

OBCIĄŻENIE ZLEWNI GÓRNEGO DUNAJCA SKŁADNIKAMI NAWOZOWYMI W DWUDZIESTOLECIU 1976–1996

Sylwester SMOROŃ, Stanisław TWARDY

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

Słowa kluczowe: obciążenie NPK, stężenie $N-NO_3$, $N-NH_4$, PO_4^{3-} , wody powierzchniowe

Streszczenie

W pracy przedstawiono obciążenie zlewni górnego Dunajca (po przekrój w Krościenku) w latach 1976–1996 składnikami nawozowymi (NPK) pochodzącymi z produkcji zwierzęcej (nawozy naturalne) i roślinnej (nawozy mineralne) oraz z działalności bytowej. Scharakteryzowano jakość wód powierzchniowych głównych rzek, szczególnie stężenie w nich azotu azotanowego, amonowego i fosforanów. W wodzie Białego Dunajca stężenie $N-NO_3$ było ponad dwukrotnie, a fosforanów nawet siedmiokrotnie większe niż w Czarnym Dunajcu i Dunajcu. W końcowych latach w wodzie Białego Dunajca obserwowano zwiększenie stężenia fosforanów, mimo równoczesnego zmniejszenia obciążenia tej zlewni fosforem. Wskazuje to prawdopodobnie na dodatkowy dopływ zanieczyszczeń komunalnych związany z pobytam dużej liczby turystów i wczasowiczów.

WSTĘP

Znaczne urzeźbienie terenu sprzyja przenikaniu wszelkich zanieczyszczeń do środowiska wodnego. Efektem tego są nasilające się coraz bardziej procesy eutrofizacji, stanowiące podstawowe zagrożenie dla jakości wód. Szczególnie uciążliwe są ścieki surowe, czyli nieoczyszczone, odprowadzane do naturalnych cieków. Zawierają one różne szkodliwe substancje mineralne i organiczne [MACIAK, 1999]. Ze względu na pochodzenie można je podzielić na: komunalne, przemysłowe i rolnicze. Zanieczyszczenia na obszarze zlewni górnego Dunajca to głównie za-

Adres do korespondencji: dr inż. S. Smoroń, Małopolski Ośrodek Badawczy IMUZ, ul. Ułanów 21b, 31-450 Kraków; tel. +48 (12) 411-52-08, e-mail: imuzkrak@kki.pl

nieczyszczenia z dwóch ostatnich grup. One decydują o jakości wód powierzchniowych.

W ostatnich latach na Podhalu nastąpiły istotne przemiany środowiska przyrodniczego, podobnie jak w całej Polsce [KOZŁOWSKI, 2001]. Do korzystnych zmian należy zaliczyć między innymi zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych i herbicydów oraz stopniowe zwiększenie lesistości, do niekorzystnych zaś – zwiększenie zanieczyszczenia wód powierzchniowych oraz obciążenia środowiska odpadami komunalnymi.

Celem prezentowanych badań jest określenie kierunku zmian obciążenia zlewni górnego Dunajca (po przekrój w Krościenku) składnikami nawozowymi (NPK), powstającymi w trakcie produkcji zwierzęcej, wprowadzanymi z nawozami mineralnymi oraz pochodzącymi od stałych mieszkańców. Przedstawione zostaną również tendencje zmian jakości wód głównych rzek przepływających przez omawiany obszar (szczególnie stężenia w nich $N-NO_3$, $N-NH_4$ oraz PO_4^{3-}).

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Rozpatrywany fragment Podhala jest odwadniany przez Dunajec i jego dopływy, z których ważniejsze to: Biały i Czarny Dunajec, Białka, Niedziczanka (niosące wody z Tatr i ze Spisza) oraz Grajcarek, zbierający wody z obszaru Małych Pienin. Oprócz tego występują liczne potoki, odprowadzające wody z pasma Gorców oraz Pienin Właściwych [TWARDY, KOPACZ, JAGUŚ, 2002].

Objęta badaniami część zlewni górnego Dunajca (po przekrój w Krościenku) zajmuje obszar około 1580 km². Wchodzące w jej skład zlewnie cząstkowe Białego Dunajca (po przekrój Szaflary) i Czarnego Dunajca (po przekrój w Nowym Targu) zajmują odpowiednio: 210 oraz 432 km² [Atlas ..., 1995–1996].

Średnia roczna temperatura z wielolecia w piętrze umiarkowanie chłodnym, w którym leży omawiany obszar, mieści się w granicach 4–6°C, a w najwyższych partiach (Tatry – piętro zimne) od –2 do –1°C. Roczne sumy opadów atmosferycznych są wysokie i bardzo wysokie, zróżnicowane od około 800 mm (Kotlina Nowotarsko-Orawska) do 1800–2000 mm w szczytowych partiach Tatr [Atlas ..., 1985; NIEDŹWIEDŹ, OBRĘBSKA-STARKŁOWA, 1991]. Efektem takich opadów atmosferycznych są znaczne zasoby wody wynoszące średnio z wielolecia w zlewni Czarnego Dunajca 285 mln m³·rok⁻¹ (średni roczny przepływ $SSQ - 9,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Białego Dunajca – 167 mln m³·rok⁻¹ ($SSQ - 5,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a całego górnego Dunajca po przekrój w Krościenku około – 970 mln m³·rok⁻¹ ($SSQ - 30,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) [Atlas ..., 1995–1996; ŁANIEWSKI, 1997].

