

Wpływ użytkowania zlewni na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie wartości pH i stężenia tlenu w wodach rzeki Silnicy i Sufragańca (Kielce)

The impact of landuse on the spatial and temporal differentiation of pH values and concentrations of oxygen in the waters of the Silnica and Sufraganiec river (Kielce)

Tadeusz Ciupa

Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego, Instytut Geografii, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, e-mail: tciupa@ujk.kielce.pl

Abstract: The paper presents the impact of urbanized area in the spatial and temporal differentiation of potential hydrogen ions pH and concentration of oxygen in waters of the Silnica and Sufraganiec rivers. The catchments of the rivers are located within the urban and suburban area of Kielce. They have a similar size of the area, geological structure and relief, but differ in landuse. The urbanized Silnica catchment area is 49.40 km², a forest-agricultural Sufraganiec catchment is 62.01 km². These hydrographic units are divided into to sub-catchments with different landuses.

The average annual potential of hydrogen ions (pH), increased along with the length of the rivers. It had the values from 7.2 to 7.9 pH in the Sufraganiec river channel and from 5.3 to 8.4 pH values in Silnica river channel. Extreme values were respectively 3.9–9.8 and 3.0 10.7 pH. The highest pH values were found in cross-section of urbanized sub-catchments. These were the areas with significant pollution of surface water (Pakosz, Białogon). The lowest pH values occurred in the cross-section below wooded catchments and partially marshy (Obwodnica and Grzeszyn). This spatial distribution of pH values is also confirmed in a monthly arrangement. The lowest annual pH values were recorded in January and the highest in August.

The concentration of oxygen showed a growing trend from the sources of the rivers to their mouths. The average annual value ranged from 9.5 (Niewachłów) to 10.5 (Pietraszki) in the waters of the Sufraganiec river and in Silnica waters from 6.2 to 11.2 (Pakosz). Both rivers have the increase in concentration of oxygen since November or October until March. However, the concentration of oxygen increased in cross-section urbanized sub-catchments – to April. The decrease of the analyzed concentration occurred to June (in most profiles). In July and August the concentration of oxygen, in general, was increasing again, particularly in the middle and lower cross-sections Silnica river (within and below the urbanized area) as well as in mouth section of the Sufraganiec river. At that time, mainly due a high pollution of biogenic substances present, there in the coastal zone of the river there were huge quantities of hydrogenic plants and algae in river bed. Intensive dissolution of oxygen in river waters (produced in the process of photosynthesis) and the impact of detergents favoured the growth of its concentrations.

As a result, the landuse, particularly in the urbanized area, may have an indirect though important impact on the gained values of the hydrogen ions potential (pH) and the concentration of oxygen (O₂) in river waters.

Key words: Silnica and Sufraganiec catchments, urbanized area, hydrogen ions potential (pH) and concentration of oxygen (O₂)

Słowa kluczowe: zlewnia rzeki Silnicy i Sufragańca, obszar zurbanizowany, potencjał jonów wodorowych (pH), stężenie tlenu (O₂)

Wstęp

W cyklu obiegu wody w zlewniach rzecznych procesom transformacji opadu w odpływ towarzyszą zmiany parametrów chemicznych wody już od momentu jej styczności z pokryciem powierzchni terenu poprzez: okres spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego, infiltracji oraz odpływu rzecznoego. Problematyka transformacji cech chemicznych wód w procesach jej krążenia w zlewni rzecznej była przedmiotem wielu szczegółowych badań (m.in. Kotarba 1972, Welc 1980, Froehlich 1982, Chernogaeva 1994, Chełmicki, Klimek 1997, Kruszyk 1999, Kozłowski 2003, Józwiak, Kozłowski 2004).

