

Ludmiła Rossa, Mikołaj Sikorski

Ocena stopnia zanieczyszczenia wód deszczowych odprowadzanych z zabudowanych obszarów wiejskich

Wody deszczowe odpływające z zabudowanych obszarów wiejskich uznawane są najczęściej za nieznacznie zanieczyszczone i nie mające większego wpływu na jakość wód powierzchniowych [1]. Jednakże obecne zmiany zachodzące w technologii produkcji rolniczej oraz gospodarce wodno-ściekowej i odpadowej na terenach wiejskich sprzyjają zwiększeniu ładunku zanieczyszczeń w spływach wód deszczowych. Stwierdzono, że w wodach burzowych, odprowadzanych z zabudowanych terenów wiejskich mogą występować zanieczyszczenia, których obecność wykazano w ściekach opadowych odpływających z terenów zurbanizowanych, takie jak substancje ropopochodne, związki organiczne (ChZT), chlorki oraz substancje toksyczne [2]. Badania zjawiska spływu wód deszczowych napotykają jednak na trudności natury techniczno-organizacyjnej i merytorycznej, spowodowane nieregularnością występowania tych spływów i różnorodnością czynników kształtujących ich parametry [3,4].

Ze względu na niedostateczną gęstość punktów pomiarowych, do oceny jakości wód odpływających ze zlewni rolniczych często stosuje się metody pośrednie, które są oparte na obliczonych parametrach opadu efektywnego, charakterystyce fizyczno-geograficznej zlewni oraz urzędowych informacjach o potencjalnych źródłach zanieczyszczeń [5,6]. Zaprezentowana w niniejszym artykule ocena chemizmu spływu wód deszczowych z wiejskich obszarów zabudowanych – w odróżnieniu od metod pośrednich – została oparta na rzeczywistych wartościach natężenia przepływu oraz stężenia i ładunku zanieczyszczeń, a wyniki przeprowadzanych badań mogą być wykorzystane do weryfikacji pośrednich metod szacowania wartości ładunków zanieczyszczeń obszarowych w odpływie wód deszczowych ze zlewni rolniczych.

Obiekty i metodyka badań

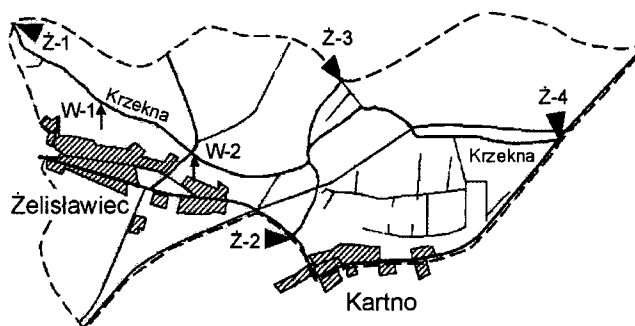
W ramach badań terenowych, a także na etapie analizy wyników badań, zastosowano metodę bilansowania ładunku zanieczyszczeń poprzez pomiar natężenia przepływu i stężenia zanieczyszczeń w przekrojach hydrometrycznych cieków zasilanego odpływem wód deszczowych ze zlewni przed i za osiedlem wiejskim. Wykorzystano opracowaną w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych metodykę stosowaną w badaniach zanieczyszczeń obszarowych, wyznaczając mikrozwlewnie w taki sposób, aby obejmowały w jak największym

stopniu wiejskie obszary zabudowane, a w mniejszym stopniu tereny wykorzystywane rolniczo [7,8].

Do celów doświadczalnych wybrano dwa obiekty terenu, tj. zlewnię rzeki Krzekny i jej dopływów, obejmującą wsie Kartno i Żelisławiec pod Szczecinem w zlewni rzeki Płoni (rys. 1), oraz zlewnię Cieku Wschodniego od Laszczek, obejmującą wsie Falenty Duże i Laszczki pod Warszawą w zlewni rzeki Raszynki (rys. 2). Na potrzeby badań hydrochemicznych zainstalowano na rzece Krzeknie i jej dopływach cztery wodowskazy w przekrojach hydrometrycznych rzeki przed i za obszarem zabudowanym (Ż-1 i Ż-4). Na dopływie z kierunku południowego wypływającym z łąk (Ż-2) i na dopływie z kierunku północnego, wypływającym z jeziora (Ż-3). Na Ciek Wschodnim od Laszczek odbierającym spływ wód z obszaru wsi Falenty Duże i części wsi Laszczki zainstalowano trzy koryta Parshalla, pierwsze przed zabudowaniami (K-1), drugie na dalszym odcinku ciek, po przyjęciu dopływów z trzech rowów odwadniających, za terenem zabudowanym (K-2), a trzecie za niezabudowanym obszarem rezerwatu (K-3).

