

ANALIZA TENDENCJI ZMIAN STANU FIZYKOCHEMICZNEGO WÓD RZEKI GŁÓWNEJ

Joanna Jaskuła¹, Mariusz Sojka¹, Joanna Wicher-Dysarz²

¹ Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: jaskula@up.poznan.pl; masojka@up.poznan.pl

² Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: jwicher@up.poznan.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki analizy zmian stanu fizykochemicznego wód rzeki Główniej w profilu Poznań w latach 1996–2009. Stan fizykochemiczny wód scharakteryzowano na podstawie 11 parametrów: tlenu rozpuszczonego (O_2), BZT₅, przewodności w 20 °C (μS), substancji rozpuszczonych (mg), odczynu (pH), azotu amonowego (N_{NH_4}), azotu Kjeldahla (N^I), azotu azotanowego (N_{NO_3}), azotu ogólnego (N^{II}), fosforanów (PO_4) oraz fosforu ogólnego (P). Analizę stanu fizykochemicznego wód przeprowadzono na tle zmian użytkowania gruntów, gospodarki wodno-ściekowej oraz warunków hydrometeorologicznych. Wody rzeki Główniej w latach 1996–2009 charakteryzowały się stanem poniżej dobrego. Decydowały o tym podwyższone wartościami BZT₅ i fosforu ogólnego oraz wysokie wartości azotu Kjeldahla i fosforanów. Przeprowadzona analiza wykazała, że w latach 1996–2009 obserwowano wzrost odczynu wody oraz spadek stężeń azotu amonowego i zawartości substancji rozpuszczonych. Uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej w gminach położonych na terenie zlewni nie wpłynęło istotnie na poprawę stanu fizykochemicznego wód rzeki Główniej.

Słowa kluczowe: jakość wody, rzeka nizinna, parametry fizykochemiczne.

ANALYSIS OF TRENDS CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL STATE OF THE GŁÓWNA RIVER

ABSTRACT

The paper presents the analysis of results of trend changes in physicochemical state of the Główna river in Poznań in the years 1996–2009. Physicochemical state was characterized by 11 parameters: dissolved oxygen (O_2), BOD₅, conductivity (μS), dissolved substances (mg), pH, ammonia nitrogen (N_{NH_4}), Kjeldahl nitrogen (N^I), nitrate nitrogen (N_{NO_3}), total nitrogen (N^{II}), phosphates (PO_4) and total phosphorus (P). The results were analyzed with respect to changes in land use, water and wastewater management and hydrometeorological conditions. Due to high concentrations of Kjeldahl nitrogen and phosphates, elevated concentrations of BOD₅ and total phosphorus, physicochemical state of the Główna river was less than good. The results of the analysis proved that pH was increased, concentration of ammonia nitrogen and contents of dissolved substances was decreased. Organization of water and wastewater management in communes located in the analyzed catchment has not significantly influenced the physicochemical state of waters of the Główna river.

Keywords: water quality, lowland river, physicochemical parameters.

WSTĘP

Obieg materii w zlewniach rzecznych kształtowany jest przez czynniki naturalne jak i antropogeniczne. Działalność człowieka wpływa na obieg wody w zlewni, która w głównej mierze odpowiada za transport składników. Człowiek

wprowadza do środowiska także nowe grupy substancji, które związane są z rodzajem prowadzonej działalności. Substancje, które wprowadzane są do wód powierzchniowych pochodzą ze źródeł o charakterze obszarowym oraz punktowym [Gałęzyńska i in. 2011, Policht-Latawiec i in. 2013., Kowalik i in. 2015].

Stan fizykochemiczny wód powierzchniowych jest silnie związany ze strukturą użytkowania gruntów [Miatkowski i Smarzyńska 2014]. Jednym z najbardziej znaczących obszarowych źródeł zanieczyszczeń w zlewniach nizinnych stanowi działalność rolnicza [Kancelerz i in. 2010]: zużycie sztucznych nawozów oraz obsada zwierząt gospodarskich [Rauba 2009, Żurek 2009, Pulikowski i in. 2013]. Stan fizykochemiczny wód zależy również od gospodarki wodno-ściekowej prowadzonej w gminach położonych na terenie zlewni, dostępu do sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków. Rzeki stanowią odbiornik zanieczyszczeń z powierzchni zlewni, gdzie podstawowym źródłem fosforu są najczęściej ścieki bytowo-gospodarcze natomiast źródłem azotu są rolnicze zanieczyszczenia obszarowe [Dąbrowska 2008].