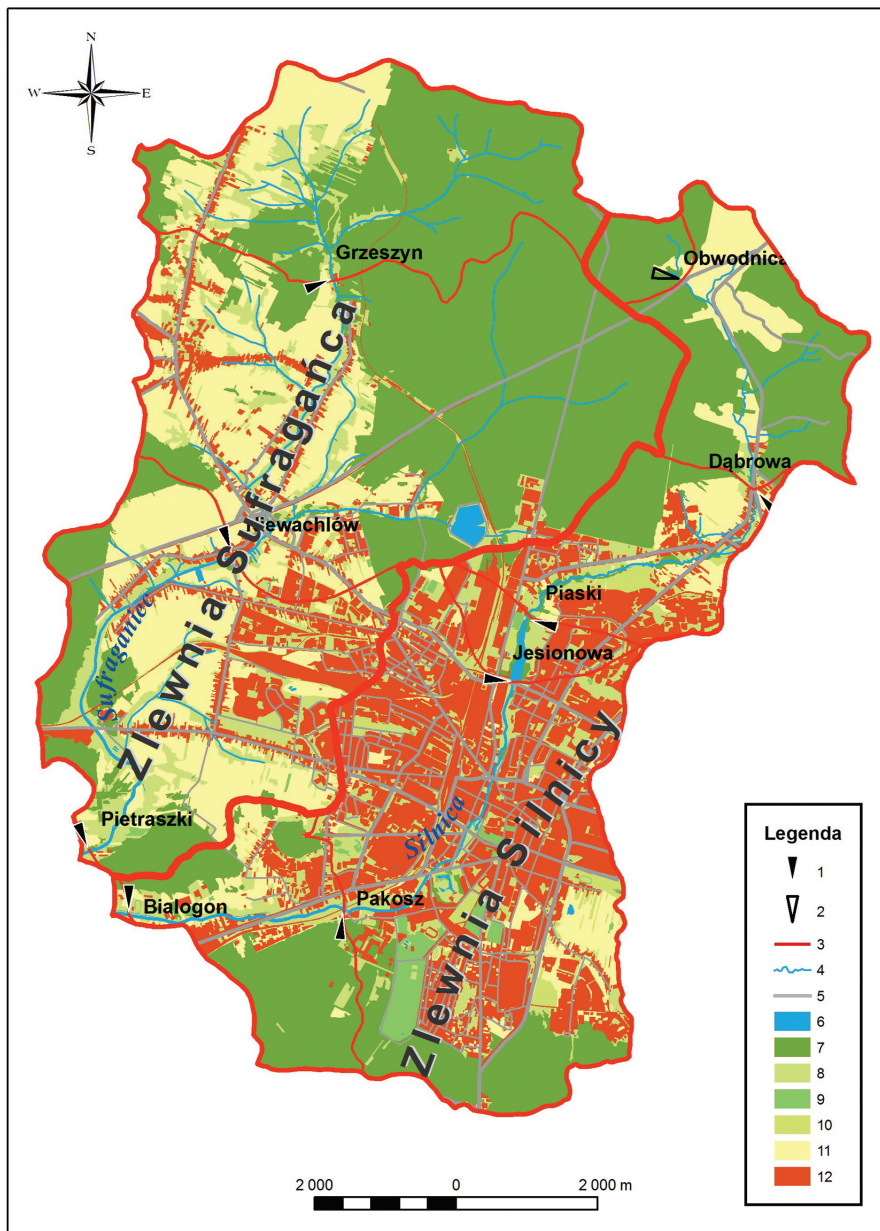
Intensywność procesów ługowania podłoża jest uwarunkowana agresywnością krążących wód, którą określa potencjał jonów wodorowych (pH). W Górach Świętokrzyskich wpływ kwaśnego odczynu wód opadowych na środowisko glebowe wykazali Kowalkowski, Józwiak (1999), Kozłowski (2003), Józwiak, Kozłowski (2004), a emisji alkalicznej Świercz (1997).

Celem pracy jest analiza wpływu użytkowania zlewni, w tym obszaru zurbanizowanego Kielc, na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie potencjału jonów wodorowych pH i koncentracji tlenu O₂ w wodach rzeki Silnicy i Sufragańca.

