

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

Z E S Z Y T Y
N A U K O W E
W Y D Z I A Ł U
B U D O W N I C T W A
I I N Ż Y N I E R I I
Ś R O D O W I S K A
NR 22

I N Ż Y N I E R I A Ś R O D O W I S K A



Ocena jakości zasobów wodnych rzeki Małej Wełny dla potrzeb bilansu wodno-gospodarczego

*Sadżide Murat-Błażejewska, Mariusz Sojka
Katedra Melioracji, Kształtowania
Środowiska i Geodezji
Akademia Rolnicza
im. A. Cieszkowskiego, Poznań*

1. Wstęp

Celem gospodarki wodnej jest zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości wody w czasie i przestrzeni dla racjonalnego i trwałego zaspokojenia aktualnych i perspektywicznych potrzeb wodnych użytkowników. Do tego niezbędna jest znajomość możliwie wszystkich czynników kształtujących wielkość i stan jakościowy zasobów wodnych danego obszaru [3]. W związku z tym, że zasoby wodne i prawdopodobieństwo pokrycia potrzeb wodnych użytkowników i konsumentów wyznaczane są w oparciu o zmienne przepływy, stąd też i ocena jakości wody musi uwzględniać te zmiany [2]. Charakterystyka jakości wody, oparta na wiarygodnych i licznych seriach jednoczesnych pomiarów stanu i składu wody oraz wielkości przepływów, stanowi jeden z głównych elementów bilansu wodno-gospodarczego.

2. Materiały i metody

Ocena jakości wód rzeki Małej Wełny była przedmiotem wcześniejszej publikacji [5]. W pracy analizowano jakość wód rzeki wzdłuż jej biegu w latach 2000÷2002, oraz poszukiwano czasowych trendów w zmianach składu i stanu zanieczyszczeń tych wód.

W niniejszej pracy ustalono zależności pomiędzy natężeniem przepływu a stężeniem i ładunkiem zanieczyszczeń w wodach rzeki w przekroju Kiszkowo. Powyższe związki były istotne nie tylko dla identyfikacji źródeł pochodzenia tych składników, ale również dla dokonania oceny jakości wód dla potrzeb bilansu wodno-gospodarczego.

Szczegółowe badania i obserwacje terenowe prowadzone były w zlewni Małej Wełny do przekroju Kiszkowo w latach hydrologicznych 2000÷2003 i obejmowały: pomiary hydrometryczne oraz pobór próbek wody z przekroju zamykającego analizowaną zlewnię, z częstotliwością raz w miesiącu. Łącznie pobrano 42 próbki wody i poddano je analizom laboratoryjnym. Fizykochemiczne analizy wód obejmowały oznaczenia wskaźników i składników charakteryzujących właściwości fizyczne wody (pH, temperatura), warunki tlenowe (zawartość tlenu rozpuszczonego, BZT₅, ChZT), stężenie substancji organicznych (sucha pozostałość lotna), skład mineralny (zawartość Ca, Mg, Cl, SO₄), metale ciężkie (Fe) i obecność biogenów (NH₄, NO₂, NO₃, PO₄). Analizy wody wykonywano zgodnie z **Wykazem norm...** [7]. Podstawą oceny jakości badanych wód było **Rozporządzenie Ministra Środowiska** w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód [6].

Warunki meteorologiczne w zlewni w latach hydrologicznych 2000÷2003 scharakteryzowano na podstawie pomiarów z dwóch własnych posterunków opadowych w Kiszkowie i Łopiennie na tle pomiarów meteorologicznych (opady atmosferyczne i temperatury powietrza) z wielolecia 1989÷2000 ze stacji IMGW w Gnieźnie. Zależności pomiędzy miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych pomierzonymi na stacjach opadowych w Kiszkowie i Łopiennie a stacją w Gnieźnie były istotne na poziomie $\alpha=0,05$ i można je było opisać równaniami regresji liniowej, o współczynnikach kierunkowych zbliżonych do jedności [4].

