o godz. 7⁰⁰, wykorzystując termometry elektroniczne. W profilu Pakosz, położonym poniżej centrum Kielc, pomiary te prowadzono również o godz. 18⁰⁰. W profilach omawianych rzek, w latach 1998–2003 podczas badań terenowych odbywających się średnio raz na 2–3 tygodnie, wykonywano również pomiary temperatury wody. Dodatkowo badania te wykonywano w profilu Obwodnica na Silnicy (profil bez stałych obserwacji zamykający całkowicie zalesioną górną część zlewni Silnicy) oraz w rowie przydrożnym i kanale zakrytym ze stałym odpływem.

We wszystkich profilach podczas wybranych wezbrań wykonano kilkanaście serii pomiarowych, podczas których mierzono temperaturę wód z częstotliwością co 1–2 godziny.

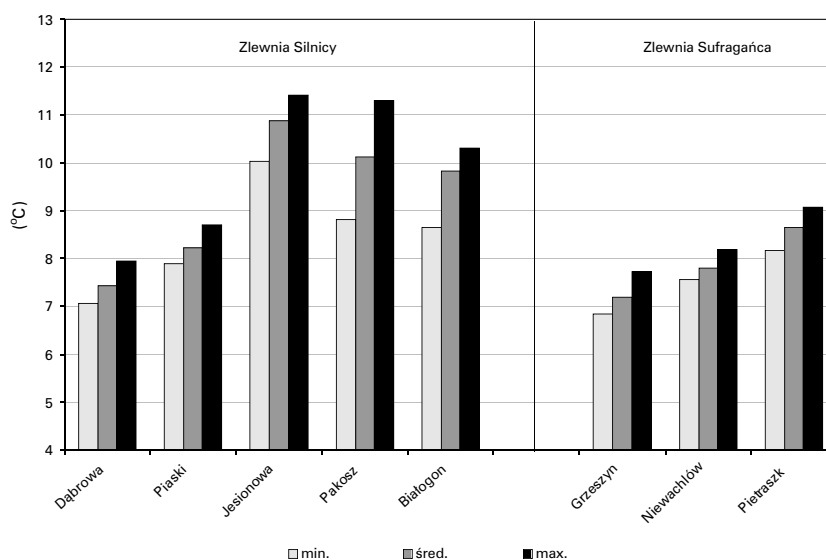
Wyniki

Średnia roczna temperatura wody rzeki Silnicy w latach 1998–2001, począwszy od najwyższej położonych profili, tj. Obwodnica (7,1°C) i Dąbrowa (7,4°C), bardzo szybko wzrastała w dół rzeki, osiągając 10,9°C w profilu Jesionowa (poniżej zbiornika retencyjnego). Wzrost ten wynika z narastania różnokierunkowej antropopresji, w tym oddziaływania zbiornika wodnego (ryc. 2, 3), którego wody ulegają szybkemu nagrzewaniu. Prawie przez cały rok wpływa on na podwyższanie temperatury wód rzeki Silnicy. Poniżej tego profilu następowało stopniowe obniżanie średniej rocznej temperatury wody Silnicy aż do 9,8°C w profilu ujściowym (Białogon). Na tym odcinku do koryta Silnicy dochodzą liczne zakryte kanały, którymi dopływa woda o temperaturze na ogół odmiennej od temperatury wody rzecznej. W zimie jest ona o kilka stopni wyższa od wody w rzece, a latem jest odwrotnie. Woda wypływająca z kanałów burzowych wyraźnie wpływa na przebieg temperatury wody rzeki Silnicy w jej środkowym i dolnym biegu, tj. na odcinku położonym w centrum Kielc i poniżej. W kierunku ujścia Silnicy zmniejsza się nieco wpływ antropopresji (mniej terenów zakrytych, kanałów burzowych i wybetonowanych koryt, a więcej powierzchni leśnych) co skutkuje wyraźnym wychładzaniem się wód rzecznych, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym.