W latach hydrologicznych 1998–2001 prowadzono stacjonarne badania hydrologiczne i transportu fluwialnego na dwóch rzekach: Sufraganiec (3 przekroje hydrometryczne: Grzeszyn, Niewachłów i Pietraszki) i Silnicy (5 przekroi: Dąbrowa, Piaski, Jesionowa, Pakosz i Białogon). W latach 2001–2003 stacjonarne pomiary kontynuowano tylko w zakresie badań hydrologicznych, a badania hydrochemiczne ograniczono wówczas do 1–2 pomiarów w miesiącu. W latach 1998–2003 na ww. stanowiskach badawczych wykonano około 190 serii pomiarów ekspedycyjnych, podczas których badano podstawowe cechy fizykochemiczne wody, m.in. stężenie jonów wodorowych – pH i zawartość rozpuszczonego tlenu O₂, stosując miernik jakości wody U-10 (HORIBA). Ekspedycyjnie badania w tym zakresie prowadzono również na Silnicy w profilu Obwodnica (profil bez stałych obserwacji) zamykającym całkowicie zalesioną górną część zlewni Silnicy (ryc. 1).

Teren badań

Zlewnie ww. rzek cechują się podobną powierzchnią, budową geologiczną, rzeźbą terenu, natomiast różnią się użytkowaniem ziemi. Powierzchnia leśno-rolniczo zlewni Sufragańca wynosi 62,01 km², a zurbanizowanej zlewni Silnicy – 49,40 km². Zlewnie te położone są obok siebie. W ich obrębie wydzielono zlewnie cząstkowe o różnym charakterze użytkowania (ryc. 1, 2). 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 po profil Pietraszki, który położony jest 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 kolejno niżej położonych zlewniach cząstkowych: Piaski, Jesionowa i Pakosz zmniejsza się udział lasów, a wzrasta powierzchnia terenów uszczelnionych (drogi, utwardzone parkingi, zabudowania). Powierzchnie te są



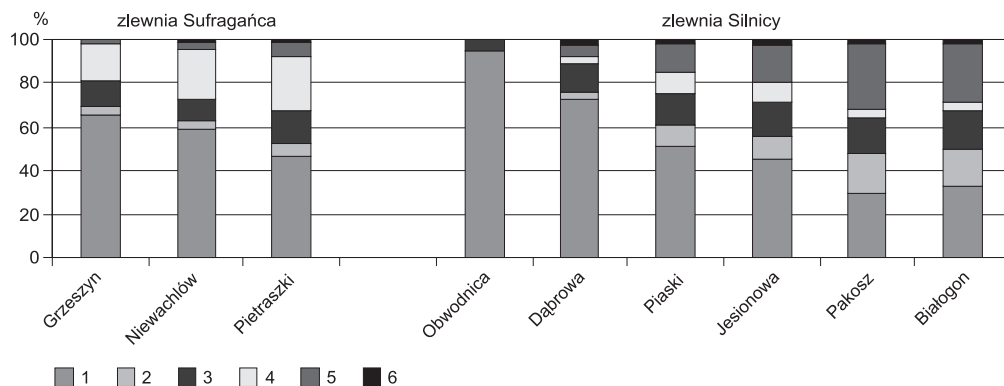
Ryc. 1. Mapa użytkowania zlewni rzeki Sufraganiec i Silnicy

Objaśnienia: 1. wodowskaz, 2. wodowskaz okresowy, 3. działki wodne, 4. ciek, 5. zbiorniki wodne, 6. drogi utwardzone, 7. lasy, 8. trwałe użytki zielone, 9. tereny zielone, 10. sady i ogródki działkowe, 11. pola, 12. tereny uszczelnione (budynki, drogi, parkingi itd.).
 Źródło: Na podstawie Topograficznej Bazy Danych.

Fig. 1. Utilization map of river Sufraganiec and river Silnica basin

Legend: 1. water-level indicator, 2. season water-level indicator, 3. watersheds, 4. water courses, 5. water reservoirs, 6. paved roads, 7. forests, 8. permanent grassland, 9. green areas, 10. orchards and allotment gardens, 11. fields, 12. developed areas (buildings, roads, parking lots, etc.).