Połowę zlewni górnego Dunajca zajmowały użytki rolne (50,1%), około 39,3% przypadło na lasy, a pozostałe, tj. grunty pod zabudowaniami i nieużytki, zajmowały łącznie 10,8% [SMOROŃ, TWARDY, 2001]. W strukturze użytków rolnych dominowały łąki i pastwiska (78,3%), a grunty orne stanowiły niespełna 20%. Na

obszarze częściowej zlewni Białego Dunajca użytki rolne w powierzchni ogólnej stanowiły 56,3, a lasy 35,9%. Udział łąk i pastwisk w strukturze użytków rolnych wynosił około 90, a gruntów orných około 10%. Struktura użytkowania ziemi w zlewni Czarnego Dunajca była następująca: użytki rolne – 49,8%, lasy – 41,7%, grunty orne – 14,3%, a łąki i pastwiska – 85,7% powierzchni użytków rolnych.

Obsada zwierząt gospodarskich na obszarze całej zlewni górnego Dunajca wynosiła średnio w okresie badań 73,4, w częściowej zlewni Białego Dunajca 80,1 i Czarnego Dunajca 77,3 SD na 100 ha użytków rolnych.

Gęstość zaludnienia w zlewni górnego Dunajca była stosunkowo duża – w 1976 r. wynosiła 144 os. \cdot km⁻² i stale się zwiększała – do 170 os. \cdot km⁻² w 1996 r. W zlewni Białego Dunajca gęstość zaludnienia była jeszcze większa, gdyż wynosiła odpowiednio 179 i 205 os. \cdot km⁻². Na podstawie danych statystycznych oraz wywiadów i lustracji terenowych ocenia się, że w sezonie turystycznym na obszarze zlewni Białego Dunajca liczba osób przebywających czasowo w celach wypoczynkowych może stanowić około 40% liczby stałych mieszkańców.

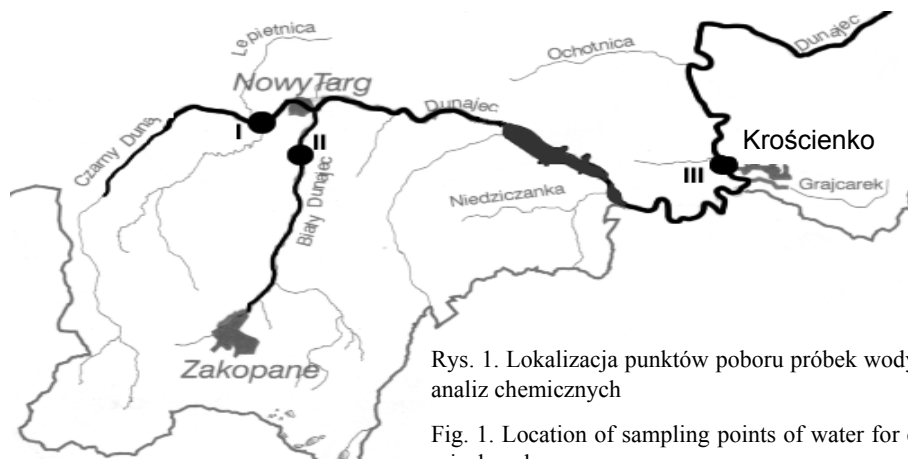
Zlewnia Czarnego Dunajca ma typowo rolniczy charakter. Działalność turystyczno-wczasowa prowadzona jest tu w minimalnym zakresie i tylko w południowo-wschodniej jej części, na obszarze gminy Kościelisko [SMOROŃ, TWARDY, 2003]. W zlewni tej gęstość zaludnienia była niewielka, z niższą tendencją wzrostową w okresie badań niż w zlewni Białego Dunajca. W 1976 r. wynosiła ona 68, a w 1996 r. – 74 os. \cdot km⁻² [Rocznik ..., 1977; 1981; 1986; 1989; 1993; 1997].

METODY BADAŃ

Na podstawie danych z lat: 1976, 1980, 1985, 1988, 1992 i 1996 [Rocznik ..., 1977; 1981; 1986; 1989; 1993; 1997], dotyczących gęstości zaludnienia, pogłowia zwierząt gospodarskich w poszczególnych gminach oraz rocznej ilości składników mineralnych pochodzących z produkcji zwierzęcej i działalności bytowej określono ilość azotu, fosforu i potasu z wyżej wymienionych źródeł w przeliczeniu na 1 ha powierzchni rozpatrywanych zlewni [SAPEK, SAPEK, PIETRZAK, 2000]. Przyjęto jednakową ilość wymienionych składników mineralnych wnoszonych z nawozami mineralnymi w poszczególnych latach dla wyodrębnionych zlewni częściowych, ponieważ dane z ww. roczników statystycznych nie ujmują zużycia nawozów w układzie gminnym. Najwięcej nawozów mineralnych (91,3 kg NPK \cdot ha⁻¹ użytków rolnych) stosowano w 1980 r. W następnych latach obserwowano systematyczne ograniczanie nawożenia mineralnego, aż do 50,7 kg NPK \cdot ha⁻¹ w 1996 r.