W celu ochrony zasobów wodnych na terenie państw członkowskich Unii Europejskiej wprowadzono Ramową Dyrektywę Wodną. Podstawowym celem środowiskowym jest osiągnięcie do 2015 r. dobrego stanu wód [Dyrektywa 2000]. Zmusza to kraje członkowskie do podejmowania działań mających na celu poprawę stanu ekologicznego wód oraz walorów użytkowych wody. Do oceny skuteczności podejmowanych działań mających na celu poprawę stanu wód, prowadzony jest monitoring ich stanu przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska [Sojka i Murat-Błażejewska 2010]. Monitoring prowadzony jest w obrębie jednolitych części wód powierzchniowych w zakresie elementów ekologicznych, hydromorfologicznych i fizykochemicznych oraz substancji specyficznych. Analiza danych pochodzących z monitoringu wód rzecznych umożliwia ocenę skuteczności prowadzonych prac w zakresie ograniczania dopływu zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł o charakterze punktowym i obszarowym (wpływ gospodarki wodno-ściekowej, zużycie nawozów sztucznych). Wyniki monitoringu wód powierzchniowych pozwalają na m.in. na skuteczne zarządzanie zasobami wodnymi [Simeonova i in. 2003, Shrestha i Kazama 2007], ocenę zmian zawartości wybranych zanieczyszczeń w wodach oraz powiązanie ich zawartości z warunkami meteorologicznymi i hydrologicznymi.

Celem pracy była ocena czasowych zmian stanu fizykochemicznego wód rzeki Główniej w profilu Poznań w latach 1996–2009.

MATERIAŁY I METODY

Stan fizykochemiczny wód scharakteryzowano na podstawie zbioru danych, który obejmował 11 parametrów jakości wody: tlen rozpuszczony (O_2), BZT₅, przewodność w 20 °C (μS), substancje rozpuszczone (mg), odczyn (pH), azot amonowy (N_{NH_4}), azot Kjeldahla (N^I), azot azotanowy (N_{NO_3}), azot ogólny (N^{II}), fosforany (PO_4) oraz fosfor ogólny (P). Analizy próbek wody uzyskano z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Poznaniu (WIOŚ). Charakterystykę warunków meteorologicznych w zlewni przeprowadzono na podstawie danych udostępnionych na stronie www.freemeteo.pl dla posterunku w Poznaniu. Charakterystykę warunków hydrologicznych przeprowadzono na podstawie danych obejmujących codzienne pomiary stanów i przepływów wody rzeki Główniej w profilu Wierzenica w latach 1996–2009 udostępnionych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Poznaniu.

Zlewnię rzeki Główniej wyznaczono na podstawie Rastrowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP) w skali 1:50000 (2010) udostępnionej przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW). Typ abiotyczny rzeki określono na podstawie Raportu Ministerstwa Środowiska dla Obszaru Dorzecza Odry (2005). Charakterystykę fizjograficzną zlewni określono na podstawie map topograficznych w skali 1:10000 oraz Numerycznego Modelu Terenu (NMT) udostępnionego przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK). Strukturę użytkowania zlewni określono na podstawie projektu Corine Land Cover Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ). Lokalizację punktowych źródeł zanieczyszczeń określono na podstawie raportów o stanie środowiska w Wielkopolsce (WIOŚ) oraz danych Głównego Urzędu Statystycznego z lat 1996–2009.

W pierwszym etapie analizy określono stężenia charakterystyczne analizowanych parametrów jakości wody: wartości minimalne, maksymalne, średnie oraz odchylenia standardowe. Stan fizykochemiczny wód rzeki Główniej określono na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. W kolejnym etapie pracy poszukiwano zależności pomiędzy stężeniami analizowanych parametrów jakości

wody a natężeniem przepływu. W ostatnim etapie w celu określenia czasowych zmian badanych parametrów jakości wody przeprowadzono analizę trendów. Analizę przeprowadzono wg metodyki zaproponowanej przez McBean'a i Rovers'a (1984) oraz Manna-Kendalla (1975) na poziomie istotności $p_{\alpha} = 0,05$. Analizy statystyczne zostały wykonane przy pomocy programu STATISTICA (Statsoft Polska) oraz pakietu R.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zlewnia rzeki Głównej położona jest w makroregionie Pojezierze Wielkopolskie, w mezoregionach Pojezierze Gnieźnieńskie i Równina Wrzesińska [Kondracki 2002].

Pole powierzchni rzeki Głównej wynosi 235,81 km², a jej długość 43 km. Według klasyfikacji jednostek hydrograficznych rozpatrywana zlewnia została oznaczona kodem 18592.