Source: On the basis of the Topographical Data Base.



Ryc. 2. Struktura użytkowania ziemi w zlewniach częściowych Sufragańca i Silnicy. Objaśnienia: 1. lasy, 2. tereny zielone, sady, ogrody, 3. trwałe użytki zielone, 4. pola, 5. tereny uszczelnione, 6. inne

Źródło: Na podstawie Topograficznej Bazy Danych.

Fig. 2. Land utilisation structure in partial basins of river Sufraganiec and river Silnica. Legend: 1. forests, 2. green areas, orchards, gardens, 3. permanent grassland, 4. fields, 5. developed areas, 6. others

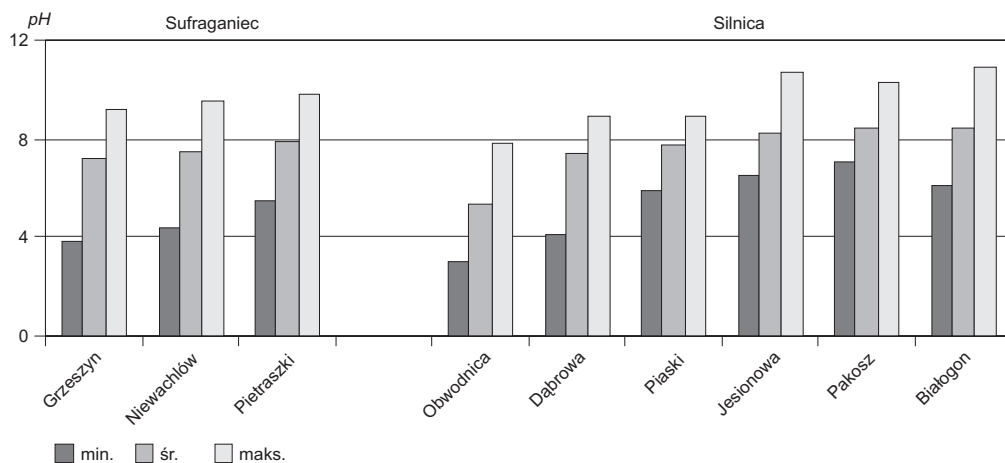
Source: On the basis of the Topographical Data Base.

nieprzepuszczalne i słabo przepuszczalne oraz charakteryzują się bardzo małą retencyjnością i szorstkością. Między profilami Piaski i Jesionowa znajduje się zbiornik retencyjny o powierzchni 10,5 ha i pojemności 170 000 m³. Poniżej centrum Kielc, po profil Pakosz, udział terenów uszczelnionych wynosi 30,2%. W dół zlewni, aż do profilu Białogon, wzrasta nieco powierzchnia lasów i łąk, a tereny zakryte zmniejszają się do 27,6% (Ciupa 2001).

Wyniki

Potencjał jonów wodorowych (*pH*) w wodach rzecznych kształtuje się na ogół w przedziale 6,5–8,5 *pH* co wskazuje na małą ich agresywność (por. Kotarba 1972, Froehlich 1982, Ciupa 1991, Rzepa 1992, Dojlido 1997). W korycie Sufragańca, w poszczególnych przekrojach pomiarowych, średnie roczne wartości omawianego parametru kształtowały się w zakresie 7,2–7,9 *pH* a w korycie Silnicy w przedziale 5,3–8,4 *pH*, zaś wartości ekstremalne odpowiednio: 3,9–9,8 i 3,0–10,7 *pH*. W badanych rzekach wartości te wzrastały od źródeł w kierunku ujścia (ryc. 3). Wyjątkowo niskie *pH* rejestrowano w przekroju Obwodnica zamykającym zalesioną i zabagnioną górną część zlewni Silnicy. Według Dojlidy (1997) wody wypływające z tego typu terenów są kwaśne z uwagi na obecność kwasów huminowych i fulwowych. Natomiast najwyższe wartości *pH* stwierdzono w przekrojach zamykających zlewnie zurbanizowane (Pakosz, Białogon) oraz poniżej zbiornika wodnego (Jesionowa). W tych pierwszych na ogół występowała również najwyższa koncentracja: wodorowęglanów, wapnia, fosforanów oraz różnego rodzaju zanieczyszczeń. Bezak-Mazur (1996) wykazała, że wysokie wartości wskaźnika *pH* nie sprzyjają procesowi wymywania metali ciężkich z osadów dennych Silnicy. Wskazują na to również wyniki badań w wielu innych rzekach (Dojlido 1997, Chełmicki 2001).

