

Izabela ZIMOCH, Andrzej KUŚNIERSKI

INSTYTUT INŻYNIERII WODY I ŚCIEKÓW
POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ROLNICZE ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA DLA JAKOŚCI WODY DOSTARCZANEJ KONSUMENTOM

TAGRICULTURAL CAUSES OF HAZARDS TO QUALITY OF WATER SUPPLIED TO CONSUMERS

Zasoby wód naturalnych skażone są zarówno przez zanieczyszczenia pochodzenia chemicznego, jak i pochodzenia biologicznego. Na terenach użytkowanych rolniczo, szczególnie duży wpływ na zanieczyszczenie wód ma hodowla zwierząt i uprawa roślin. Główne grupy zanieczyszczeń stanowią czynniki biologiczne i nieorganiczne powstające w procesach mineralizacji materii organicznej. Ponadto inną grupę zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego stanowią zanieczyszczenia powstające w wyniku celowego zasilania upraw (np. pestycydy, nawozy azotowe itp.) mającego na celu poprawę wydajności uprawy.

Celem pracy jest ocena i analiza zmian jakości wody w systemie zaopatrzenia w wodę gminy Kietrz, jako reprezentatywnego systemu usytuowanego na terenie intensywnie użytkowanym rolniczo. Analizowany okres obejmuje lata 2010 – 2015. Integralną częścią badań jest analiza i oszacowanie ryzyka zagrożeń pochodzenia rolniczego dla jakości wody.

Resources of groundwater are contaminated by chemical and biological pollutants. On the area used by agricultural activity the most prevalent causes of contamination are cattle farming and plant cultivation. The main groups of contaminants are biological and non-organic factors, which arise during process of mineralization of organic substances. Another group of contaminants with agricultural origin is pollution created as a result of fertilization of fields in order to improve quality of crops' growth (pesticides, nitrogenous fertilizer)

The aim of this work is to assess and analyse the changes in quality of water in Kietrz water intake system, which is located in the area characterized by intensive and developed agricultural activity. The research was undertaken over period 2010-2015, and attempts to evaluate the dangers caused by agricultural land use on water quality.

1. Wprowadzenie

Zarządzanie jakością wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, mające na celu zwiększanie bezpieczeństwa jej dostaw do konsumenta, winno swoimi procedurami obejmować również zarządzanie zasobami wodnymi. Zarządzanie zasobami wodnymi, w tym szczególnie zasobami dyspozycyjnymi, stanowi kluczowy element prewencyjnego zapobiegania przyczynom i skutkom występowania losowych zdarzeń niepożądanych, prowadzących w skrajnych przypadkach do wstrzymania dostaw wody i podejmowania doraźnych działań naprawczych generujących znaczne koszty. Działania te często kończą się czasową poprawą jakości dostarczanej wody, bez podjęcia przez operatora systemów wodociągowych szczegółowej analizy przyczyn i wdrożenia procedur zapobiegawczych ochrony procesu dostaw wody od ujęcia do kranu konsumenta.

Tabela. 1. Struktura poboru i wykorzystania wód na potrzeby gospodarki narodowej i ludności w latach 2000-2013 [1]

Table. 1. The structure of water withdrawal for needs of the national economy and population in the period 2000-2013 [1]

Wyszczególnienie	Pobór wody [hm ³] w latach				
	2000	2005	2010	2012	2013
Pobór wody ogółem	11048,5	10940,3	10866,4	10830,3	10577,0
Pobór wód powierzchniowych	9150,6	9205,7	9172,6	9142,9	8898,9
Pobór wód podziemnych	1747,3	1640,4	1625,2	1629,8	1616,6
Łączny pobór wód na cele produkcyjne ¹⁾	7637,9	7734,1	7650,7	7697,1	7505,3
Pobór wód powierzchniowych na cele produkcyjne	7221,5	7420,9	7382,3	7439,1	7243,5
Pobór wód podziemnych na cele produkcyjne	265,8	219,0	199,8	200,3	200,3
Wody z odwadniania ²⁾	150,6	94,2	68,6	57,7	61,5
Łączny pobór wody dla rolnictwa ³⁾	2350,1	2105,2	2062,4	2030,8	1991,3
Pobór wód powierzchniowych dla rolnictwa	868,5	683,8	637,0	601,4	575,4
Pobór wód podziemnych dla rolnictwa	-	-	-	-	0,4
Pobór na cele SZW	2350,1	2105,2	2062,4	2030,8	1991,3
Pobór wód powierzchniowych na cele SZW	868,5	683,8	637,0	601,4	575,4
Pobór wód podziemnych na cele SZW	1482,5	1421,4	1425,4	1425,4	1415,9