Podstawowe różnice pomiędzy obiektami badawczymi były następujące:

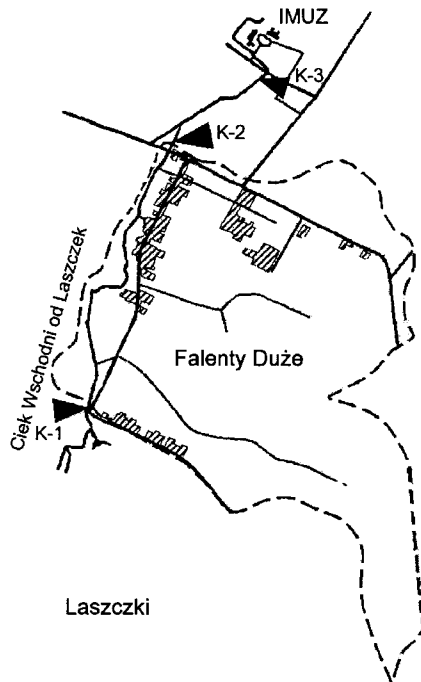
- warunki topologiczne i geologiczne sprzyjały powstawaniu spływów deszczowych o większej objętości w mikrozwlewni Krzekny i jej dopływów,
- większy średni przepływ występował w rzece Krzeknie niż w Ciek Wschodnim od Laszczek,
- większą gęstość zaludnienia miały wsie Kartno i Żelisławiec niż Falenty Duże i Laszczki,
- we wsiach Kartno i Żelisławiec prowadzono na dużą skalę chów bydła i trzody, natomiast we wsiach Falenty Duże i Laszczki takiego chowu nie prowadzono,
- wsie Kartno i Żelisławiec miały infrastrukturę sanitarną (sieć wodociągowa i kanalizacyjna oraz oczyszczalnia ścieków), której nie miały wsie Falenty Duże i Laszczki (studnie przydomowe, bezodpływowe zbiorniki na ścieki, opróżniane okresowo).



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w mikrozwlewni rzeki Krzekny i jej dopływów

Dr inż. L. Rossa: Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Sanitacji Wsi, Falenty, al. Hrabka 3, 05-090 Raszyn, l.rossa@imuz.edu.pl

Dr hab. inż. Mikołaj Sikorski, prof. nadzw.: Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Katedra Technologii Wody i Ścieków, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 3, 25-314 Kielce sikorski@tu.kielce.pl



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w mikrozlewni Cieku Wschodniego od Laszczek

W ramach badań w wyznaczonych miejscach pomiarowych przeprowadzono w ciągu trzech lat dobowe notowania stanu wód z wodowskazów i koryt Parshalla oraz pobór próbek wód w przekrojach kontrolnych badanych cieków z częstotliwością raz w miesiącu (częściej w okresach wezbraniowych w siedmiu przekrojach kontrolnych badanych cieków). Dodatkowo pobrano próbki wód odpływających podczas opadów z wylotów kanałów deszczowych w punktach, w których odprowadzane są głównie spływy wód deszczowych z terenu zagród wiejskich (W-1) i w których odprowadzane są głównie spływy wód z powierzchni dróg (W-2). Badania fizyczno-chemiczne próbek wód deszczowych objęły takie wskaźniki, jak pH (elektrochemicznie), zawiesinę ogólną (wagowo), chlorki (miareczkowo), ChZT, azot amonowy (metodą indofenolową), azot azotanowy (fotometrycznie z nitrospektralem), fosforany (fotometrycznie z molibdenianem amonu), potas (elektrochemicznie). W badaniach chemicznych wykorzystano spektrofotometr SQ 118 Merck i jonometr Solomat Neotronics. W kilku wybranych seriach badawczych oznaczono także zawartość ekstraktu naftowego w próbkach wód deszczowych.