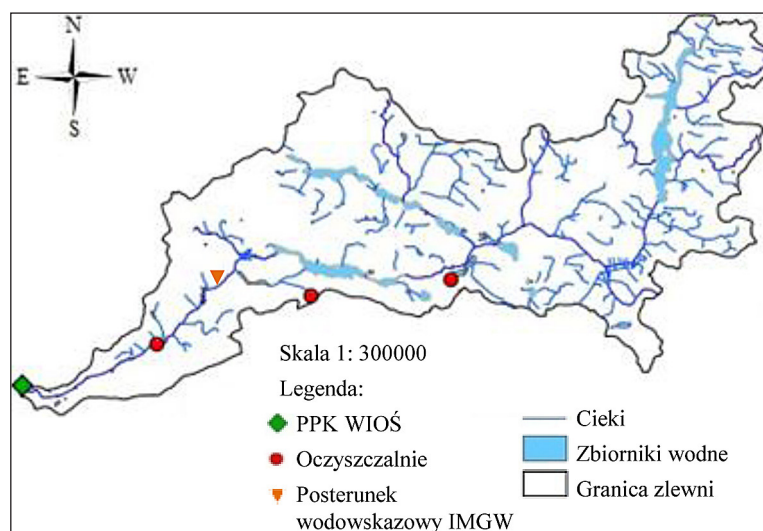
Rzeka Główna wypływa z Jeziora Lednickiego, a do rzeki Warty uchodzi w km 240 na terenie miasta Poznania. Zgodnie z typologią abiotyczną rzekę Główną podzielono na dwa odcinki. Od źródła do Jeziora Kowalskiego jest to ciek łączący jeziora, natomiast poniżej zbiornika jest to typ nieokreślony. Najwyższy punkt zlewni wyniesiony jest na 135 m n.p.m., najniższy położony jest w pobliżu ujścia do Warty, 52 m n.p.m. Średni spadek podłużny rzeki wynosi 1,92‰. Gęstość sieci rzecznej wynosi 1,01 km·km⁻². Do największych dopływów rzeki Głównej zaliczyć można m.in. dopływ spod Imielna i Dopływ spod Jeziora Wronczyńskiego.

Na terenie zlewni znajduje się ok. 14 jezior naturalnych, największym z nich jest Jezioro Lednickie. W 1984 roku utworzony także został sztuczny zbiornik Jezioro Kowalskie. Łączna powierzchnia jezior wynosi ponad 7 km², co stanowi ok. 3% powierzchni zlewni. Analizowana zlewnia jest przykładem zlewni rolniczej, w której przeważają grunty orne (57,5%). Pozostałe formy użytkowania stanowią: lasy ok. 25%, użytki zielone 7,5% oraz tereny zurbanizowane 7,4%.

Na terenie zlewni rzeki Głównej położone są gminy: Pobiedziska (50% powierzchni zlewni), Łubowo (17,67%), Swarzędz (15,08%), Kłecko (4,68%), Czerwonak (4,45%), Kiszkowo (3,66%) oraz Poznań (2,24%).

Głównym źródłem zanieczyszczeń w zlewni w latach 1996–2009 były sploty powierzchniowe z pól uprawnych. Do rzeki odprowadzane były także oczyszczone ścieki z oczyszczalni komunalnych w Pobiedziskach i Bugaju, z oczyszczalni Zakładu Produkcji Doświadczalnej Akumulatory w Mechowie oraz Przedsiębiorstwa Farmaceutyczno-Chemicznego Synteza w Pobiedziskach. W gminach położonych w obrębie zlewni, ludność obsługiwana przez oczyszczalnie ścieków w latach 1996–2009 wzrosła z 23% do 54%. Wzrosła liczba funkcjonujących oczyszczalni komunalnych, a zmalała liczba przemysłowych oczyszczalni.

Temperatury średnie dla stacji meteorologicznej Poznań w latach 1996–2009 wahały się od -6 °C do 26,5 °C przy wartości średniej 9 °C. Średnia wartość temperatury powietrza w półroczu zimowym wynosiła 2,7 °C, natomiast w półroczu letnim 15,4 °C. Średnia roczna suma opadów



Rys. 1. Zlewnia rzeki Głównej
Fig. 1. Główna river catchment

w rozpatrywanym wieloleciu wynosiła 549 mm, w tym w półroczu zimowym 209 mm i półroczu letnim 340 mm. Przy takim przebiegu warunków meteorologicznych, przepływy rzeki Głównej w profilu Wierzenica wahały się od $NNQ = 0,07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $WWQ = 5,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średni roczny przepływ w rozpatrywanym wieloleciu wynosił $SSQ = 0,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a przepływ nienaruszalny $SNQ = 0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średni przepływ w półroczu letnim w rozpatrywanym wieloleciu wynosił $0,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i był o ok. 64% niższy niż w półroczu zimowym.

Analiza stanu fizykochemicznego wód rzeki Głównej w okresie 1996–2009 wykazała, że były one dobrze natlenione. Zawartość tlenu rozpuszczonego wynosiła od 5,1 do $14,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ przy wartości średniej wynoszącej $10,4 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Wody rzeki Głównej charakteryzowały się naturalnym, lekko alkalicznym odczynem, od pH 7,4 do 8,3. Obciążenie wód zanieczyszczeniami organicznymi wpływającymi na zużycie tlenu w procesie samooczyszczania było na średnim poziomie. Wartości BZT_5 wynosiły od 0,7 do $10,4 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Wody rzeki Głównej charakteryzowały się bardzo niską przewodnością, tylko w 2% pobranych pró-

bek wody, wartości były wyższe od 1000 mS cm^{-1} . Zawartość substancji rozpuszczonych była na niskim poziomie i wynosiła od 408 do $794 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ przy wartości średniej równej $584 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Pod względem zawartości substancji biogenych analizowane wody charakteryzowały się wysokimi stężeniami azotu Kjeldahla oraz fosforanów. Stężenie azotu Kjeldahla wynosiły od 0,93 do $5,05 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$, przy wartości średniej $2,17 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenie fosforanów wynosiło od 0,08 do $1,25 \text{ mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$ przy wartości średniej $0,57 \text{ mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenia azotu azotanowego i azotu amonowego były odpowiednio na średnim i niskim poziomie. Wysoka zawartość azotu Kjeldahla i niska zawartość azotu amonowego wskazywała na duży dopływ azotu organicznego, który może pochodzić z niedostatecznie oczyszczonych ścieków z oczyszczalni komunalnych. Średnia zawartość azotu ogólnego w wodach rzeki Głównej w profilu Poznań wynosiła $5,64 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$ a fosforu $0,31 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 1).