Omówione wyżej uwarunkowania przestrzennego rozkładu wartości *pH* znajdują też swoje potwierdzenie w cyklu rocznym. Szczególnie duże zróżnicowanie wspomnianych wartości stwierdzono w zlewni Silnicy, gdzie w górnej części znajdują się lasy i bagna, a w środkowej i dolnej – miasto. W układzie miesięcznym najniższe wartości *pH* notowano w styczniu, a najwyższe na ogół w sierpniu (ryc. 4).

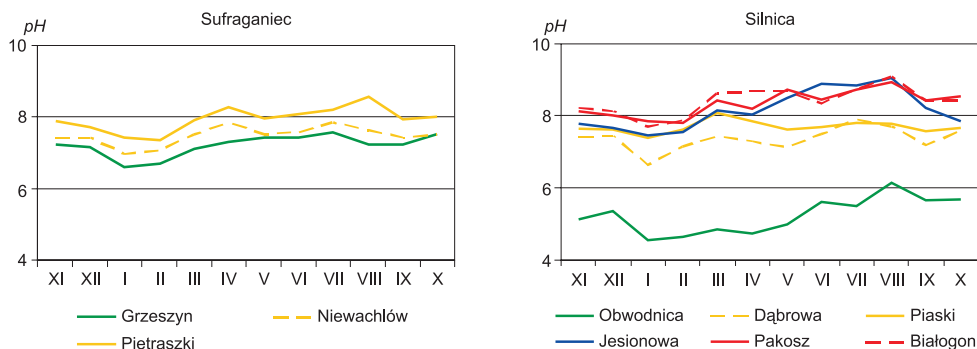


Ryc. 3. Ekstremalne i średnie roczne wartości potencjału jonów wodorowych (pH) w wodach rzeki Sufraganiec i Silnicy w latach 1998–2003

Fig. 3. Extreme and maximum annual values of hydrogen ions potential (pH) in the water of rivers Sufraganiec and Silnica in 1998–2003

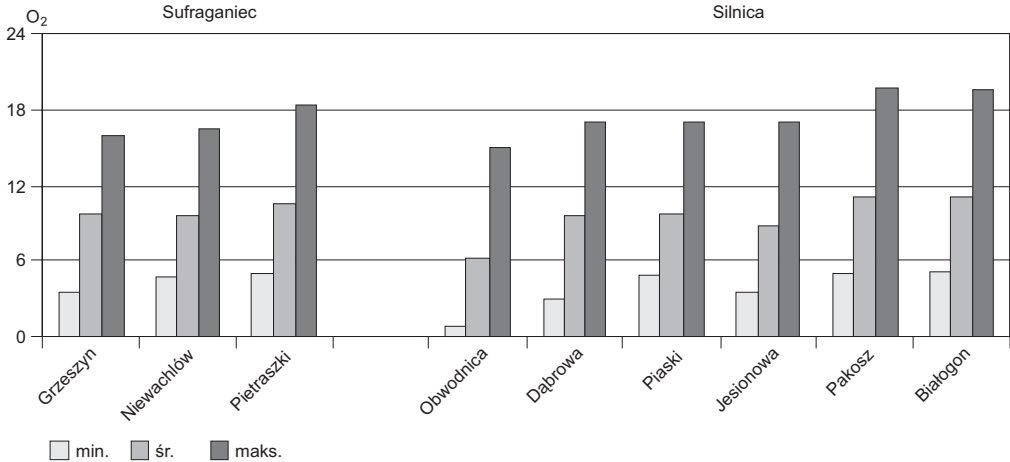
Występowanie tlenu rozpuszczonego w wodach powierzchniowych ma podstawowe znaczenie w przebiegu procesów aerobowych, które prowadzą do redukcji zanieczyszczeń w wodach (Dojlido 1997, Chelmicki 2001).