Zmiany jakości wód powierzchniowych Białego i Czarnego Dunajca oraz całego górnego Dunajca w wyżej wymienionych latach prześledzono na podstawie średniego rocznego stężenia, obliczonego z comiesięcznych analiz próbek wody. Wyniki analiz wód zostały udostępnione autorom przez WIOŚ w Nowym Sączu i pochodziły z przekrojów w Szaflarach (Biały Dunajec – punkt I), Ludźmierzu

(Czarny Dunajec – punkt II) i Krościenku (Dunajec – punkt III) (rys. 1). W tym ostatnim punkcie analizy wód wykonywano od 1985 r. W pobranych próbkach wody oznaczano stężenie N-NO_3 , N-NH_4 i PO_4^{3-} , zgodnie z metodyką stosowaną w państwowym monitoringu ochrony środowiska.



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek wody do analiz chemicznych

Fig. 1. Location of sampling points of water for chemical analyses

WYNIKI BADAŃ

Do połowy lat osiemdziesiątych XX w. obciążenie azotem całej zlewni górnego Dunajca stopniowo zwiększało się i w 1985 r. osiągnęło $70,5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W następnych latach wystąpiła tendencja odwrotna – obciążenie tym składnikiem stopniowo się zmniejszało (tab. 1). W 1996 r. wynosiło ono $51,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W zlewni Białego Dunajca obciążenie to było nieco większe. Trend wzrostowy trwał do 1992 r. ($80,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), a później zmniejszyło się do $67,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Obciążenie zlewni Czarnego Dunajca tym składnikiem było zbliżone do obserwowanego w zlewni górnego Dunajca. Najwyższą wartość ($68,5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) zarejestrowano w 1985 r., a najniższą ($50,1 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) w 1996 r.

Obciążenie opisywanych zlewni fosforem przez ponad połowę rozpatrywanego okresu utrzymywało się na zbliżonym poziomie, z zauważalną tendencją wzrostową (tab. 1). Najwyższe wartości obciążenia tym składnikiem zaobserwowano w 1988 r. Mieściły się one w granicach $24,3\text{--}24,8 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$. W następnych latach obciążenie to zmniejszyło się, szczególnie w zlewni Czarnego Dunajca i całego górnego Dunajca, średnio do około $12,2 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$. W zlewni Białego Dunajca obciążenie tym składnikiem malało wolniej i pod koniec badań wynosiło $15,5 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Największe obciążenie potasem wystąpiło na obszarze zlewni Białego Dunajca i średnio w okresie badań wynosiło $83,5 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$, przyjmując wartości w granicach $74,0\text{--}103,1 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 1). W zlewni Czarnego Dunajca i całego Dunajca

utrzymywało się ono na zbliżonym poziomie i wynosiło 75,2 i 75,9 kg K·ha⁻¹ (od ok. 54 do ok. 86 kg K·ha⁻¹).

Łączne obciążenie zlewni Białego Dunajca badanymi składnikami w 1976 r. wynosiło 160,1 kg NPK·ha⁻¹, w 1992 r. osiągnęło maksymalną wartość 201,4 kg NPK·ha⁻¹, a później stopniowo zmniejszało się, dochodząc w ostatnim roku badań do 157,3 kg·ha⁻¹ (tab. 1). W zlewniach Czarnego Dunajca i całego górnego Dunajca łączne obciążenie omawianymi składnikami utrzymywało się na zbliżonym poziomie, a różnice w porównywanych latach nie przekraczały 6,0 kg NPK·ha⁻¹. Największe obciążenie NPK w obu zlewniach wystąpiło w 1980 r. i wynosiło odpowiednio 170,4 i 175,0 kg·ha⁻¹. W następnych latach systematycznie zmniejszało się i w 1996 r. wynosiło już tylko 116,0 i 118,3 kg·ha⁻¹.

Największy udział w łącznej ilości azotu obciążającej omawiane zlewnie miał azot z nawozów naturalnych – na obszarze zlewni Białego Dunajca – 66,1, Czarnego Dunajca – 69,9, a całego górnego Dunajca – 66,2% azotu całkowitego (tab. 1). Średni udział azotu wnoszonego z nawozami mineralnymi w okresie badań w zlewni Białego Dunajca stanowił 21,9%, a Czarnego Dunajca oraz całego górnego Dunajca – 24,7%. Do 1988 r. obserwowano systematyczne, choć niewielkie zwiększanie ilości stosowanych nawozów azotowych. W następnych latach, szczególnie od 1992 r., zmniejszyła się ona istotnie.

Udział azotu z działalności bytowej w stosunku do wcześniej omówionych źródeł był zdecydowanie mniejszy i w zlewni Białego Dunajca wynosił średnio 12,0%, Czarnego Dunajca – 5,5%, a całej zlewni górnego Dunajca 9,1%. Przez cały okres badawczy udział ten powoli się zwiększał.

Największy udział fosforu w łącznym ładunku tego składnika przypadają również na nawozy naturalne – na całym obszarze w granicach 52,1–54,8% (tab. 1). Kierunek zmian udziału fosforu pochodzenia zwierzęcego w ciągu omawianego dwudziestolecia był podobny, jak w przypadku azotu. Udział fosforu z nawozów mineralnych wynosił średnio od 38,1 do ponad 40% ogólnej ilości tego składnika. Największy udział fosforu z tego źródła przypadają na okres do 1988 r. W następnych latach obserwowano tendencję spadkową.