Ocenę stanu fizykochemicznego wód rzeki Głównej w latach 1996–2009 przeprowadzono na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska

Tabela 1. Charakterystyczne miesięczne stężenia wybranych wskaźników jakości wody rzeki Głównej w latach 1996–2009

Table 1. Characteristic monthly values of water quality parameters in the Główna river in the years 1996–2009

| Miesiące | Tlen rozp. $\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ | BZT_5 $\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ | Az. amon. $\text{mg N}_{\text{NH}_4} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Az. Kjeld. $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Az. azot. $\text{mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Az. ogólny $\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Fosforany $\text{mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$ | Fosf. ogólny $\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ |
|----------|--|---|---|--|---|--|--|--|
| XI | 10,20–13,90 11,64 (1,13) | 2,10–6,80 3,94 (1,32) | 0,13–1,26 0,67 (0,33) | 1,70–2,40 2,05 (0,19) | 0,19–5,86 3,45 (1,66) | 2,30–8,38 5,57 (1,83) | 0,28–1,08 0,64 (0,21) | 0,13–0,45 0,30 (0,10) |
| XII | 10,60–12,90 11,63 (0,69) | 1,90–4,60 3,30 (0,74) | 0,26–1,14 0,70 (0,25) | 1,01–2,94 2,08 (0,53) | 0,13–5,11 3,00 (1,54) | 2,25–7,28 5,11 (1,55) | 0,35–1,12 0,66 (0,24) | 0,22–0,40 0,29 (0,07) |
| I | 11,30–14,00 12,43 (0,81) | 2,10–8,30 4,07 (1,83) | 0,22–1,36 0,80 (0,39) | 1,23–2,70 2,06 (0,45) | 0,26–5,56 3,17 (1,46) | 5,24–5,68 5,49 (0,18) | 0,20–0,95 0,52 (0,23) | 0,14–0,44 0,27 (0,11) |
| II | 11,70–14,00 12,70 (0,72) | 2,70–6,60 4,50 (1,34) | 0,23–1,28 0,88 (0,30) | 1,50–3,06 2,25 (0,42) | 0,67–5,31 3,79 (1,35) | 4,51–7,87 6,43 (1,03) | 0,08–0,53 0,34 (0,14) | 0,05–0,35 0,20 (0,09) |
| III | 12,00–12,70 12,43 (0,21) | 1,20–9,10 5,18 (2,13) | 0,16–0,73 0,37 (0,21) | 1,22–2,19 1,76 (0,29) | 4,15–5,06 4,63 (0,30) | 4,76–10,91 7,08 (2,05) | 0,08–0,65 0,28 (0,18) | 0,05–0,31 0,18 (0,09) |
| IV | 10,10–12,00 11,17 (0,61) | 3,40–6,60 4,95 (0,94) | 0,20–0,96 0,46 (0,24) | 1,43–2,38 1,93 (0,31) | 1,98–7,95 4,19 (1,65) | 4,15–9,93 6,46 (1,70) | 0,08–0,34 0,19 (0,09) | 0,06–0,28 0,16 (0,07) |
| V | 9,10–10,00 9,60 (0,31) | 3,10–9,40 5,75 (1,99) | 0,26–0,66 0,44 (0,15) | 1,34–3,10 2,29 (0,53) | 1,52–4,44 2,83 (0,81) | 4,39–5,48 4,86 (0,41) | 0,08–0,94 0,42 (0,23) | 0,05–0,44 0,25 (0,12) |
| VI | 6,80–10,00 8,47 (0,94) | 2,40–9,80 5,38 (2,21) | 0,28–0,58 0,42 (0,09) | 1,59–3,07 2,41 (0,48) | 1,82–3,70 2,83 (0,56) | 5,27–6,55 5,84 (0,39) | 0,40–0,81 0,60 (0,13) | 0,21–0,74 0,38 (0,15) |
| VII | 7,60–9,50 8,48 (0,61) | 0,70–7,40 4,42 (1,98) | 0,19–0,53 0,32 (0,11) | 0,93–3,40 2,08 (0,73) | 0,31–5,77 2,48 (1,61) | 1,99–9,48 5,32 (2,09) | 0,40–0,96 0,72 (0,15) | 0,21–0,50 0,36 (0,08) |
| VIII | 5,10–9,70 8,06 (1,31) | 1,50–10,40 4,92 (2,56) | 0,12–0,53 0,27 (0,13) | 1,08–5,05 2,61 (1,29) | 0,58–4,40 2,38 (1,13) | 3,11–7,34 5,10 (1,28) | 0,59–1,15 0,88 (0,18) | 0,30–0,59 0,47 (0,09) |
| IX | 8,50–9,90 9,17 (0,42) | 2,50–4,40 3,71 (0,66) | 0,13–0,69 0,40 (0,19) | 1,02–2,97 1,97 (0,58) | 1,61–4,81 2,78 (1,07) | 3,17–8,01 5,30 (1,43) | 0,49–1,25 0,80 (0,23) | 0,24–0,53 0,40 (0,10) |
| X | 9,00–12,20 10,11 (0,90) | 1,90–9,40 5,32 (2,44) | 0,14–0,79 0,49 (0,18) | 1,73–3,22 2,38 (0,44) | 0,35–3,65 2,46 (0,86) | 3,93–6,25 5,00 (0,70) | 0,38–0,98 0,72 (0,18) | 0,21–0,60 0,37 (0,13) |
| XI-X | 5,10–14,00 10,40 (1,82) | 0,70–10,40 4,68 (1,91) | 0,12–1,36 0,52 (0,29) | 0,93–5,05 2,17 (0,63) | 0,13–7,95 3,11 (1,39) | 1,99–10,91 5,64 (1,54) | 0,08–1,25 0,57 (0,28) | 0,05–0,74 0,31 (0,13) |