Warunki hydrologiczne ustalono na podstawie własnych codziennych pomiarów stanów wody w przekroju Kiszkowo oraz comiesięcznych pomiarów hydrometrycznych niezbędnych do obliczenia natężenia przepływu.

Wyniki badań ilości i jakości wody były podstawą poszukiwania zależności pomiędzy stężeniami zanieczyszczeń w wodzie a przepływami $S(Q)$. Uzyskano wiarygodne (statystycznie istotne na poziomie $\alpha=0,05$) związki

z przepływami dla stężeń tlenu rozpuszczonego, azotanów, azotu amonowego i fosforanów. W następnym etapie obliczeń poszukiwano związku pomiędzy ładunkami zanieczyszczeń i przepływami $L(Q)$. Zależności te opisano następującymi równaniami regresji: $L=aQ+b$ i $L=aQ$. Dla potrzeb klasyfikacji na wykresy o najwyższym współczynniku korelacji wprowadzono cztery proste określające dopuszczalny ładunek zanieczyszczeń dla poszczególnych klas czystości. Proste te, opisane równaniem $L_d=aQ$, mają współczynniki kierunkowe odpowiadające górnym wartościom dopuszczalnych stężeń dla obowiązujących klas. Z krzywych sum czasów trwania przepływów wraz z wyższymi określono czas trwania wód I, II, III, IV i V klasy czystości.