Najmniejszy udział fosforu z zanieczyszczeń bytowych w łącznym ładunku tego składnika stwierdzono w zlewni Czarnego Dunajca (średnio 4,3%), większy w całej zlewni górnego Dunajca (7,1%), a największy – Białego Dunajca (9,8%). Udział fosforu z tego źródła w łącznym ładunku tego składnika stale się zwiększał.

Podobnie do azotu i fosforu kształtował się udział potasu w łącznym ładunku z poszczególnych źródeł jego emisji (tab. 1). Nawozy naturalne stanowiły główne źródło tego składnika (około 82%). Na nawozy mineralne przypadało około 16% ogólnej emisji, a znikoma część na działalność bytową mieszkańców – od 1,1 do 2,5%.

Średnie roczne stężenie azotu azotanowego (N-NO₃) w wodach Białego i Czarnego Dunajca do 1985 r. utrzymywało się na zbliżonym poziomie 0,87–0,97 mg·dm⁻³ (rys. 2). Maksymalne wartości stężenia, wynoszące odpowiednio 2,57

Tabela 1. Obciążenie zlewni Białego, Czarnego oraz górnego Dunajca azotem, fosforem i potasem
Table 1. Contribution of particular sources in the total loads N, P and K, to the of Biały, Czarny and

| Zlewnia Catchment | Lata Years | Łączne obciążenie azotem, fosforem i potasem Total loads of nitrogen, phosphorus, and potassium kg NPK·ha ⁻¹ | Obciążenie azotem Total loads of nitrogen kg N·ha ⁻¹ | Udział azotu z poszczególnych źródeł w łącznym obciążeniu tym składnikiem, % Percentage contribution of particular sources to the total loads of nitrogen | | | Obciążenie fosforem Total loads of phosphorus kg P·ha ⁻¹ |
|----------------------|-----------------|---|---|--|---|--|---|
| | | | | z nawozów naturalnych from the manure | z nawozów mineralnych from mineral fertilizers | z zanieczyszczeń bytowych from domestic pollution | |
| | | | | | | | |
| Biały Dunajec | 1976 | 160,1 | 62,9 | 63,4 | 23,8 | 12,8 | 19,4 |
| | 1980 | 181,5 | 73,7 | 64,3 | 24,5 | 11,3 | 21,5 |
| | 1985 | 177,9 | 73,4 | 63,2 | 25,0 | 11,8 | 20,3 |
| | 1988 | 171,2 | 70,9 | 60,8 | 27,4 | 11,9 | 24,8 |
| | 1992 | 201,4 | 80,8 | 79,0 | 10,5 | 10,5 | 17,5 |
| | 1996 | 157,3 | 67,8 | 66,1 | 20,2 | 13,6 | 15,5 |
| | Średnio Mean | 174,9 | 71,6 | 66,1 | 21,9 | 12,0 | 19,8 |
| Czarny Dunajec | 1976 | 156,3 | 59,5 | 69,6 | 25,1 | 5,2 | 18,9 |
| | 1980 | 170,4 | 67,6 | 68,5 | 26,7 | 4,8 | 20,4 |
| | 1985 | 170,0 | 68,5 | 68,2 | 26,8 | 5,0 | 19,6 |
| | 1988 | 165,6 | 67,1 | 66,0 | 28,9 | 5,1 | 24,3 |
| | 1992 | 160,8 | 64,9 | 81,0 | 13,1 | 6,0 | 14,9 |
| | 1996 | 116,0 | 50,1 | 65,9 | 27,4 | 6,7 | 12,1 |
| | Średnio Mean | 156,5 | 62,9 | 69,9 | 24,7 | 5,5 | 18,4 |
| Dunajec | 1976 | 150,5 | 58,2 | 65,5 | 25,7 | 8,8 | 18,6 |
| | 1980 | 175,0 | 70,5 | 66,7 | 25,6 | 7,7 | 21,1 |
| | 1985 | 174,3 | 67,8 | 64,7 | 27,1 | 8,2 | 20,3 |
| | 1988 | 167,1 | 65,4 | 61,8 | 29,7 | 8,6 | 24,7 |
| | 1992 | 157,2 | 61,3 | 76,7 | 13,8 | 9,5 | 14,7 |
| | 1996 | 118,3 | 51,8 | 62,0 | 26,5 | 11,6 | 12,4 |
| | Średnio Mean | 157,1 | 62,5 | 66,2 | 24,7 | 9,1 | 18,6 |