Średnia roczna koncentracja tlenu w wodach rzeki Sufraganiec wynosiła od $9,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Niewachłów) do $10,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Pietraszki), a w wodach Silnicy od $6,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $11,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Pakosz). Podobny przebieg wykazywały również wartości ekstremalne. Generalnie w wodach badanych rzek stężenie tlenu wzrastało od źródeł do ujścia. Największe odchylenia od tej prawidłowości miały miejsce w przekroju Jesionowa usytuowanym poniżej zbiornika wodnego (ryc. 5). Obniżenie stężenia tlenu wynikało głównie z odpływu wody przez dolne upusty z przydennych części zbiornika, gdzie tlen był zużywany w procesach



Ryc. 4. Średnia miesięczna wartość potencjału jonów wodorowych (pH) w przekrojach pomiarowych Sufragańca i Silnicy w latach 1998–2003. Tu i dalej kolory linii oznaczają: zielony – zlewnie leśne, pomarańczowy – zlewnie rolnicze i podmiejskie, niebieski – zlewnie ze zbiornikiem wodnym, czerwony – zlewnie zurbanizowane

Fig. 4. Average monthly value of hydrogen ions potential (pH) in measurement profiles of rivers Sufraganiec and Silnica in 1998–2003. From here on the following coloured lines have meanings ascribed to them below: green – forest basins, orange – agriculture and suburban basins, blue – basins with water reservoir, red – urban basins

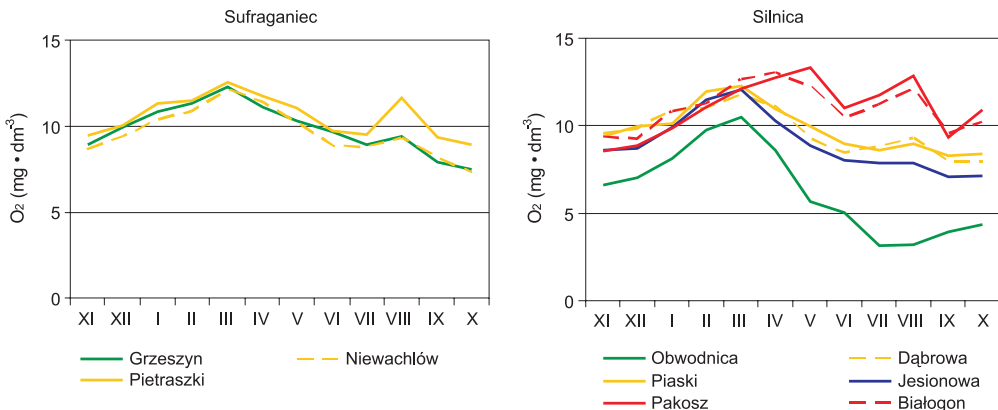


Ryc. 5. Ekstremalne i średnie roczne wartości stężenia tlenu (O_2) w wodach rzeki Sufraganiec i Silnicy w latach 1998–2003

Fig. 5. Extreme and average annual values of oxygen (O_2) concentration in the water of rivers Sufraganiec and Silnica in 1998–2003

biodegradacji. Podobne zjawisko stwierdzono poniżej wielu zbiorników: m.in. Leśna, Pilchowice, Lubachów, Tresna, Rożnów i Solina (Dojlido 1997).