Przepływy sekundowe wód powierzchniowych (m^3/s) obliczono z zastosowaniem krzywych przepływu dla wybranych przekrojów na rzece Krzeknie lub z równań opisujących przepływy w korytach Parshalla na Ciek Wschodnim od Laszczek, natomiast przepływy dobowe (m^3/d) obliczono mnożąc wartości przepływów sekundowych przez 86400. Wartość odpływu wód deszczowych ze zlewni obliczono jako sumę przepływów dobowych ($m^3/10$ m-cy) lub jako odpływ jednostkowy ($m^3/ha \cdot 10$ m-cy). Dobowy ładunek zanieczyszczeń (kg/d) obliczono jako iloczyn przepływu dobowego i stężenia zanieczyszczeń estymowanego z równania regresji związków stężenie–przepływ. Okresowy ładunek zanieczyszczeń w odpływie ze zlewni ($t/10$ m-cy) obliczono jako sumę estymowanych ładunków dobowych, a jednostkowy współczynnik odpływu ($kg/ha \cdot 10$ m-cy) jako iloraz ładunku okresowego i powierzchni zlewni. Przyjęto założenie, że dobowy ładunek zanieczyszczeń w dopływie podziemnym jest równy średniej

arytmetycznej z ładunków zmierzonych w okresach pogody bezdeszczowej i niskiego stanu wód. Dobowy ładunek zanieczyszczeń w dopływie bezpośrednim obliczono jako różnicę pomiędzy średnim lub estymowanym ładunkiem w odpływie i ładunkiem w dopływie podziemnym.

Jakość wód przepływających przez zabudowany obszar wiejski

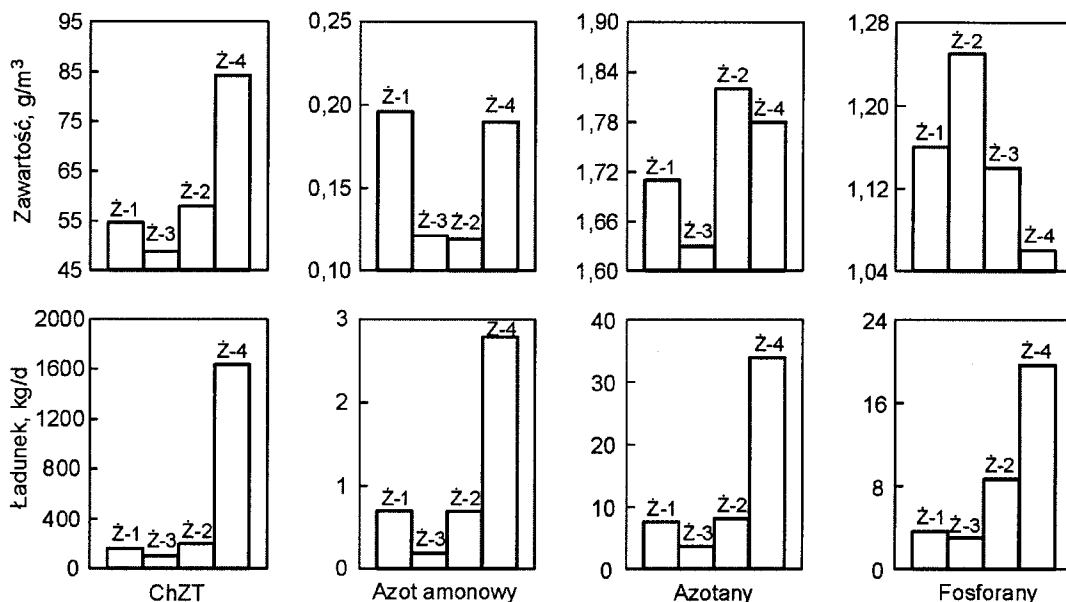
Porównując zawartość zanieczyszczeń w wodzie z rzeki Krzekny i jej dopływów stwierdzono, że najwyższe wartości ChZT, stężeń azotu amonowego i chlorków wystąpiły za obszarem zabudowanym wsi (K-4). W próbkach wody pobranych w tym przekroju zaobserwowano także wysoką zawartość azotu azotanowego (rys. 3). Średnie wartości ładunków wszystkich badanych zanieczyszczeń były najwyższe w wodzie z rzeki Krzekny za obszarem zabudowanym wsi (K-4).