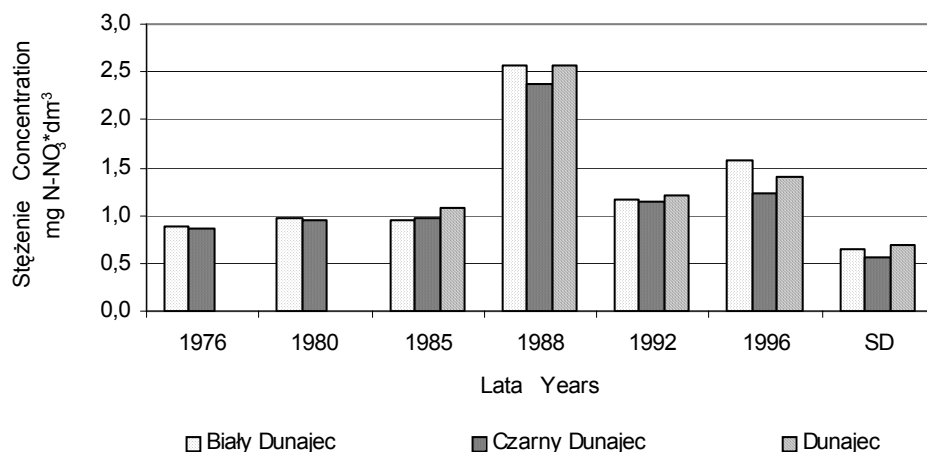
i 2,37 mg N-NO₃·dm⁻³, wystąpiły w 1988 r. W kolejnych latach obserwowano wyraźne zmniejszenie stężenia tego składnika, ale i tak utrzymywało się ono na znacznie wyższym poziomie od notowanego na początku okresu badawczego. Średnie roczne stężenie azotu azotanowego w wodach z całej zlewni górnego Du-

z poszczególnych źródeł
and the Upper Dunajec catchments

| Udział fosforu z poszczególnych źródeł w łącznym obciążeniu tym składnikiem, % Percentage contribution particular sources to the total loads of phosphorus | | | Obciążenie potasem Total loads of potassium kg K·ha ⁻¹ | Udział potasu z poszczególnych źródeł w łącznym obciążeniu tym składnikiem, % Percentage contribution of particular sources to the total loads of potassium | | |
|---|---|--|---|--|---|--|
| z nawozów naturalnych from manure | z nawozów mineralnych from mineral fertilizers | z zanieczyszczeń bytowych from domestic pollution | | z nawozów naturalnych from manure | z nawozów mineralnych from mineral fertilizers | z zanieczyszczeń bytowych from domestic pollution |
| 45,6 | 45,2 | 9,2 | 77,9 | 71,8 | 25,7 | 2,5 |
| 48,0 | 43,5 | 8,6 | 86,3 | 77,5 | 20,1 | 2,4 |
| 47,6 | 43,1 | 9,5 | 84,2 | 80,2 | 17,3 | 2,5 |
| 36,0 | 56,3 | 7,6 | 75,5 | 83,5 | 13,8 | 2,7 |
| 74,0 | 15,1 | 10,8 | 103,1 | 92,8 | 5,2 | 2,0 |
| 61,4 | 25,6 | 13,2 | 74,0 | 87,3 | 9,7 | 3,0 |
| 52,1 | 38,1 | 9,8 | 83,5 | 82,2 | 15,3 | 2,5 |
| 50,0 | 46,4 | 3,6 | 77,9 | 73,4 | 25,7 | 0,9 |
| 50,8 | 45,9 | 3,5 | 82,4 | 77,9 | 21,1 | 1,0 |
| 51,5 | 44,6 | 3,9 | 81,8 | 81,2 | 17,8 | 1,0 |
| 39,2 | 57,5 | 3,1 | 74,2 | 84,9 | 14,0 | 1,1 |
| 76,1 | 17,8 | 5,8 | 81,0 | 92,3 | 6,6 | 1,1 |
| 61,0 | 32,8 | 6,1 | 53,8 | 85,2 | 13,3 | 1,5 |
| 54,8 | 40,8 | 4,3 | 75,2 | 82,5 | 16,4 | 1,1 |
| 46,5 | 47,2 | 6,1 | 73,8 | 71,2 | 27,1 | 1,7 |
| 50,0 | 44,4 | 5,7 | 83,4 | 77,6 | 20,8 | 1,6 |
| 50,7 | 43,1 | 6,1 | 86,2 | 81,6 | 16,9 | 1,5 |
| 38,5 | 56,5 | 5,1 | 76,9 | 84,7 | 13,5 | 1,8 |
| 72,9 | 18,0 | 8,8 | 81,2 | 91,6 | 6,6 | 1,8 |
| 56,9 | 32,0 | 10,8 | 54,1 | 84,0 | 13,2 | 2,8 |
| 52,6 | 40,2 | 7,1 | 75,9 | 81,8 | 16,3 | 1,9 |

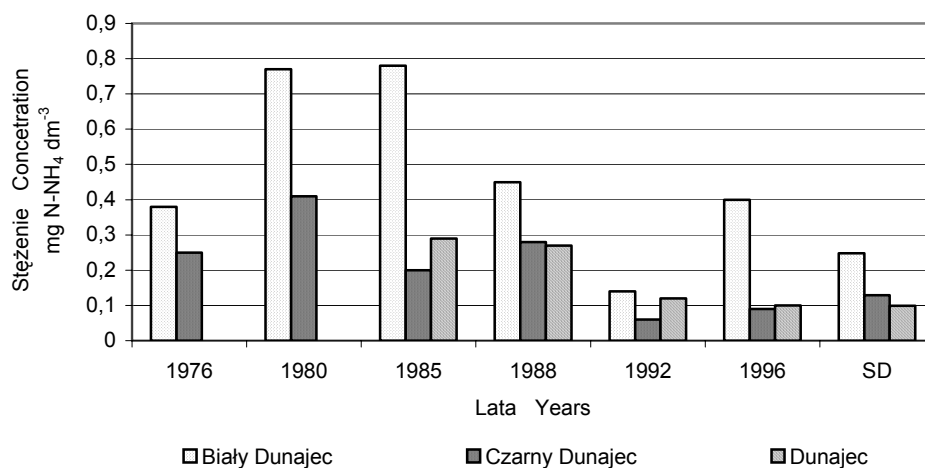
najca z przekroju w Krościenku zmieniało się w czasie podobnie, osiągając maksymalne wartości w 1988 r., a później malejąc (rys. 2).