W ciągu roku koncentracja tlenu w wodach rzecznych jest uzależniona głównie od ich temperatury, złodzenia i procesów fotosyntezy (Dojlido 1997). W wodach obu rzek wzrost stężenia tlenu notowano od listopada lub października do marca, a w przekrojach Pakosz i Białogon, zamykających zlewnie zurbanizowane, aż do kwietnia (ryc. 6). Rozpuszczalność tlenu w wodzie wzrasta na ogół wraz ze spadkiem jej temperatury. Najwyższe koncentracje tlenu nie wystąpiły przy najniższych temperaturach, tj. w styczniu i lutym, bowiem wtedy na znacznych odcinkach koryt rzecznych istniała pokrywa lodowa utrudniająca rozpuszczanie tlenu w wodzie. W większości przekrojów spadek koncentracji tlenu miał miejsce do czerwca lub lipca. Było to związane ze wzrostem temperatury wody, powodując zmniejszenie rozpuszczalności w niej tlenu przy jednocześnie wzrastającym jego zużyciu w coraz szybciej



Ryc. 6. Średnia miesięczna koncentracja tlenu w przekrojach pomiarowych Sufragańca i Silnicy w latach 1998–2003
 Fig. 6. Average monthly oxygen concentration in measurement profiles of rivers Sufraganiec and Silnica in 1998–2003

przebiegających procesach biochemicznych. W lipcu i sierpniu w obrębie i poniżej terenu zurbanizowanego oraz w ujściowym odcinku Sufragańca koncentracja tlenu na ogół ponownie wzrastała. Wówczas w strefie brzegowej tych rzek, zwłaszcza Silnicy, intensywnie rozwijała się roślinność wodolubna, a w korytach – glony. Najbardziej gwałtowny ich rozwój obserwowano we wspomnianych wyżej odcinkach Silnicy oraz Sufragańca. Przyczyniały się do tego również substancje biogenne, którymi zanieczyszczona była woda rzeczna. Wzrost stężenia tlenu w tym okresie należy wiązać z jego wytwarzaniem przez roślinność w procesie fotosyntezy.

Podsumowanie

W pracy wykazano wpływ obszaru zurbanizowanego na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie potencjału jonów wodorowych pH i koncentracji tlenu w wodach rzeki Silnicy i Sufragańca. Ich zlewnie położone są w obrębie strefy miejskiej i podmiejskiej Kielc. Cechują się podobną powierzchnią, budową geologiczną, rzeźbą terenu, natomiast różnią się użytkowaniem ziemi. Powierzchnia zurbanizowanej zlewni Silnicy wynosi 49,40 km², a leśno-rolniczej zlewni Sufragańca 62,01 km². W obrębie wymienionych jednostek hydrograficznych wydzielono zlewnie cząstkowe o różnym charakterze użytkowania.

Średni roczny potencjał jonów wodorowych (pH) wzrastał wraz z biegiem badanych rzek, osiągając w korycie rzeki Sufraganiec wartości od 7,2 do 7,9 pH, a w korycie Silnicy od 5,3 do 8,4 pH, zaś wartości ekstremalne kształtowały się odpowiednio: 3,9–9,8 i 3,0–10,7 pH. Najwyższe wartości pH stwierdzono w przekrojach zamykających zlewnie zurbanizowane o znacznym zanieczyszczeniu wód (Pakosz, Białogon), a najniższe w przekrojach poniżej zlewni zalesionych i częściowo zabagnionych (Obwodnica i Grzeszyn). Ten rozkład przestrzenny wartości pH znajduje również swoje potwierdzenie w układzie miesięcznym. W cyklu rocznym najniższe wartości pH notowano w styczniu, a najwyższe w sierpniu.