W rzece Sufraganiec temperatura wody w górnym odcinku była bardzo zbliżona do temperatury wody w korycie Silnicy w profilu Obwodnica i Dąbrowa. Górne części obydwu zlewni są w znacznej części zalesione, a tereny zabudowane stanowią niewielki odsetek. W odcinku ujściowym Sufragańca, zasilanym częściowo wodami spływającymi z zachodnich dzielnic Kielc, stwierdzono również dość znaczny wzrost temperatury wody.

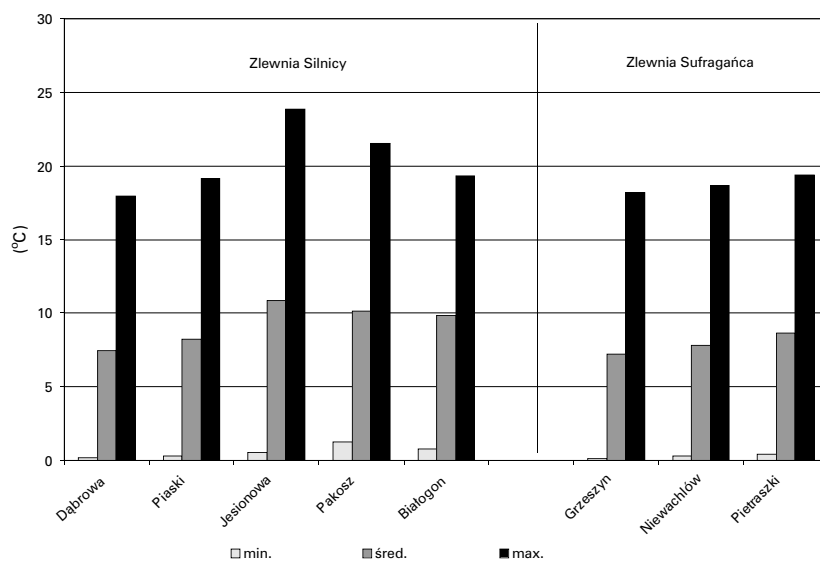
W latach 1998–2001 średnia roczna temperatura wody w odcinku ujściowym rzeki Silnicy była o 1,1°C wyższa niż w Sufragańcu.

Latem woda płynąca cienką warstwą w odsłoniętym korycie w centrum miasta, pomimo dopływu chłodnych wód kanałami burzowymi, znacznie się



Ryc. 2. Średnia roczna temperatura wody w profilach hydrometrycznych rzeki Silnicy i Sufragańca w latach 1998–2001

Fig. 2. Mean monthly water temperature at hydrometric sections of the rivers Silnica and Sufragańca in years 1998–2001



Ryc. 3. Charakterystyczna miesięczna temperatura wody w profilach hydrometrycznych rzeki Silnica i Sufragańca w latach 1998–2001

Fig. 3. Characteristic monthly water temperature at hydrometric sections of the rivers Silnica and Sufragańca in years 1998–2001

nagrzewa, przekraczając niekiedy 30°C. Obserwuje się tu również duże zróżnicowanie dobowe. W profilu Pakosz temperatura wody o godz. 18⁰⁰ była na ogół znacznie wyższa od tej z godz. 7⁰⁰. Nieproporcjonalnie szerokie koryta o mało zmiennej geometrii powodują, że przy niskich stanach woda płynie tu cienką warstwą, co w połączeniu ze słabym zacienieniem doprowadza do tego, że latem w dni słoneczne temperatura wody na tych odcinkach jest niekiedy wyższa nawet o 12–15°C niż w odcinkach naturalnych.