Wysoki poziom średnich stężeń zanieczyszczeń występował w pierwszym przekroju Cieku Wschodniego od Laszczek (rys. 4), co było związane z małym przepływem wody ($Q_{sr}=4,75 dm^3/s$). Wysokie średnie stężenia azotu azotanowego w tym przekroju były związane z dopływem zanieczyszczeń pochodzących z rozkładu substancji organicznych w obszarze leśnym wokół źródeł cieku. Wzrost wartości ChZT i stężeń azotu amonowego w cieku za obszarem wiejskim (K-2), wskazuje natomiast na dopływ zanieczyszczeń pochodzących ze ścieków bytowych, ponieważ we wsiach Falenty Duże i Laszczki praktycznie nie prowadzi się hodowli zwierząt. Ładunki zanieczyszczeń były największe w wodach przekroju K-3, z wyjątkiem azotu amonowego. Ładunek azotu amonowego był wyższy w próbach z przekroju K-2, zlokalizowanego za wsią, a średnie ładunki ChZT, azotu azotanowego i fosforanów były porównywalne w próbkach wód pobranych w obu przekrojach (K-2 i K-3), pomimo dwukrotnego wzrostu średniego przepływu.

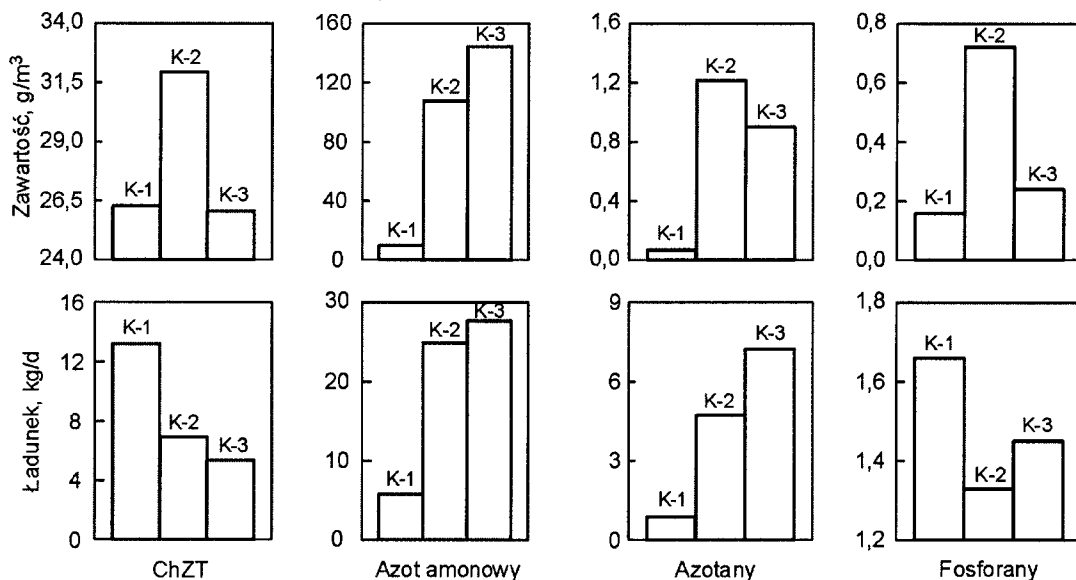
Analizując średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia (tab. 1) stwierdzono istotne zmiany jakości wody w rzece Krzeknie, pomimo rozwiniętego systemu wodociągów i kanalizacji wiejskich we wsiach Kartno i Żelistaewic (wartości maksymalne w przypadku obu rzek były znacznie wyższe). Wykazano wzrost zanieczyszczenia wody substancjami organicznymi (ChZT) pochodzącymi ze ścieków z hodowli bydła i trzody. Nachylenie terenu oraz mała przepuszczalność gleb sprzyja erozji wodnej, co ułatwia dopływ zanieczyszczeń do

Tabela 1. Średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia wody przed i za obszarem zabudowanym

Wskaźnik, jednostka	Rzeka Krzekna		Ciek Wschodni	
	przed	za	przed	za
pH	7,0	7,2	7,0	7,1
Zawiesiny ogólne, g/m^3	63	63	66	42
ChZT, gO_2/m^3	55	84	26	32
Azot amonowy, gN/m^3	1,9	0,2	0,2	0,7
Azotany, gN/m^3	1,7	1,8	13,2	6,9
Azotyny, gN/m^3	0,13	0,04	0,18	0,07
Fosforany, gPO_4^{3-}/m^3	1,2	1,1	1,7	1,3
Chlorki, gCl/m^3	69	71	74	64
Potas, gK/m^3	7,0	6,7	4,9	4,9
Wapń, gCa/m^3	124,1	99,6	112,5	102,1
Magnez, gMg/m^3	38,8	41,9	35,2	40,6