Średnie stężenie azotu amonowego było największe w wodach Białego Dunajca. W latach 1980 i 1985 wynosiło ono odpowiednio 0,77 i 0,78 mg N-NH₄·dm⁻³ (rys. 3). W następnych latach obserwowano tendencję zniżkową, przy czym minimalne stężenie przypadło na 1992 r. i wyniosło 0,14 mg N-NH₄·dm⁻³. Stężenie



Rys. 2. Średnie roczne stężenie N-NO₃ w wodach Białego Dunajca, Czarnego Dunajca i całego górnego Dunajca; *SD* – odchylenie standardowe

Fig. 2. Mean annual concentration of N-NO₃ in waters of the Biały Dunajec, the Czarny Dunajec and the Dunajec; *SD* – standard deviation



Rys. 3. Średnie roczne stężenie N-NH₄ w wodach Białego Dunajca, Czarnego Dunajca i całego górnego Dunajca; *SD* – odchylenie standardowe

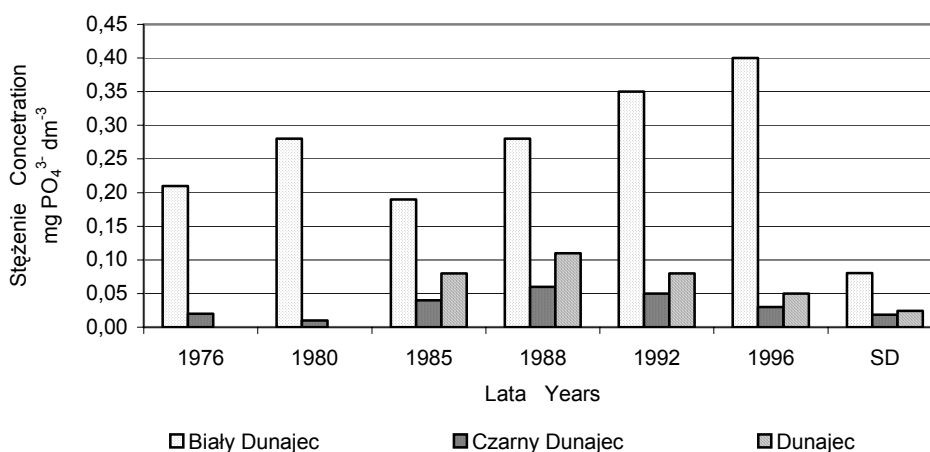
Fig. 3. Mean annual concentration of N-NH₄ in waters of the Biały Dunajec, the Czarny Dunajec and the Dunajec; *SD* – standard deviation

tęgo składnika w wodach Czarnego Dunajca przez cały omawiany okres było niekiedy nawet kilkakrotnie mniejsze niż w wodach Białego Dunajca. Maksymalną wartość stwierdzono w 1980 r. (0,41 mg N-NH₄·dm⁻³), a minimalną w 1992 r. (0,06 mg N-NH₄·dm⁻³). Rozkład stężenia N-NH₄, a także tendencje zmian w czasie

w wodach odpływających z całej zlewni górnego Dunajca były podobne, jak w wodach Czarnego Dunajca.

W ciągu omawianego okresu roczne stężenie fosforanów rozpuszczalnych (PO_4^{3-}) w Białym Dunajcu utrzymywało się na kilkakrotnie wyższym poziomie niż w pozostałych rzekach z silną tendencją wzrostową (rys. 4).

Najwyższą wartość ($0,40 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \text{dm}^{-3}$) zarejestrowano w ostatnim roku badań. Średnie stężenie fosforanów w Czarnym Dunajcu mieściło się w granicach od $0,01$ do $0,06 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wyższe wartości odnotowano w latach 1988–1992. Średnie stężenie tego składnika w wodach odpływających z całej badanej zlewni Dunajca utrzymywało się na nieco wyższym poziomie i wynosiło od $0,05$ do $0,08 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \text{dm}^{-3}$; najwyższą wartość stwierdzono w 1988 r. – $0,11 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \text{dm}^{-3}$.



Rys. 4. Średnie roczne stężenie PO_4^{3-} w wodach Białego Dunajca, Czarnego Dunajca i całego górnego Dunajca; *SD* – odchylenie standardowe

Fig. 4. Mean annual concentration of PO_4^{3-} in waters of the Biały Dunajec, the Czarny Dunajec and the Dunajec; *SD* – standard deviation

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Analiza danych dotyczących obciążenia badanych zlewni składnikami nawozowymi oraz analizy chemiczne odprowadzanych z nich wód umożliwiły określenie rozmiaru i kierunku zmian zagrożeń środowiskowych zachodzących w okresie dwudziestolecia 1976–1996 w zlewni górnego Dunajca.