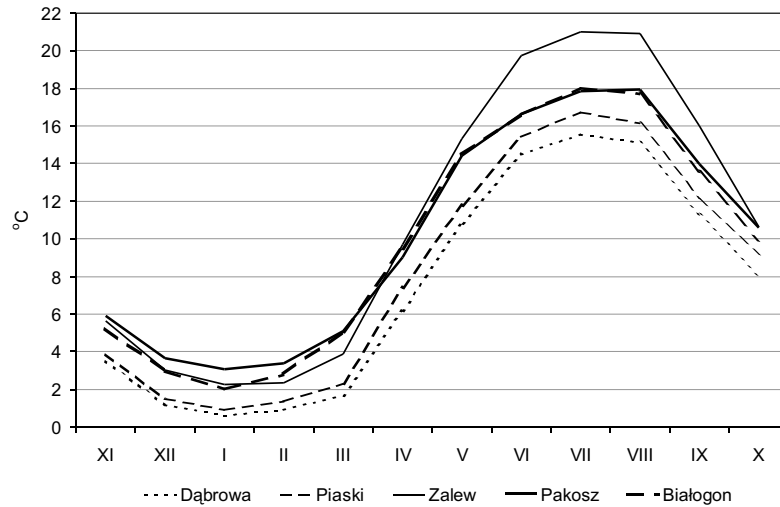
W cyklu rocznym wysokość temperatury wód omawianych rzek wykazuje również istotne różnice (ryc. 4, 5). Przestrzenny i czasowy rozkład temperatury wód rzecznych wyraźnie nawiązuje do charakteru użytkowania terenu poszczególnych zlewni cząstkowych, przeobrażenia koryt rzecznych, gęstości sieci drenażowej itd.

Przebieg średniej rocznej temperatury wody w profilach pomiarowych, zamykających poszczególne zlewnie cząstkowe, wyraźnie nawiązuje do charakteru ich użytkowania. Intensywność zagospodarowania zlewni rzecznych mogą określać różnorodne wskaźniki. Do analizy wybrano: udział procentowy terenów zakrytych (uszczelnionych), powierzchnię dróg utwardzonych i gęstość dróg utwardzonych oraz kanałów burzowych (zakrytych i odkrytych).

Związek między wymienionymi parametrami charakteryzującymi badane zlewnie, a średnią roczną temperaturą wody opisują równania potęgowe przy dość wysokim współczynniku korelacji (odpowiednio $r = 0,884$, $r = 0,789$ i $r = 0,824$ na poziomie istotności $p = 0,05$). Z przedstawionych wykresów wynika, że najbardziej od krzywej odbiega punkt reprezentujący zlewnię poniżej zbiornika wodnego (profil Jesionowa). Potwierdza to wcześniejsze wnioskowanie o dużym jego wpływie na kształtowanie temperatury wody w rzece Silnicy (ryc. 6, 7, 8).

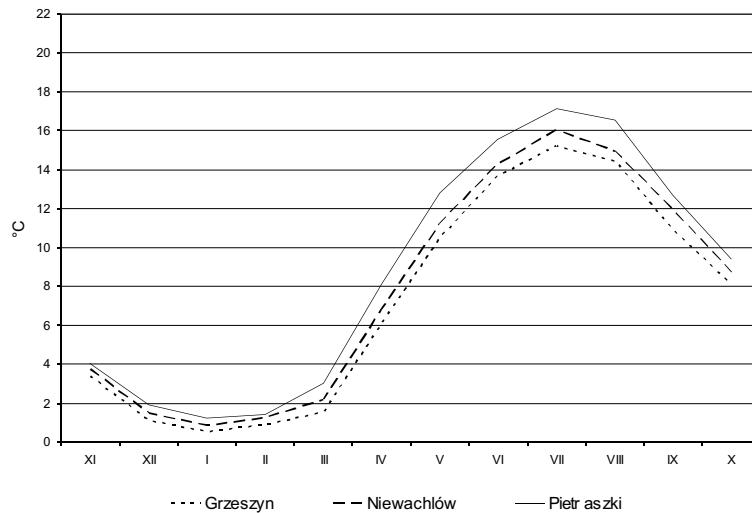
Omówione antropogeniczne uwarunkowania znacznego wzrostu temperatury wód rzecznych na obszarach zurbanizowanych w stosunku do terenów rolniczo-leśnych mają również swoje odzwierciedlenie w występowaniu zjawisk lodowych. Najwięcej dni ze stałą pokrywą lodową i z lodem brzegowym występuje w górnych odcinkach badanych rzek. W profilach hydrometrycznych rzeki Silnicy zlokalizowanych poniżej zbiornika wodnego oraz na terenie zurbanizowanym (odpowiednio profile Jesionowa i Pakosz) występowanie zjawisk lodowych, zwłaszcza stałej pokrywy, jest sporadyczne. W odcinku ujściowym Silnicy obserwuje się dość szybkie wychładzanie wód rzecznych, co powoduje wzrost ilości dni ze stałą i brzegową pokrywą lodową (ryc. 9).