Rys. 3. Średnie zawartości i ładunki wybranych zanieczyszczeń w przekrojach kontrolnych rzeki Krzekny i jej dopływów zlokalizowanych wokół wsi Kartno i Żeliszawiec



Rys. 4. Średnie zawartości i ładunki wybranych zanieczyszczeń w przekrojach kontrolnych Ciekę Wschodniego od Laszczek zlokalizowanych wokół wsi Falenty Duże i Laszczki

wód powierzchniowych. Ponadto fragmentaryczna kanalizacja deszczowa we wsi Kartno odprowadza spływ z zagród i dróg wiejskich bezpośrednio do rzeki. Główną przyczyną zanieczyszczenia wód Ciekę Wschodniego od Laszczek azotem amonowym był brak systemu kanalizacji we wsiach Falenty Duże i Laszczki. Niewłaściwe odwodnienie dróg asfaltowych również powodowało nadmierny dopływ substancji ropopochodnych i chlorków do wód powierzchniowych.

Porównując skalę zagrożenia środowiska wodnego w terenowych zlewniach badawczych stwierdzono, że największym zagrożeniem jest niewłaściwa gospodarka ściekami i odpadami powstającymi podczas hodowli zwierząt. Kolejnym zagrożeniem jest dopływ związków azotu i fosforu z nadmiernie nawożonych pól uprawnych, szczególnie jeżeli występują czynniki sprzyjające powstawaniu spływu powierzchniowego i erozji wodnej, jak to ma miejsce na terenach wsi Kartno i Żeliszawiec, oraz przesiąkanie ścieków z nieszczelnych zbiorników.

Istotnym, a dotychczas traktowanym marginalnie źródłem zanieczyszczenia wód powierzchniowych substancjami ropopochodnymi oraz nadmiernego ich zasolenia staje się powszechne wykorzystanie maszyn silnikowych i coraz większy ruch drogowy na terenach wiejskich. Przedstawianiu się tych zanieczyszczeń do wód sprzyjają powierzchnie utwardzone zagród i dróg wiejskich. Stwierdzono wysoką zawartość ekstraktu naftowego w wodach cieków w pobliżu osiedli wiejskich, dochodzącą do 50 g/m^3 w okresach pogody deszczowej. Często stosowane posypywanie powierzchni dróg solą z piaskiem w porze zimowej wpływa na ilość chlorków zdeponowanych na terenach wiejskich, które podczas spływu wód roztopowych przedostają się do rzek.

Metoda bilansu okresowych ładunków zanieczyszczeń w wodach przed i za obszarem zabudowanym wykazała pełną przydatność w obliczeniach ładunków zanieczyszczeń z mikrozlewni wsi Falenty Duże i Laszczki, która jest zlewnią różnicową, z dwoma przekrojami zlokalizowanymi na tym

samym cieku, natomiast rzeka Krzekna w obrębie zabudowań wsi Kartno i Żelisławiec przyjmuje dwa dopływy. Konieczne było zatem wykonanie bilansu ładunków z czterech przekrojów kontrolnych, co spowodowało sumowanie się błędów pomiarowych. W wypadku takich substancji, jak azotany i potas, dla których równania regresji związku stężenie–przepływ miały niskie współczynniki determinacji, już aproksymowane ładunki okresowe w poszczególnych przekrojach kontrolnych obciążone były dużym błędem. Po wykonaniu bilansu ładunków z czterech przekrojów hydrometrycznych otrzymano wartości zaniżone lub ujemne. Należy jednak zaznaczyć, że w wypadku bilansu ładunków okresowych, otrzymanych przez sumowanie średnich ładunków dobowych, występowały wartości w większym stopniu zaniżone lub ujemne. Jednocześnie stosując metodę bilansu ładunków symulowanych uchwycono rzeczywiście wysokie wartości występujące w czasie wezbrań. Wartości jednostkowych współczynników odpływu zanieczyszczeń z badanych zlewni zawiera tabela 2.