z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych poprzez porównanie stężeń z wartościami granicznymi (rys. 2).

Pod względem zawartości tlenu rozpuszczonego, wartości odczynu pH oraz przewodności w 20 °C wody rzeki Głównej zakwalifikowane zostały do stanu bardzo dobrego. Normom wód dobrej klasy jakości odpowiadały zawartości substancji rozpuszczonych, azotu ogólnego oraz azotu amonowego.

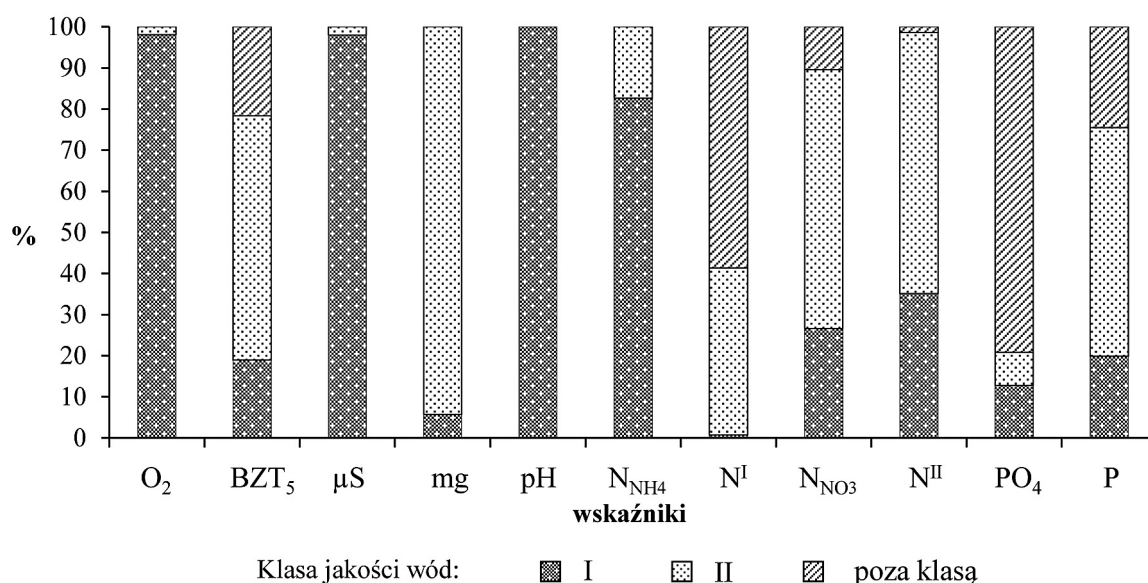
Wysokie stężenia BZT₅ i fosforu ogólnego oraz bardzo wysokie stężenia azotu Kjeldahla i fosforanów wpłynęły na to, że stan fizykochemiczny wód rzeki Głównej w latach 1996–2009 został zakwalifikowany do poniżej dobrego. W przypadku BZT₅ wartości wyższe od dopuszczalnych określonych w rozporządzeniu (6 mg O₂·dm⁻³) wystąpiły w 22% pobranych próbek. Zawartość fosforu ogólnego przekraczała wartości dopuszczalne (0,4 mg P·dm⁻³) w 24,5% próbek wody. Zdecydowanie częściej wartości dopuszczalne przekraczane były przez stężenie azotu Kjeldahla, które było wyższe od dopuszczalnych (2 mg N·dm⁻³) w 59% próbek wody, natomiast przypadku fosforanów (0,31 mg PO₄·dm⁻³) aż w 80%.

Zmiany stężeń wybranych wskaźników jakości wody w wodach rzeki Głównej związane były nie tylko z dopływem zanieczyszczeń do rzek ale również z panującymi warunkami hydrometeorologicznymi (tab. 2).