W zlewniach zurbanizowanych dochodzi bardzo często do zachwiania naturalnych warunków kształtowania temperatury wód rzecznych. Przejawia się to na ogół znacznym i skokowym wzrostem temperatury wody w profilach podłużnych rzek. Wzrost temperatury wody z kolei powoduje przyspieszenie okresu wegetacyjnego, wzrost eutrofizacji, zmiany biochemiczne, a to znajduje odzwierciedlenie w transporcie fluwialnym cząstek rozpuszczonych i stałych, a w okresie zimowym – znacznym stopniem redukcji zjawisk lodowych.



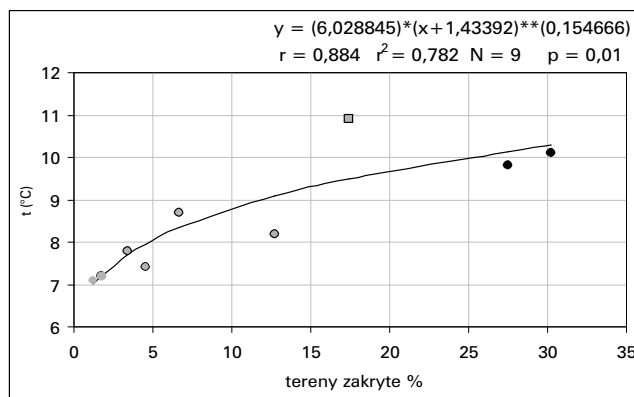
Ryc. 4. Średnia miesięczna temperatura wody w profilach pomiarowych rzeki Silnicy w latach 1998–2001

Fig. 4. Mean monthly temperature of water flow in the road ditch and cannal covered in years 1998–2001



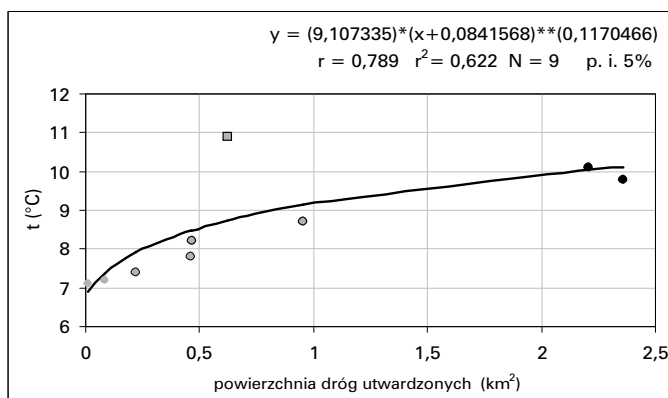
Ryc. 5. Średnia miesięczna temperatura wody w profilach pomiarowych rzeki Sufraganiec w latach 1998–2001

Fig. 5. Mean monthly temperature of water flow at the measured sections of the rivers Silnica and Sufraganiec in years 1998–2001