Tabela 2. Ładunki zanieczyszczeń w wodach cieków za obszarem zabudowanym

Ładunek, jednostka	Zlewnia rzeki Krzekny	Zlewnia Cieku Wschodniego
Zawiesiny ogólne, kg/ha·10 m-cy	26	1727
ChZT, kgO ₂ /ha·10 m-cy	4407	37
Azot amonowy, gN/ha·10 m-cy	0,7	0,3
Azotany, kgN/ha·10 m-cy	39,0	7,5
Azotyny, kgN/ha·10 m-cy	0,0	0,1
Fosforany, kgPO ₄ ³⁻ /ha·10 m-cy	0,7	1,2
Chlorki, kgCl ⁻ /ha·10 m-cy	1187	137
Potas, kgK/ha·10 m-cy	21,5	7,6
Wapń, kgCa/ha·10 m-cy	1030	186
Magnez, kgMg/ha·10 m-cy	830	117

Wytyczenie mikrozelewni obejmujących osiedla wiejskie pozwoliło na porównanie zanieczyszczenia odpływu z wiejskich obszarów zabudowanych z danymi literaturowymi dotyczącymi zlewni na terenie Polski. Obliczone z danych uśrednionych i symulowanych jednostkowe współczynniki odpływu związków azotu i fosforu wynosiły 23,5448 kgN/ha·10 m-cy i 24,48 kgN/ha·10 m-cy oraz odpowiednio 2,07 kgP/ha·10 m-cy i 1,51 kgP/ha·10 m-cy, dla mikrozelewni obejmujących wsie Kartno i Żelisławiec oraz Fałenty Duże i Laszczki. W wypadku azotu podane wartości znacznie przekraczały, a w wypadku fosforu mieściły się w górnych granicach zakresów jednostkowych wskaźników odpływu zanieczyszczeń ze zlewni Polskich, które wynoszą 0,89+16,56 kgN/ha·a oraz 0,05+2,2 kgP/ha·a [9].

Bilans ładunków zanieczyszczeń w dopływie bezpośrednim stwarzał podobne trudności jak bilans ładunków w odpływie całkowitym. Oszacowane wartości ładunków zanieczyszczeń w dopływie wód burzowych ze zlewni obejmujących wiejskie obszary zabudowane przedstawiono w tabeli 3. Porównując wartości podane w tabelach 2 i 3 można stwierdzić, że ładunki odprowadzane w odpływie wód burzowych stanowią odpowiednio dla zlewni Krzekny i Cieku Wschodniego od Laszczek 92,4% i 11,2% ChZT, 9,0% i 73,5% azotu amonowego, 99,1% i 30,1% azotanów oraz 63,2% i 82,7% chlorków w stosunku do odpływu całkowitego.

Tabela 3. Ładunki zanieczyszczeń w spływach powierzchniowym i podpokrywowym

Ładunek, jednostka	Zlewnia rzeki Krzekny	Zlewnia Cieku Wschodniego
Zawiesiny ogólne, kg/ha·10 m-cy	26	1727
ChZT, kgO ₂ /ha·10 m-cy	4073	4
Azot amonowy, gN/ha·10 m-cy	0,1	0,2
Azotany, kgN/ha·10 m-cy	38,7	2,3
Azotyny, kgN/ha·10 m-cy	0,1	0,0
Fosforany, kgPO ₄ ³⁻ /ha·10 m-cy	0,5	0,3
Chlorki, kgCl ⁻ /ha·10 m-cy	750	113
Potas, kgK/ha·10 m-cy	-3,6	2,6
Wapń, kgCa/ha·10 m-cy	717	86
Magnez, kgMg/ha·10 m-cy	591	95

Jakość wód odpływających z kanałów deszczowych

Odpływ wód z kanałów deszczowych w Żelisławcu (tab. 4) wykazywał największe zanieczyszczenie spośród badanych próbek wód. Maksymalne wartości badanych wskaźników były następujące: ChZT – 899 gO₂/m³, azotyny – 3,68 gN/m³, azotany – 48,0 gN/m³, fosforany – 12,3 gPO₄³⁻/m³ i potas – 100 gK/m³. Największe wartości analizowanych wskaźników stwierdzono podczas pierwszych piętnastu minut odpływu wód deszczowych, a następnie zawartość zanieczyszczeń gwałtownie się zmniejszyła. W czasie pierwszej fali odpływu z kanału deszczowego, zwłaszcza wiosną, wartość ChZT, a także zawartości ekstraktu naftowego i azotanów przekraczały wartości dopuszczalne dla ścieków odprowadzanych do wód i do ziemi wg rozporządzenia Ministra Środowiska z 8 lipca 2004 r. [10].