Stężenie tlenu generalnie wykazywało także tendencję wzrostową od źródeł do ujścia. Średnia roczna jego wartość w wodach rzeki Sufraganiec wynosiła od 9,5 mg · dm⁻³ (Niewachłów) do 10,5 mg · dm⁻³ (Pietraszki), a w wodach Silnicy od 6,2 mg · dm⁻³ do 11,2 mg · dm⁻³ (Pakosz). W obydwu rzekach wzrost stężenia tlenu notowano od listopada lub października aż do marca, a w przekrojach zamykających zlewnie zurbanizowane – do kwietnia. Spadek omawianego stężenia w większości profili miał miejsce do czerwca. W lipcu i sierpniu stężenie tlenu na ogół ponownie wzrastało, szczególnie wyraźnie w środkowym i dolnym odcinku Silnicy (w obrębie i poniżej terenu zurbanizowanego) oraz w ujściowym odcinku Sufragańca. Wówczas, głównie na skutek występujących tam dużych zanieczyszczeń substancjami biogennymi, w strefie brzegowej omawianych rzek bujnie rozwijała się roślinność wodolubna, a w korytach – glony. Intensywne rozpuszczanie się w wodach rzecznych tlenu, wytwarzanego w procesie fotosyntezy, oraz wpływ detergentów sprzyjały wzrostowi jego stężenia.

Literatura

- Bezak-Mazur E. 1996. Badania aluwii rzeki Silnicy. Arch. UM, Kielce.
- Chelmicki W., Klimek M. 1997. Annual and seasonal course of precipitation acidity and its relation to the direction of advecting airmasses in the Carpathian Foothills near Bochnia (Southern Poland). W: W. Chelmicki (red.), The Carpathian Foothills Marginal Zone. Man and Environment, Prace Inst. Geogr. UJ 102.
- Chernogaeva G.M. 1994. Impact of atmospheric precipitation on the sulphate concentration in surface waters of the Eastern European. Plain IAHS-Public. 219, s. 311–316.

- Ciupa T. 1991. Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy (Contemporary fluvial transport in the Biała Nida drainage area). Wyd. WSP, Kielce, 150 s.
- Ciupa T. 2001. Funkcjonowanie systemu fluwialnego Silnicy i Sufragańca w strefie miejskiej Kielc. W: A. Karczewski, Z. Zwoliński (red.), Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring–ochrona–edukacja, s. 103–113.
- Dojlido J. 1997. Chemia wód powierzchniowych. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Warszawa, 342 s.
- Froehlich W. 1982. Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. Prace Geogr. IGI PAN 143.
- Jóźwiak M., Kozłowski R. 2004. Transformacja opadów atmosferycznych w wybranych geosystemach w Górach Świętokrzyskich. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego 5, Wyd. KTN, Kielce, s. 199–217.
- Kotarba A. 1972. Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach. Prace Geogr. IG PAN 96, s. 116.
- Kowalkowski A., Józwiak M. 1999. Wpływ kwaśnych deszczów na środowisko glebowe w Świętokrzyskim Parku Narodowym. W: R. Dębicki, J. Chodrowski (red.), Mat. Konf. Pol. Tow. Gleb., 7–10.09.1999, 3/02, s. 31–44.
- Kozłowski R. 2003. Uwarunkowania i zmienność chemizmu opadów atmosferycznych i ich skutki w wybranych geosystemach Gór Świętokrzyskich. Rozprawa doktorska. Maszynopis. AŚ, Kielce, s. 212.
- Kruszyk R. 1999. Charakter i uwarunkowania przepływu materii w zlewni leśnej Zajączkowskiego Potoku (zlewnia górnej Parsęty, Pomorze Zachodnie). W: A. Kostrzewski (red.), Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych. Poznań, s. 107–118.
- Rzepa C. 1992. Wpływ denudacji na chemizm wód Czarnej Nidy w Górach Świętokrzyskich (sum.: The Influence of Chemical Denudation on the Chemistry of Czarna Nida Basin Water in the Holy Cross Mountains). Wyd. KTN, Kielce, s. 100 s.
- Świercz A. 1997. Wpływ emisji alkalicznej na gleby i bory sosnowe w „Białym Zagłębiu”. Wyd. KTN, Kielce, 205 s.
- Welc A. 1980. Wpływ opadów na wielkość denudacji chemicznej w obszarze górskim na przykładzie badań w zlewni Bystrzanki. Z. Probl., Post. Nauk Roln. 235, s. 307–318.