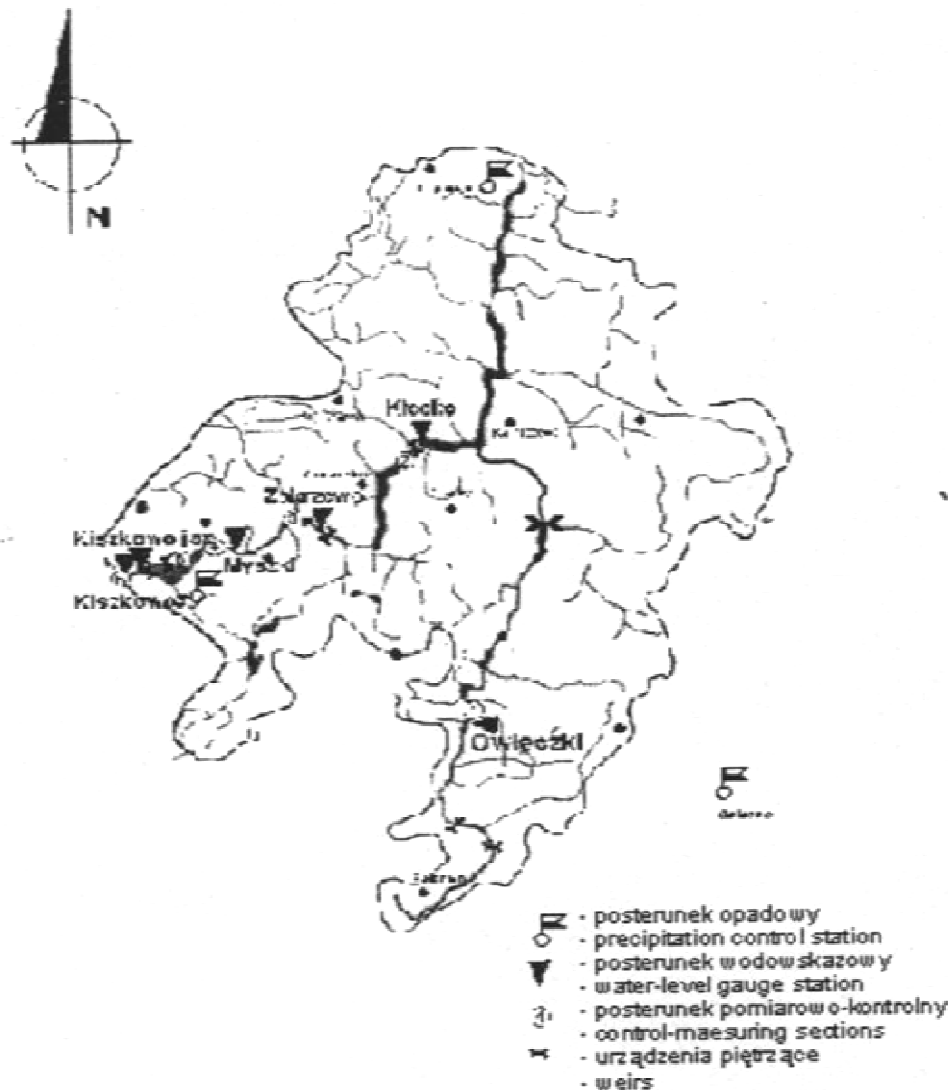
3. Wyniki badań i dyskusja

Zlewnia Małej Wełny do przekroju Kiszkowo położona jest w środkowej części Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej na Wysoczyźnie Gnieźnieńskiej. Powierzchnia badanej zlewni wynosi 342 km², a średni spadek podłużny rzeki – 0,58%. Źródła rzeki stanowią podmokłe łąki położone około 12,5 km na południowy zachód od Gniezna (rysunek 1). Od źródeł do przekroju zamykającego zlewnię rzeka przepływa przez osiem jezior o łącznej powierzchni 392,8 ha. Całkowita powierzchnia wód stojących w zlewni wynosi 780,5 ha (łącznie 19 jezior i kompleks stawów rybnych), co w odniesieniu do powierzchni zlewni daje wskaźnik jeziorności 2,3%. Obszar objęty badaniami ma charakter typowo rolniczy, użytki rolne zajmują 82,7% powierzchni zlewni, z czego 75,2% stanowią grunty orne, 7,2% użytki zielone i 0,3% sady. Lasy pokrywają niespełna 6,0% powierzchni zlewni. Gleby wytworzone są głównie z utworów mineralnych o składzie glin piaszczystych i piasków gliniastych.

Wody Małej Wełny wykorzystywane są głównie do celów rolniczych (hodowla ryb i nawodnienia podsiąkowe użytków zielonych). Zakłady przemysłowe i ludność z miejscowości położonych na analizowanym obszarze korzysta z ujęć wód podziemnych. Gospodarka wodno-ściekowa w gminach oparta jest głównie na zbiornikach bezodpływowych. Stosunek długości sieci wodociągowej do kanalizacyjnej wynosi 10,6. Głównym źródłem zanieczyszczeń rzeki są zrzuty z oczyszczalni ścieków położonych wzdłuż jej biegu.

Charakterystykę przebiegu warunków meteorologicznych w badanej zlewni w latach hydrologicznych 2000÷2003 wykonano na podstawie odchyień sum rocznych opadów atmosferycznych i średnich rocznych temperatur powietrza na tle pomiarów z wielolecia 1989÷2003. W wieloleciu tym średni roczny wskaźnik pomierzonego opadu wyniósł 518 mm, a średnia roczna temperatura 8,5°C. Lata hydrologiczne 2000÷2002 były latami wilgotnymi pod względem wielkości opadów atmosferycznych, sumy opadów były wyższe odpowiednio o 24%, 12% i 15% od średniej z wielolecia. Pod względem temperatury powie-

trza atmosferycznego lata hydrologiczne 2000 i 2002 charakteryzowały się temperaturami wyższymi o $0,7^{\circ}\text{C}$ i $0,8^{\circ}\text{C}$ od średniej z wielolecia, a rok hydrologiczny 2001 był rokiem przeciętnym. Ostatni rok badań 2003 był bardzo suchy (suma opadu niższa o 172 mm od średniej z wielolecia) i chłodny.