Tabela 4. Średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń wody odpływającej z kanałów burzowych

Wskaźnik, jednostka	Wylot kanału W-1	Wylot kanału W-2
pH	6,8	7,0
Zawiesiny ogólne, g/m ³	175	123
ChZT, gO ₂ /m ³	71	66
Azot amonowy, gN/m ³	0,4	0,5
Azotany, gN/m ³	5,4	5,3
Azotyny, gN/m ³	0,14	0,10
Fosforany, gPO ₄ ³⁻ /m ³	3,3	3,2
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	93	86
Potas, gK/m ³	11,9	15,0
Wapń, gCa/m ³	115,3	103,8
Magnez, gMg/m ³	41,6	32,7

Możliwe są różne rozwiązania sposobu odprowadzania wód deszczowych z wiejskich obszarów zabudowanych [3, 11, 12], m.in. stosowanie powierzchni i rowów trawiastych, studni chłonnych z wkładem koalescencyjnym, zbiorników i stawów sedimentacyjnych itp. W uzasadnionych wypadkach, np. rzek I i II klasy czystości, odbierających w sposób naturalny wody deszczowe spływające z zabudowanych terenów wiejskich, celowe jest rozważenie budowy sieci kanałów wraz z uzbrojeniem i obiektów służących do podczyszczania ścieków

deszczowych (separatory, zbiorniki retencyjne). Rozwiązania te powinny uzupełniać systemy kanalizacji ściekowej. Retencjonowanie wód deszczowych przyczynia się także do spłaszczenia przepływów szczytowych i pośrednio do ochrony przed powodzią. Ponieważ z zabudowanych terenów wiejskich w czasie spływu wód deszczowych odprowadzane są znaczne ładunki zanieczyszczeń, należy unikać stosowania urządzeń umożliwiających zrzut niepodczyszczonych wód do odbiornika oraz infiltrację zanieczyszczeń do wód gruntowych (studnie chłonne, drenaż).

Podsumowanie

Analiza wyników badań uzyskanych na terenowych obiektach badawczych we wsiach Kartno i Żeliszawiec oraz Falenty Duże i Laszczki wykazała, że wody deszczowe odprowadzane z wiejskich obszarów zabudowanych wnoszą do odbiorników znaczne ładunki zanieczyszczeń. Ich skład różni się od składu wód odprowadzanych systemem kanalizacji deszczowej z terenów aglomeracji miejsko-przemysłowych ze względu na większą zawartość substancji organicznych i biogennych. Wykazano, że oddziaływanie poszczególnych źródeł zanieczyszczeń w obrębie zabudowy wiejskiej było zależne od uwarunkowań fizjograficznych oraz technicznych rozwiązań sanitarnych i sposobu ich eksploatacji.

Wartości jednostkowego ładunku związków azotu, oszacowane na podstawie równania regresji związku stężenie–przepływ, były znacznie wyższe od wartości występujących w zlewniach rolniczych i wynosiły 23,5 kgN/ha·10 m-cy oraz 24,5 kgN/ha·10 m-cy, odpowiednio dla mikrozlewni obejmujących wieś Kartno i Żeliszawiec oraz Falenty Duże i Laszczki.

Dopływ bezpośredni wód deszczowych z obszarów zwartej zabudowy wiejskiej powoduje pogorszenie jakości wód powierzchniowych w małych zlewniach. Na skutek przepływu rzeki/cieku przez obszar wsi zwiększa się zwłaszcza wartość chemicznego zapotrzebowania na tlen i zawartość azotu amonowego w wodzie. Największe stwierdzone wartości tych wskaźników za obszarem wsi wynosiły odpowiednio 664 gO₂/m³ i 1,47 gN/m³ w wodzie z rzeki Krzekny oraz 184 gO₂/m³ i 11,6 gN/m³ w wodzie z Cieku Wschodniego od Laszczek.

Na podstawie porównania stanu zanieczyszczenia badanych cieków po przepływie przez obszary wsi, w powiązaniu z warunkami fizjograficznymi i użytkowaniem zlewni, można ocenić, że najpoważniejszym źródłem zanieczyszczenia wód powierzchniowych na terenach wiejskich jest chów bydła i tucz trzody chlewnej i powiązana z nim niewłaściwa gospodarka ściekowa. W wypadku wystąpienia warunków sprzyjających wystąpieniu spływu powierzchniowego, do odbiorników wodnych przedostają się znaczne ilości zanieczyszczeń organicznych i biogennych.