Z przepływami dodatnio skorelowane były stężenia tlenu rozpuszczonego, a ujemnie stężenia fosforanów i fosforu ogólnego.

Najwyższe stężenia tlenu rozpuszczonego w wodach rzeki Głównej występują w zimowym półroczu hydrologicznym, a ich średnie stężenie było na ogół wyższe od 11 mg O₂·dm⁻³ (rys. 3). Od maja do sierpnia wraz ze spadkiem natężenia przepływu i wzrostem temperatury wody obserwowany był spadek zawartości tlenu rozpuszczonego. Wartości te były na ogół niższe od 10 mg O₂·dm⁻³. Pomimo utrzymywania się w rzece w miesiącach wrzesień i październik niskich przepływów zaobserwowano wzrost stężenia tlenu rozpuszczonego, co spowodowane było obniżeniem temperatury wody.

Najwyższe stężenia fosforanów i fosforu ogólnego w wodach rzeki Głównej występowały od czerwca do października. Średnie stężenie fosforanów w tym okresie było na ogół wyższe od 0,60 mg PO₄·dm⁻³, fosforu ogólnego od 0,35 mg P·dm⁻³. Wysokie stężenia związków fosforu w miesiącach letnich mogą być związane z występowaniem deszczów nawalnych, po których występują spływy powierzchniowe, głównie z pól uprawnych. Od stycznia do kwietnia stężenia związków fosforu obniżały się, średnie stężenia fosforanów były na ogół niższe od 0,50 mg PO₄·dm⁻³, fosforu ogólnego od 0,27 mg P·dm⁻³. Może być to związane z rozcieńczaniem ścieków w wyniku wzrostu natężenia przepływów.



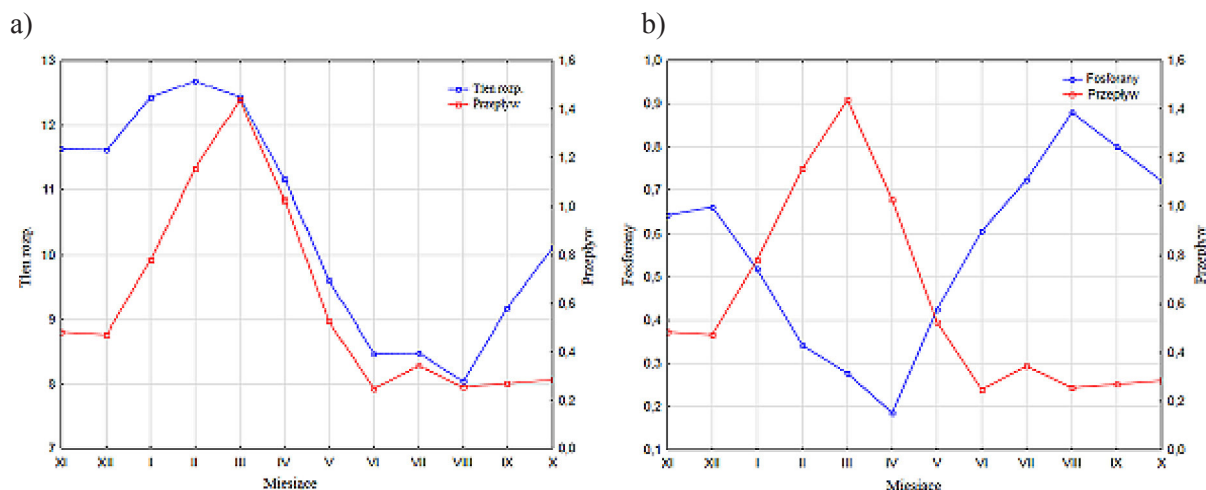
Rys. 2. Procentowy udział wybranych parametrów fizykochemicznych w poszczególnych klasach jakości wód powierzchniowych

Fig. 2. Percentage of selected physicochemical parameters in the particular classes of surface water quality

Tabela 2. Analiza korelacji wybranych parametrów jakości wody oraz natężenia przepływu rzeki Głównej w latach 1996–2009

Table 2. Correlation analysis of selected parameters of water quality and flow in the Główna river in the years 1996–2009