Rys. 1. Zlewnia rzeki Małej Wełny do przekroju Kiszkowo
 Fig. 1. Catchment of the Mała Wełna river to Kiszkowo cross section

W latach badań 2000+2003 przepływy chwilowe wahały się od $0,100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $3,183 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a średni przepływ w przekroju Kiszkowo wyniósł $0,547 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Najwyższy średnio roczny przepływ zanotowano w roku 2002 wilgotnym pod względem opadów atmosferycznych i ciepłym ($0,897 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a najniższy w roku 2003 bardzo suchym i chłodnym ($0,349 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Średnie

przepływy w zimowych półroczach hydrologicznych były od 1,05 do 4,39 wyższe niż w letnich półroczach hydrologicznych, a współczynniki zmienności wyniosły: w półroczach zimowych 3,46 i letnich 1,96. Na wielkość i rozkład przepływu rzeki w przekroju Kiszkowo, poza warunkami meteorologicznymi, wpływały budowle piętrzące usytuowane wzdłuż biegu rzeki oraz kompleks stawów rybnych (karpiowych) położony powyżej wymienionego przekroju. Wskutek tego w latach o zbliżonym przebiegu warunków meteorologicznych średni roczny przepływ w roku 2002 był ponad 2,2-krotnie wyższy niż w roku 2000. Średni niski przepływ utożsamiany z przepływem nienaruszalnym w badanym okresie wyniósł $0,138 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a przepływ najdłużej trwający NTQ = $0,277 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Wyniki badań hydrochemicznych wykazały, że w latach 2000÷2002 wody Małej Wełny w przekroju Kiszkowo odpowiadały normom I, II i III klasy jakości pod względem większości badanych wskaźników. Niskie stężenia tlenu rozpuszczonego oraz wysokie stężenia ChZT powodowały, że wody odpowiadały normom IV i V klasy jakości [5]. Na złą jakość wody wpływ miały również podwyższone stężenia fosforanów.

W 2003 roku, także normy III klasy przekraczane były przez podwyższone stężenia ChZT (62,5% przebadanych próbek odpowiadało normom IV klasy jakości) i niskie stężenia tlenu rozpuszczonego (25% próbek odpowiadało normom V klasy jakości).

Analiza korelacji liniowej pomiędzy badanymi parametrami jakości wody wykazała, że niektóre z nich są ze sobą istotnie skorelowane na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Z natężeniami przepływu dodatnio skorelowane były stężenia azotanów i tlenu rozpuszczonego a ujemnie stężenia fosforanów i azotu amonowego (tabela 1). Dodatnia korelacja, pomiędzy natężeniem przepływu i stężeniem azotanów może świadczyć o wymywaniu tych składników przez spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe. Ujemne wartości współczynnika korelacji pomiędzy natężeniem przepływu a stężeniem fosforanów i azotu amonowego świadczy o rozcieńczaniu tych substancji przy wysokich przepływach. Prawdopodobnie, przy niskich przepływach w rzece następuje uwalnianie fosforanów z osadów dennych, co potwierdza ujemna korelacja ze stężeniem tlenu rozpuszczonego.

Ocenę jakości wód rzeki Małej Wełny dla potrzeb bilansu wodno-gospodarczego wykonano na podstawie zależności pomiędzy natężeniami przepływu a ładunkami zanieczyszczeń [3]. Z przepływami istotnie skorelowane były prawie wszystkie ładunki zanieczyszczeń z wyjątkiem azotu amonowego i fosforanów (tabela 1). Zgodnie z przyjętą metodyką sporządzono wykresy $L=f(Q)$, na których zaznaczono proste określające graniczny ładunek dla I, II, III i IV klasy czystości (rysunek 2). Pozwoliło to na wyznaczenie granicznych przepływów, dla których wody spełniają wymogi obowiązujących klas czysto-

ści. Wartości granicznych przepływów dla azotu amonowego i fosforanów ustalono na podstawie zależności $S=f(Q)$ [1,2]. O końcowym wyniku klasyfikacji ogólnej zdecydowały najdłuższe przedziały przepływów o jakości wód odpowiadającej określonej klasie czystości (rysunek 3).