Ze względu na znaczne ładunki zanieczyszczeń zawarte w wodach opadowych spływających z zabudowanych terenów wiejskich, celowe jest podjęcie działań zmierzających do ograniczenia zanieczyszczenia rzek i cieków wodnych wymagających szczególnej ochrony. Celowe wydaje się podjęcie analiz uzasadniających budowę systemu kanalizacji wód deszczowych.

LITERATURA

1. W. CHEŁMIKI: Woda, zasoby, degradacja, ochrona. PWN, Warszawa 2001, s. 305.
2. H. SAWICKA-SIARKIEWICZ: Ograniczenie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru. IOŚ, Warszawa 2003, s. 209.
3. W. GEIGER, H. DREISEITH: Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999, s. 334.
4. L. ROSSA: Zanieczyszczenia wód deszczowych spływających z zabudowanych obszarów wsi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2002, z. 477, ss. 151–159.
5. J.F. ATKINSON, K.S. GUPTA, J.V. DEPINTO, R.R. RUMER: Linking hydrodynamic and water quality models with different scales. Journal Env. Eng., 1998, Vol. 124, No. 5, pp. 398–408.
6. K. BANASIK, D. GÓRSKI, S. IGNAR: Modelowanie wezbrań opadowych i jakości odpływu z małych niekontrolowanych zlewni rolniczych. SGGW-AR, Warszawa 2000, s. 76.
7. M. GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK: Charakterystyka obszarowych źródeł zanieczyszczeń w Polsce. Mat. sem. „Ochrona wód przed wpływem rolniczych zanieczyszczeń obszarowych”, nr 27, IMUZ, Falenty 1990, ss. 143–161.
8. J. PAWLIK-DOBROWOLSKI: Ocena stanu czystości wód powierzchniowych w zlewni Raby na tle źródeł zanieczyszczenia. W: Zlewnia Raby jako obszar alimentacji wód i zanieczyszczeń dla zbiornika retencyjnego w Dobczycach. Zeszyty Politechniki Krakowskiej, Monografia nr 145, Kraków 1993, ss. 131–153.
9. J. DOJLIDO, J. WOYCIECHOWSKA, B. TABORYSKA, J. SZKUTNICKI: Wymywanie związków azotu i fosforu w zlewniach rolniczych dopływów górnej Wilgi. Wiad. IMGW, Warszawa 1998, t. 21 z. 4, ss. 39–72.
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 8 lipca 2004 r. w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz. U. nr 168, poz. 1763.
11. B. OSMULSKA-MRÓZ: Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków. IOŚ, Warszawa 1995, s. 219.
12. M. RADOUX: Le role des vegetaux superieurs dans l'epuration des eaux usees: hypothese d'application pour les bassins d'orange routiers. Ann. Travaux Publics Belgique, 1985, No 2, pp. 149–153.

Rossa, L., Sikorski, M. Assessing the Extent of Pollution in the Rain Water Discharge from Built-up Rural Areas. *Ochrona Środowiska* 2006, Vol. 28, No. 2, pp. 47–52.

Abstract: Three-year investigations were carried out into the chemistry of the rain water received by, and discharged from, two drainage basins with built-up rural areas. Flow was measured and water samples were collected at the monitoring cross-sections before and after passage of the stream through the built-up

area. The samples were analyzed for pH, COD, ammonia nitrogen, nitrates, nitrites, phosphates, chlorides, potassium and magnesium. The daily concentrations of the said pollutants measured in surface water and in the effluent from the rain-water drain were approximated in terms of the regression equations relating the concentration to the flow in the phases of rising and falling runoff. On that basis, daily and periodical loads of the pollutants leaving the drainage basins directly were calculated as the

difference between total load and basic load in the underground inflow. The passage of rainwater flow through the built-up area brought about a rise in COD and ammonia nitrogen concentration. Unit nitrogen loads discharged from the two drainage basins were found to be notably higher than relevant average values

established for Poland's rural areas. The load of pollutants in surface and subsurface runoff accounted for 99% and 30% of the total load, respectively.

Keywords: Rain water, surface runoff, rain sewerage, underground water inflow, pollutant load.