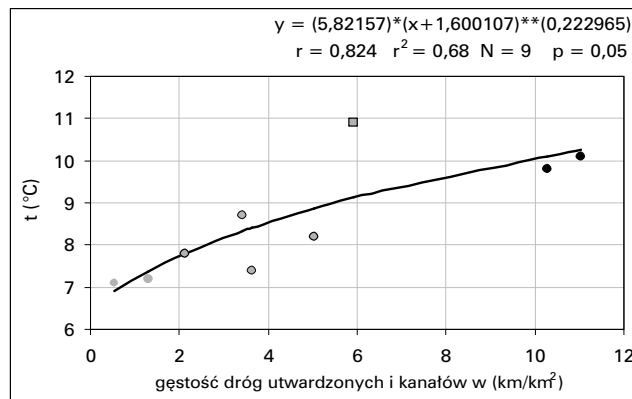
Ryc. 6. Związek między udziałem procentowym powierzchni zakrytych w poszczególnych zlewniach cząstkowych (%) a średnią roczną temperaturą wody (t) rzek Silnicy i Sufraganiec w latach 1998–2001. (Punkty: szare – zlewnie leśne, szare z obwódką – zlewnie podmiejskie i rolnicze, czarne – zlewnie zurbanizowane, kwadrat – profil poniżej zbiornika)

Fig. 6. Relationship between percentage of covered areas in the particular catchments and a mean yearly temperature (t) of the rivers Silnica and Sufraganiec waters in the years 1998–2001. (Points: grey – woodland catchments, grey with outline – urban outskirts and agricultural catchments, black – urban area catchments, rectangle – section below the water dam)



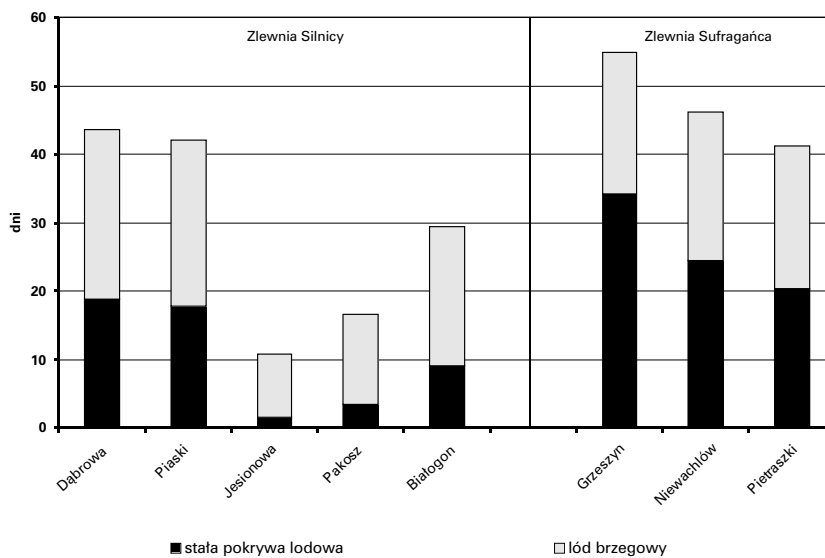
Ryc. 7. Związek między powierzchnią dróg utwardzonych w poszczególnych zlewniach cząstkowych a średnią roczną temperaturą wody (t) rzek Silnicy i Sufraganiec w latach 1998–2001. (Punkty: szare – zlewnie leśne, szare z obwódką – zlewnie podmiejskie i rolnicze, czarne – zlewnie zurbanizowane, kwadrat – profil poniżej zbiornika)

Fig. 7. Relationship between a cumulative surface of stabilised roads in the particular catchments and a mean yearly temperature (t) of the rivers Silnica and Sufraganiec waters in the years 1998–2001. (Points: grey – woodland catchments, grey with outline – urban outskirts and agricultural catchments, black – urban area catchments, rectangle – section below the water dam)