Tabela 1. Statystyczna istotność korelacji między natężeniem przepływu a stężeniami i ładunkami zanieczyszczeń rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo w latach hydrologicznych 2000÷2003

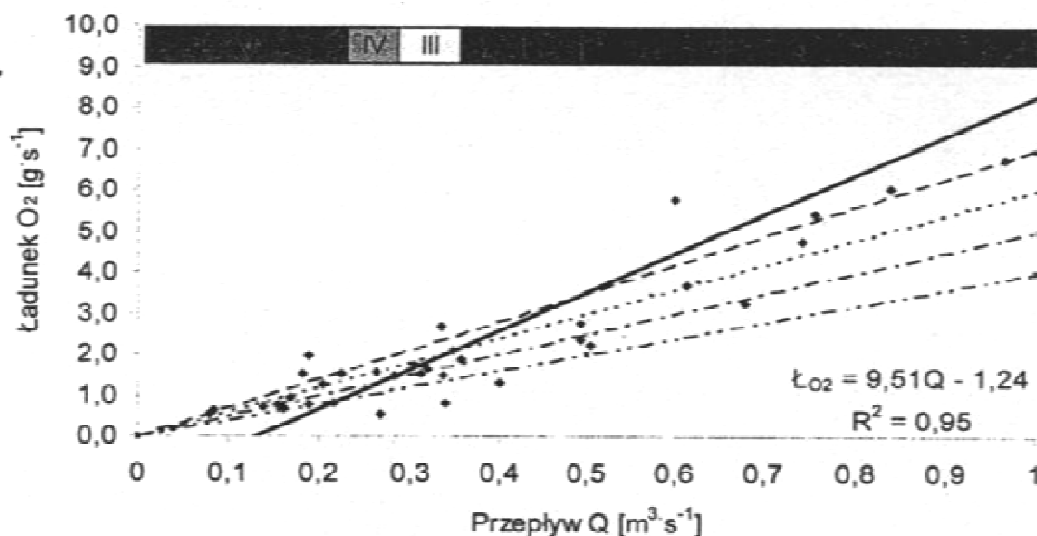
Table 1. The statistical significance of correlation between flow intensity and concentrations and loads of pollutants of Mała Wełna river at Kiszkowo cross section in 2000÷2003 hydrological years

Lp.	Stężenia:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ładunki
1	tlen rozp. [mg dm ⁻³]	█	+	+	+	+	0	+	0	0	+	+	+	+	tlen rozp. [g s ⁻¹]
2	BZT ₅ [mg dm ⁻³]	0	█	+	+	+	0	+	0	0	+	+	+	+	BZT ₅ [g s ⁻¹]
3	CHZT [mg dm ⁻³]	0	+	█	+	+	0	+	0	0	+	+	+	+	CHZT [g s ⁻¹]
4	azotany [mg dm ⁻³]	+	0	0	█	+	0	+	0	0	+	+	+	+	azotany [g s ⁻¹]
5	azotyny [mg dm ⁻³]	0	0	0	0	█	0	+	0	0	+	+	+	+	azotyny [g s ⁻¹]
6	amoniak [mg dm ⁻³]	0	0	0	0	0	█	0	+	+	0	0	0	0	amoniak [g s ⁻¹]
7	siarczany [mg dm ⁻³]	+	0	0	0	0	0	█	0	+	+	+	+	+	siarczany [g s ⁻¹]
8	fosforany [mg dm ⁻³]	-	0	0	-	0	+	-	█	+	0	0	0	0	fosforany [g s ⁻¹]
9	żelazo [mg dm ⁻³]	0	0	0	0	0	0	0	+	█	+	+	+	+	żelazo [g s ⁻¹]
10	wapń [mg dm ⁻³]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	█	+	+	+	wapń [g s ⁻¹]
11	magnez [mg dm ⁻³]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	█	+	+	magnez [g s ⁻¹]
12	chlorki [mg dm ⁻³]	-	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	█	+	chlorki [g s ⁻¹]
13	przepływ [m ³ s ⁻¹]	+	0	0	+	0	-	0	-	0	0	0	0	█	przepływ [m ³ s ⁻¹]