W pierwszym dziesięcioleciu omawianego okresu obciążenie całej zlewni składnikami nawozowymi NPK systematycznie się zwiększało, a w zlewni Białego Dunajca nawet do 1992 r. Później obserwowano już wyraźne zmniejszenie obciążenia, nawet poniżej wartości stwierdzonych na początku badań (tab. 1). Obciążenie

nie NPK w zlewni Czarnego Dunajca i całego górnego Dunajca było zbliżone, natomiast w zlewni Białego Dunajca do 1988 r. o około 6 kg większe. W ostatnich latach różnica ta zwiększyła się nawet do około 40 kg NPK·ha⁻¹. Opisany stan ma związek z sytuacją gospodarczo-ekonomiczną na omawianym obszarze, zwłaszcza z mniejszym zapotrzebowaniem społecznym na produkty rolnicze. W istniejących warunkach ograniczono stosowanie środków plonotwórczych, a także pogłowie zwierząt gospodarskich.

Największy udział w obciążeniu obszaru zlewni górnego Dunajca azotem i fosforem mają zwierzęta gospodarskie, w następnej kolejności nawozy mineralne, a najmniejszy działalność bytowa – od 3,3 do 13,6% (tab. 1). W zlewni Białego Dunajca, ze względu na sezonowy napływ znacznej liczby turystów i wczasowiczów, udział azotu i fosforu z tego źródła w ogólnym ładunku tych składników był znacznie większy [SMOROŃ, TWARDY, 2001].

Zmienność rocznego stężenia azotu azotanowego w badanych rzekach do 1992 r. była zbliżona do przebiegu zmian obciążenia azotem poszczególnych zlewni, przy czym stężenie było mniej zróżnicowane w czasie (tab. 1, rys. 2). W ostatnim roku, mimo znacznego zmniejszenia obciążenia zlewni tym składnikiem, stężenie N-NO₃ wykazywało niewielką tendencję rosnącą.

Stężenie azotu amonowego w badanych rzekach w latach 1980–1988, mimo równoczesnego zwiększenia obciążenia azotem zlewni, wykazywało tendencję zniżkową. W przypadku Czarnego Dunajca jest to prawdopodobnie związane z tonującym wpływem występujących tu torfowisk wysokich (tab. 1, rys. 3).

Roczne stężenie fosforanów w wodach Białego Dunajca w stosunku do pozostałych rzek było kilkakrotnie większe, a obciążenie omawianych zlewni fosforem – w miarę wyrównane. Zmienność stężenia fosforanów w okresie badawczym w wodach Białego i Czarnego Dunajca miała przeciwny kierunek niż całkowite obciążenie fosforem – zmniejszaniu się obciążenia tym składnikiem w zlewni Białego Dunajca towarzyszy wyraźne zwiększenie jego stężenia w wodzie odpływającej z tego obszaru (tab. 1, rys. 4). Jest to najprawdopodobniej spowodowane sezonowym napływem turystów i wczasowiczów, których liczba w niektórych miejscowościach może nawet okresowo przekraczać liczbę stałych mieszkańców [SMOROŃ, TWARDY, 2003]. Innym powodem pogarszania jakości wód Białego Dunajca może być nienadążanie z budową kanalizacji i oczyszczalni ścieków w stosunku do intensywnego rozwoju sieci wodociągowej [SMOROŃ, TWARDY, 2001]. Stężenie fosforanów w wodzie Czarnego Dunajca w całym okresie badań utrzymuje się na bardzo zbliżonym poziomie, z niewielką tendencją wzrostową trwającą do 1992 roku. W wodzie odpływającej z całej zlewni górnego Dunajca stężenie tego składnika nieco się zmniejszało, ale w znacznie mniejszym stopniu niż obciążenie nim.

Zgodnie z kryteriami klasyfikacji wód obowiązującymi w okresie badań, jakość wód w rzekach się pogorszyła. Na podstawie badań prowadzonych przez PIOŚ, można stwierdzić, że do 1980 r. wody Czarnego Dunajca mieściły się

w I klasie czystości, a Dunajca na odcinku Nowy Targ – Krościenko – w I i II klasie. Biały Dunajec, niosący między innymi wody z Zakopanego, miał już znacznie gorsze parametry jakościowe – między II a III klasą czystości [Jakość ..., 1983; Ocena ..., 1990; 1997; Rocznik ..., 1997]. W latach 1985–1990 nastąpiło dalsze pogorszenie jakości wszystkich wód powierzchniowych, szczególnie Białego Dunajca. Ze względu na zanieczyszczenia bakteriologiczne i fizykochemiczne (BZT₅, fosforany) wody te zaliczono odcinkami do III klasy, a nawet do wód pozaklasowych (NON), podobnie jak wody Dunajca poniżej Nowego Targu. Wody Czarnego Dunajca pod względem fizykochemicznym kwalifikowały się do II, a bakteriologicznym – do III klasy czystości. Jakość wód Białego Dunajca i całego górnego Dunajca nie poprawiała się wyraźnie aż do 1996 r. Należy to tłumaczyć nieuregulowaną gospodarką wodno-ściekową oraz czasowym napływem turystów i wczasowiczów.

WNIOSKI

1. Obciążenie zlewni górnego Dunajca składnikami nawozowymi (NPK) w dwudziestolecie 1976–1996 zmieniało się istotnie. Do połowy tego okresu obciążenie NPK zwiększało się, a w następnych latach wystąpiła tendencja spadkowa.