Ryc. 8 Związek między gęstością dróg utwardzonych i kanałów burzowych (zakrytych i odkrytych) a średnią roczną temperaturą wody (t) rzek Silnicy i Sufraganiec w latach 1998–2001. (Punkty: szare – zlewnie leśne, szare z obwódką – zlewnie podmiejskie i rolnicze, czarne – zlewnie zurbanizowane, kwadrat – profil poniżej zbiornika)

Fig. 8. Relationship between density of stable roads and storm canals in the particular catchments and a mean yearly temperature (t) of the rivers Silnica and Sufraganice waters in the years 1998–2001. (Points: grey – woodland catchments, grey with outline – urban outskirts and agricultural catchments, black – urban area catchments, rectangle – section below the water dam)



Ryc. 9. Średnia roczna ilość dni ze stałą pokrywą lodową i z lodem brzegowym w profilach hydrometrycznych rzeki Silnicy i Sufraganica w latach 1998–2001

Fig. 9. Mean yearly days of the permanent ice cover against ice cover adjacent to banks of rivers at the hydrometric sections of the Silnica and Sufraganice in years 1998–2001

Wnioski

Tereny zurbanizowane zmieniają naturalną termikę wód płynących powodując znaczny wzrost temperatury w zakresie wszystkich charakterystyk w cyklu dobowym, miesięcznym i rocznym.

Średnia roczna temperatura wody rzeki Silnicy, przepływającej przez centrum Kielc, jest wyższa od 3,5°C do 2,4°C niż w odcinkach rzek zbliżonych do naturalnych.

Zachwianie naturalnych warunków kształtowania temperatury wód rzecznych na terenie zurbanizowanym wynika, m.in. z:

- nadmiernego nagrzewania się wód rzecznych w szerokim, płytkim i niezacienionym korycie,
- spływu wód opadowych po rozgrzanych powierzchniach dróg, dachów itd.,
- wpływu zbiornika wodnego, który jest rezerwuarem ciepła prawie przez cały rok,
- wpływu zakrytych kanałów burzowych (ze stałym odpływem), którymi latem wypływają wody o temperaturze kilka stopni niższej niż w rzece, a w zimie zaś o kilka stopni wyższej.

Podwyższona temperatura wody w rzekach terenu zurbanizowanego przyczynia się m.in. do: przyspieszenia okresu wegetacyjnego, wzrostu eutrofizacji, zmian biochemicznych, redukcji stałej i okresowej pokrywy lodowej, kształtowania w pewnym stopniu transportu fluwialnego i warunków sedymentacji, zakłócenia warunków życia organizmów wodnych.

Literatura

- Ciupa T., 2001: *Funkcjonowanie systemu fluwialnego Silnicy i Sufragańca w strefie miejskiej Kielc* [w:] Karczewski A., Zwoliński Z. (red.), *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych*. Monitoring-ochrona-edukacja: 103–113.
- Ciupa T., 2004: *Termiczne zróżnicowanie wód rzecznych w zlewni zurbanizowanej i rolniczo-leśnej na przykładzie Silnicy i Sufragańca (Kielce)* [w:] Kostrzewski A. (red.), *XV Sympozjum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego nt. Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji*, Instytut Badań Czwartorzędu i Geoekologii UAM, Poznań: 23–24.
- Fortuniak K., 2003: *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, modele numeryczne i statystyczne*. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 1–233.
- Froehlich W., 1982: *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej*. „Prace Geogr. IG i PZ PAN”, z. 143.
- Jankowski A.T., 1986: *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysławianym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*. Wyd. UŚ, Katowice.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994: *Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni*. SGP Poznań: 165.
- Szponar A., 2003: *Fizjografia urbanistyczna*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Świeca A., 1998: *Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu*. Wyd. UMCS, Lublin.
- Trząski L., Molenda T., Kupka R., 2000: *Renaturyzacja miejskiego potoku – program dla Ślepotki*. Problemy Ekologii, vol. 4, nr 1.