„+” – współczynnik korelacji istotny, correlation coefficient is significant (dla $\alpha=0,05$) $i > 0$,

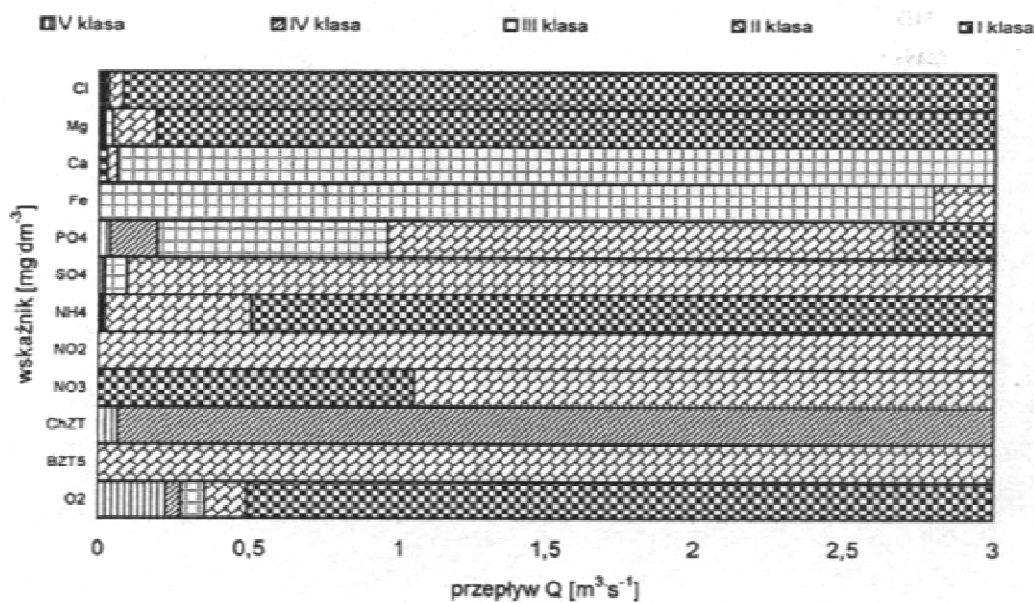
„-” – współczynnik korelacji istotny, correlation coefficient is significant (dla $\alpha=0,05$) $i < 0$,

„0” – brak istotnej korelacji, correlation coefficient is insignificant.



Rys. 2. Jakość wód rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo na przykładzie zależności pomiędzy ładunkiem tlenu rozpuszczonego a natężeniem przepływu z naniesionymi liniami granicznymi wg obowiązujących klas czystości

Fig. 2. Mała Wełna river water quality at Kiszkowo cross section based on the relationship between the dissolved oxygen load and the flow intensity with provided boundary lines according to the obligatory water quality classes