| Parametr | O ₂ | BZT ₅ | μS | mg | pH | N _{NH4} | N ^I | N _{NO3} | N ^{II} | PO ₄ | P | Q |
|------------------|----------------|------------------|--------------|-------------|--------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| O ₂ | | 0.04 | 0.37 | 0.21 | 0.10 | 0.54 | 0.09 | 0.30 | 0.29 | -0.41 | -0.45 | 0.39 |
| BZT ₅ | 0.04 | | -0.27 | -0.16 | 0.03 | -0.08 | 0.45 | -0.07 | 0.11 | -0.15 | 0.06 | 0.05 |
| μS | 0.37 | -0.27 | | 0.54 | 0.11 | 0.51 | -0.04 | 0.47 | 0.44 | -0.04 | -0.02 | 0.00 |
| mg | 0.21 | -0.16 | 0.54 | | -0.07 | 0.24 | -0.01 | 0.44 | 0.42 | -0.17 | -0.17 | 0.15 |
| pH | 0.10 | 0.03 | 0.11 | -0.07 | | 0.02 | -0.11 | 0.02 | -0.02 | -0.25 | -0.14 | -0.02 |
| N _{NH4} | 0.54 | -0.08 | 0.51 | 0.24 | 0.02 | | 0.26 | 0.33 | 0.40 | -0.09 | -0.12 | -0.04 |
| N ^I | 0.09 | 0.45 | -0.04 | -0.01 | -0.11 | 0.26 | | -0.13 | 0.26 | 0.12 | 0.21 | 0.02 |
| N _{NO3} | 0.30 | -0.07 | 0.47 | 0.44 | 0.02 | 0.33 | -0.13 | | 0.92 | -0.20 | -0.22 | 0.19 |
| N ^{II} | 0.29 | 0.11 | 0.44 | 0.42 | -0.02 | 0.40 | 0.26 | 0.92 | | -0.14 | -0.12 | 0.17 |
| PO ₄ | -0.41 | -0.15 | -0.04 | -0.17 | -0.25 | -0.09 | 0.12 | -0.20 | -0.14 | | 0.82 | -0.32 |
| P | -0.45 | 0.06 | -0.02 | -0.17 | -0.14 | -0.12 | 0.21 | -0.22 | -0.12 | 0.82 | | -0.31 |
| Q | 0.39 | 0.05 | 0.00 | 0.15 | -0.02 | -0.04 | 0.02 | 0.19 | 0.17 | -0.32 | -0.31 | |



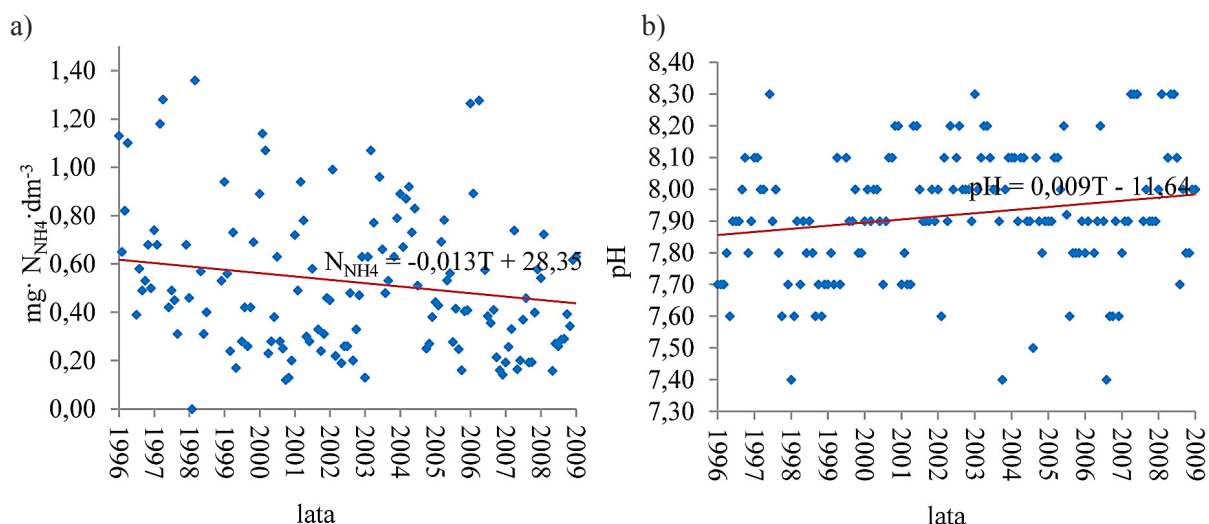
Rys. 3. Sezonowa zmienność na tle średnich miesięcznych przepływów tlenu rozpuszczonego (A) i fosforanów (B) w wodach rzeki Głównej w latach 1996–2009

Fig. 3. Seasonal variation of dissolved oxygen (A) and phosphate (B) on the background of monthly flow in the Główna river in the years 1996–2009

Tabela 3. Trendy czasowe wybranych parametrów fizykochemicznych w wodach rzeki Głównej w latach 1996–2009

| Parametr | Jednostka | Poziom istotności p _a = 0,05 | |
|-------------------------|--|---|-------------------------|
| | | metoda parametryczna | metoda nieparametryczna |
| BZT ₅ | mg O ₂ · dm ⁻³ | 0 | 0 |
| Substancje rozpuszczone | mg · dm ⁻³ | – | – |
| pH | pH | + | + |
| Azot amonowy | mg N _{NH4} · dm ⁻³ | – | – |
| Azot Kjeldhala | mg N · dm ⁻³ | 0 | 0 |
| Azot azotanowy | mg N _{NO3} · dm ⁻³ | 0 | 0 |
| Azot ogólny | mg N · dm ⁻³ | 0 | 0 |
| Fosforany | mg PO ₄ · dm ⁻³ | 0 | 0 |
| Fosfor ogólny | mg P · dm ⁻³ | 0 | 0 |

Oznaczenia: „+” – trend dodatni „-” – trend ujemny „0” – trend nieistotny.