2. Największy udział w obciążeniu badanego obszaru azotem i fosforem miała produkcja zwierzęca, znacznie mniejszy – produkcja roślinna (nawozy mineralne), a najmniejszy – działalności bytowa stałych mieszkańców.

3. Stężenie azotu amonowego w wodzie Białego Dunajca było ponad dwukrotnie, a fosforanów nawet siedmiokrotnie większe niż w pozostałych rzekach.

4. Zwiększające się stężenie fosforanów w wodach Białego Dunajca, mimo równoczesnego zmniejszenia obciążenia tej zlewni tym składnikiem z działalności rolniczej, wskazuje na dodatkowy dopływ zanieczyszczeń komunalnych pochodzących z intensywnej działalności wczasowo-turystycznej.

LITERATURA

- Atlas Tatrzańskiego Parku Narodowego, 1985. Pr. zbior. Red. K. Trafas. Zakopane – Kraków: TPN ss. 32.
- Atlas posterunków wodowskazowych, 1995–1996. Bibl. Monitoringu Środ. Warszawa: PIOŚ ss. 210.
- Jakość wód rzek na terenie woj. nowosądeckiego w latach 1975–1982, 1983. Kraków: Ośr. Bad. Kontr. Środ. maszyn. ss. 23.
- KOZŁOWSKI S., 2001. Konsekwencje przyrodnicze procesów transformacji gospodarczej w Polsce. W: Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie. Pr. zbior. Red. K. German, J. Balon. Kraków: Inst. Geogr. Gosp. Przestrz. UJ. Probl. Ekol. Krajoobr. t. 10 s. 37–42.
- ŁANIEWSKI J., 1997. Czorsztyn. Gosp. Wod. nr 12 s. 384–390.
- MACIAK F., 1999. Ochrona i rekultywacja środowiska. Wyd. 2. Warszawa: Wydaw. SGGW ss. 418.
- NIEDŹWIEDŹ T., OBRĘBSKA-STARKŁOWA B., 1991. Klimat. W: Dorzecze górnej Wisły. Cz. 1. Pr. zbior. Red. I. Dynowska, M. Maciejewski. Warszawa–Kraków: PWN s. 68–84.

- Ocena jakości wód powierzchniowych na terenie woj. nowosądeckiego na podstawie badań w 1990 roku, 1991. Nowy Sącz: Ośr. Bad. Kontr. Środ. maszyn. ss. 16.
- Ocena jakości powierzchniowych wód płynących w woj. nowosądeckim na podstawie badań prowadzonych w 1996 r. w sieci monitoringu podstawowego i regionalnego, 1997. Nowy Sącz: PIOŚ maszyn. ss. 22.
- Rocznik statystyczny woj. nowosądeckiego, 1977, 1981, 1986, 1989, 1993, 1997. Nowy Sącz: WUS.
- SAPEK A., SAPEK B., PIETRZAK S., 2000. Rola produkcji zwierzęcej w rozpraszaniu składników nawozowych z rolnictwa do środowiska. W: Dobre praktyki w rolnictwie, sposoby ograniczania zanieczyszczeń wód. Przysiek: RCD s. 5–31.
- SMOROŃ S., TWARDY S., 2001. Wstępna ocena gospodarki wodno-ściekowej w rolniczo-turystycznych rejonach górnej zlewni Dunajca. Inż. Rol. nr 8 s. 223–237.
- SMOROŃ S., TWARDY S., 2003. Wpływ zmiennego nasilenia ruchu wczasowo-turystycznego na jakość wód Białego i Czarnego Dunajca. Woda. Środ. Obsz. Wiej. t. 3 z. 2 (8) s. 91–102.
- TWARDY S., KOPACZ M., JAGUŚ A., 2002. Charakterystyka przyrodnicza zlewni Grajcarka ze szczególnym uwzględnieniem środowiska wodnego i użytkowania terenu. Falenty-Kraków: Wydaw. IMUZ ss. 88.

Sylwester SMOROŃ, Stanisław TWARDY

**LOADS OF MINERAL NUTRIENTS
TO THE UPPER DUNAJEC CATCHMENT AREA OVER TWO DECADES (1976–1996)**

Key words: concentrations of N-NO₃, N-NH₄ and PO₄³⁻, NPK loads, surface waters

S u m m a r y

This paper presents changes in the loads of mineral nutrients originating from animal production, fertilizers or from local inhabitants in the upper Dunajec catchment area over the years 1976–1996. For this purpose the quality of main rivers from this area was analyzed, particularly the concentrations of N-NO₃, N-NH₄ and PO₄. Increasing NPK loads in the catchment were observed during the first decade of the study period, then they fell down and were considerably lower than the initial values. In the Biały Dunajec river N-NO₃ concentration was over twice that in the Czarny Dunajec and the Dunajec, respective differences in phosphate concentrations were even sevenfold.

In the last years of the study phosphate concentrations tended to increase in waters of the Biały Dunajec, despite a decrease of phosphorus loads in this catchment. This may suggest an additional load of P from domestic sewage associated with increasing number of tourists and visitors.

Recenzenci:

prof. dr hab. Andrzej Sapek

prof. dr hab. Zdzisław Zabłocki

Praca wpłynęła do Redakcji 19.12.2003 r.