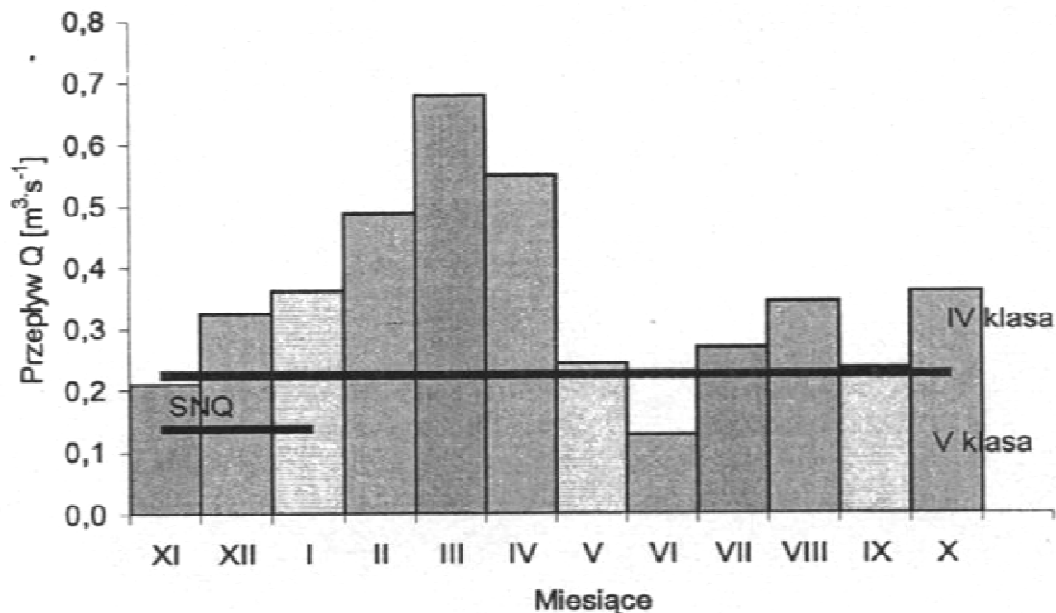
Rys. 3. Ogólna klasyfikacja jakości wód rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo w latach 2000÷2003 dla potrzeb bilansu wodno-gospodarczego

Fig. 3. Total water quality classification of Mała Wełna river at Kiszkowo cross section in 2000÷2003 hydrological years for water-economic requirement

W zakresie przepływów $0 \div 0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wody Małej Wełny odpowiadały normom V klasy czystości (wody złej jakości), co powodowane było niskimi stężeniami tlenu rozpuszczonego. Czas trwania przepływów wody złej jakości w bardzo suchym roku 2003 wynosił około 100 dni, a w latach wilgotnych wahał się od 0 do 96 dni. Przy przepływach wyższych od $0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ze względu na wysokie stężenia ChZT, wody rzeki spełniały wymagania stawiane wodom powierzchniowym wykorzystywanym dla zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia w przypadku jej uzdatniania sposobem właściwym dla kategorii A3 (IV klasa).

Zawartość substancji biogenych w wodach Małej Wełny była zróżnicowana: stężenia fosforanów wynosiły od 0 do $2,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ a azotu amonowego od 0,01 do $1,69 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenia azotynów w całym zakresie zmienności przepływów kwalifikował je do wód dobrej jakości (II klasa), a stężenia azotanów przy przepływach niższych od $1,047 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, do wód bardzo dobrej jakości (I klasa). Wskaźnikiem decydującym o klasyfikacji ogólnej, odniesionej do substancji biogenych, były stężenia fosforanów, które przy przepływach niższych od $0,192 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (utrzymywały się w roku bardzo suchym przez 72 dni, a w latach wilgotnych od 0 w roku 2000 do 70 w roku 2002) spełniały wymagania IV i V klasy czystości. Przy przepływach z zakresu od 0,192 do $0,965 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, występowały wody zadawalającej jakości, a ich czas trwania wynosił od 197 dni w roku 2002 do 356 dni w roku 2000.

Bilans zasobów wodnych (wyznaczenie zasobów dyspozycyjnych) Małej Wełny w przekroju Kiszkowo, z uwzględnieniem jakości wód dla miesięcznego przedziału czasowego i w odniesieniu do obowiązujących klas, przedstawiono na rysunku 4. Zaobserwowano, że wartość przepływu granicznego dla IV klasy czystości ($0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) była wyższa od średniego niskiego przepływu z lat 2000÷2003 ($0,138 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), więc o możliwości wykorzystania zasobów wodnych w tym przekroju głównie decyduje jakość wody.