Rys. 4. Stężenie azotu amonowego (A) i odczynu (B) w wodach rzeki Głównej w latach 1996–2009
Fig. 4. Concentration of ammonia nitrogen(A) and pH(B) the Główna river in the years 1996–2009

W celu oceny czasowej tendencji zmian stanu fizykochemicznego wód rzeki Głównej w latach 1996–2009 przeprowadzono analizę trendów (tab. 3). Przeprowadzona analiza wykazała, że odczyn wody cechował się tendencją wzrostową, natomiast stężenia substancji rozpuszczonych i azotu amonowego obniżały się. Stężenia pozostałych parametrów fizykochemicznych charakteryzowały się sezonowością bez wyraźnej tendencji do zmian. Wyniki analizy wykonanej metodą nieparametryczną Manna-Kendalla były zgodne z wynikami analizy McBean'a i Rovers'a w przypadku wszystkich analizowanych parametrów fizykochemicznych. Na rysunku 4 przedstawiono stężenia azotu amonowego (A) i odczynu (B) w latach 1996–2009.

Średnie stężenie azotu amonowego w roku 1996 wynosiło $0,69 \text{ mg N}_{\text{NH}_4} \cdot \text{dm}^{-3}$, w roku 2009 zmalało do $0,56 \text{ N}_{\text{NH}_4} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartość odczynu w analizowanym okresie wzrosła o 0,13 pH, z 7,83 pH do 7,96 pH. Stężenia azotu amonowego obniżały się średnio rocznie $0,013 \text{ N}_{\text{NH}_4} \cdot \text{dm}^{-3}$, wartość odczynu wzrastała średnio 0,01 pH.

PODSUMOWANIE

Wody rzeki Głównej w latach 1996–2009 charakteryzowały się stanem poniżej dobrego. Decydowały o tym podwyższone wartościami BZT_5 i fosforu ogólnego oraz wysokie wartości azotu Kjeldahla i fosforanów. Ujemne korelacje pomiędzy przepływami rzeki Głównej a stężeniami fosforanów i fosforu ogólnego świadczą o pochodzeniu tych związków głównie ze źródeł punktowych.

Uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej w gminach położonych na terenie zlewni nie wpłynęło istotnie na poprawę stanu fizykochemicznego wód rzeki Głównej. Podwyższone zawartości fosforu w wodach rzeki Głównej mogą wynikać z gospodarki wodno-ściekowej prowadzonej na terenach rekreacyjnych w strefie bezpośrednio przyległej do jezior.

LITERATURA

1. Dąbrowska J. 2008. Ocena zawartości związków azotu i fosforu w wodach rzeki Trzemny. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, PAN Oddział w Krakowie, 7, 57–68.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2000/60/EC z dnia 23 października 2000 roku, ustalająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
3. Gałczyńska M., Gamrat R., Pacewicz K. 2011. Influence of different uses of the environment on chemical and physical features of small water ponds. Pol. J. Environ. Stud, 20(4), 885–894.
4. Baza danych lokalnych, GUS. www.stat.gov.pl/bdl
5. Kanclerz J., Murat-Błażejewska S., Sojka M., Przybył A. 2010. Zmiany jakości wody i struktury ichtiofauny rzeki nizinnej w latach 2000–2009. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 9.
6. Kondracki J. 2002. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
7. Kowalik, T., Kanownik, W., Bogdał, A., Policht-Latawiec, A. 2015. Wpływ zmian użytkowania zlewni wyżynnej na kształtowanie jakości wody powierzchniowej. Rocznik Ochrona Środowiska, 16(1).

8. Miatkowski Z., Smarzyńska K. 2014. Dynamika zmian stężenia związków azotu w wodach górnej Zgłowiączki w latach 1990-2011. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 3(47), 99–111.
9. Policht-Latawiec A., Kanownik W., Łukasik, D. 2013. Wpływ zanieczyszczeń punktowych na jakość wody rzeki San. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1(4).
10. Pulikowski K., Małecka I., Małecki Z., Moszinskij V. 2013. Ochrona zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzenia rolniczego. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska*, 8-9, 7–18.
11. Rauba M. 2009. Zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych zlewni użytkowanej rolniczo na przykładzie zlewni rzeki Śliny. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 505–512.
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych
13. Shrestha S., Kazama F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464–475.
14. Simeonova P., Simeonov V., Andreev G. 2003. Water quality study of the Struma river basin, Bulgaria (1989–1998). *Cent. Eur. J. Chem.*, 1(2), 121–136.
15. Sojka M., Murat-Błazejewska S. 2010. Wykorzystanie wielowymiarowych metod statystycznych do określenia jakości wody. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 548, cz. II, 513–524.
16. Raport o stanie Środowiska w Wielkopolsce 1996–2009. WIOŚ Biblioteka Monitoringu Środowiska.
17. Żurek A. 2009. Ocena poziomu wymycia azotanów do wód podziemnych na podstawie badań w małych zlewniach rolniczych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 436, 589–596.