Rys. 4. Średnie miesięczne przepływy rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo w roku hydrologicznym 2003 z uwzględnieniem klas czystości

Fig. 4. Mean monthly water flow of Mała Wełna river at Kiszkowo cross section in 2003 hydrological year including water quality classes

4. Wnioski

Wyniki badań hydrochemicznych prowadzonych w latach 2000–2003 wykazały, że przy przepływach niższych od $0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wody Małej Wełny odpowiadały normom V klasy czystości i decydowały o tym niskie stężenia tlenu rozpuszczonego. Dodatkowo, graniczna wartość przepływu dla IV klasy czystości była wyższa o $0,087 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od przepływu średniego niskiego z badanych lat i ograniczała możliwości wykorzystania zasobów wodnych. Analiza korelacji liniowej pomiędzy stężeniami zanieczyszczeń i natężeniem przepływu wykazała, że z przepływami dodatnio skorelowane były stężenia tlenu rozpuszczonego i azotanów, a ujemnie stężenia fosforanów i azotu amonowego.

Literatura

1. Bartoszewski K.: *Określenie zasobów wód z uwzględnieniem stanu ich zanieczyszczenia*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inż. Środ. III, z.232: 65–75, 1993.
2. Bartoszewski K., Korol R.: *Wpływ stanu zanieczyszczenia rzek na zasoby wód*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Konferencje V, z. 248: 35–42, 1994.
3. Janeczko A., Florczyk-Gołowin H.: *Bilans ilościowo-jakościowy Nysy Kłodzkiej*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inż. Środ. III, z.232: 107–117, 1993.
4. Kujawa J.: *Wpływ gospodarowania wodą w stawach rybnych na odpływ ze zlewni Małej Wełny*. AR w Poznaniu, maszyn. 2004.

5. Murat-Błażejewska S., Kujawa J., Sojka M.: *Tendencje zmian jakości wód rzeki Małej Wełny*. Roczn. AR w Poznaniu CCCLVII, Melior. Inż. Środ. 25:389-396, 2004.
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód z dnia 11 lutego 2004r. Dz. U. Nr 32, poz. 283 i 284.
7. Wykaz norm z zakresu analityki wody i ścieków. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej – Zespół Normalizacji, Warszawa, 1993.

Streszczenie

W pracy dokonano oceny jakości wód rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo w latach hydrologicznych 2000÷2003. Ustalono zależności pomiędzy natężeniem przepływu a stężeniem i ładunkiem zanieczyszczeń, powyższe związki były istotne nie tylko dla identyfikacji źródeł pochodzenia tych składników, ale również dla dokonania oceny jakości wód dla potrzeb bilansu wodno-gospodarczego.

Wyniki badań hydrochemicznych wykazały, że wody rzeki Małej Wełny w przekroju Kiszkowo odpowiadały normom IV i V klasy czystości, co powodowane było niskimi stężeniami tlenu rozpuszczonego (niższymi od $4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) w zakresie przepływów $0 \div 0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, oraz wysokimi stężeniami ChZT (w całym zakresie zmienności przepływów). Graniczna wartość przepływu dla IV klasy czystości ($0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) była wyższa od średniego niskiego przepływu ($0,138 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) z lat hydrologicznych 2000÷2003, więc o możliwości wykorzystania zasobów wodnych w tym przekroju głównie decyduje jakość wody.

Evaluation Of Water Resources Quality Of Mała Wełna River For Water-Economic Balance Requirements

Abstract

In this paper the evaluation of water quality of Mała Wełna river at Kiszkowo cross section in 2000÷2003 hydrological years was accomplished. The correlations between flow intensity and pollutants' concentrations and loads were established. Those correlations were important not only for identification of the origin of those components source, but also for evaluation of water quality for water-economic balance requirements.

The results of hydrochemical research revealed that water of Mała Wełna river at Kiszkowo cross section is in IV and V class of water cleanness. This situation was caused by the low concentrations of dissolved oxygen (lower than $4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) in range of flow $0 \div 0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ and high concentrations of COD (at entire variability range of flows). The boundary value of flow for IV class of water cleanness ($0,225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) was higher than mean low flow $0,138 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ identifying with inviolable flow. So, the possible decision about water resources use in this cross section depends generally on water quality.