¹⁾ Poza rolnictwem, leśnictwem, łowiectwem i rybactwem – z ujęć własnych

²⁾ Wody z odwadniania zakładów górniczych i obiektów budowlanych

³⁾ Nawadnianie w rolnictwie i leśnictwie oraz napełnianie i uzupełnianie stawów rybnych

Funkcjonowanie systemów zaopatrzenia w wodę (SZW) uwarunkowane jest w znacznym stopniu wielkością dostępnych zasobów wód jak i ich jakością, determinującą techniczne rozwiązania ciągu technologicznego jej uzdatniania. Woda przeznaczona do spożycia, pozyskiwana jest zarówno z ujęć powierzchniowych jak i podziemnych.

Na terenie Polski ze względów na dostępność oraz korzystniejsze od wód powierzchniowych parametry jakościowe, wody podziemne stanowią główne źródło zasilania systemów wodociągowych (tabela 1). Pomimo iż, globalnie ilość wód pobranych ze środowiska naturalnego na cele funkcjonowania SZW systematycznie maleje, to udział wód podziemnych w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę konsekwentnie wzrasta. W roku 2000 udział ten stanowił 63,1%, podczas gdy w 2013 osiągnął poziom 71,1% w odniesieniu do łącznego poboru wody ze środowiska naturalnego na cele eksploatacji systemów wodociągowych.

Zmienności budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych powoduje istotne różnicowanie obszarowe zasobów wód podziemnych w Polsce pod względem ilościowym i jakościowym. Na terenie Polski zasoby wód podziemnych eksploatowane są głównie z utworów czwartorzędowych. Wynika to z faktu dużej ich dostępności (tabela 2), niewielkich kosztów wykonania studni, oraz korzystnych warunków zasilania. Istotnym zagrożeniem poboru wód z tych utworów jest podatność na zanieczyszczenia warstwy wodonośnej i związana z tym konieczność ustanowienia stref ochronnych ujęć.

Tabela. 2. Zasoby eksploatacyjne wód podziemnych 1990-2013 [1]

Table. 2. Exploitable underground water resources in the period 1990-2013 [1]

Rodzaj	Wielkość zasobów eksploatacyjnych [hm ³] w latach						
	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013
Ogółem	14039,6	15393,2	16050,6	16575,6	17176,6	17436,0	17502,9
Utwory geologiczne czwartorzędowe	9125,7	9993,6	10570,4	10931,0	11379,7	11521,8	11564,3
Utwory geologiczne trzeciorzędowe	1544,4	1643,1	1626,6	1682,3	1784,9	1821,5	1829,9
Utwory geologiczne kredy	1825,1	2105,8	2179,1	2260,4	2342,7	2393,3	2405,9
Utwory geologiczne starsze	1544,4	1650,7	1674,1	1701,9	1669,2	1699,5	1702,8

Pozyskiwana woda z zasobów podziemnych charakteryzuje się dużą stabilnością składu w ciągu roku i w większości przypadków odpowiada wymogom stawianym wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, określonych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia [13]. Może jednak być zanieczyszczona zarówno pierwotnie, jak i wtórnie. Zatem, oceniając parametry wody, operatorzy SZW winni brać pod uwagę między innymi usytuowanie ujęcia, jego głębokość oraz budowę geologiczną pokładu, z którego woda jest ujmowana. Podstawowymi składnikami wód podziemnych są substancje nieorganiczne (mineralne), substancje organiczne, gazy oraz mikroorganizmy. W przypadku zanieczyszczeń pochodzenia mineralnego, duże znaczenie mają chlorki, węglany, siarczany, wodorowęglany, sól, magnez, wapń, ale również azotany, azotyny, krzemiany, potas, żelazo oraz jon amonowy [2].

Wymienione elementy w odpowiedniej ilości stanowią składowe niezbędne człowiekowi do zapewnienia prawidłowej gospodarki biologicznej, jednak w ilościach ponadnormatywnych, mogą stać się przyczyną powstania i rozwoju chorób. Dlatego też istnieje uzasadniona potrzeba stosowania układów uzdatniania wody. Szczególne znaczenie ma to dla ujęć, pozyskujących wodę z utworów czwartorzędowych, o niewielkiej głębokości, które narażone są na zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego. Ponadnormatywne wartości stężeń zanieczyszczeń stwierdzane w ujęciach o niewielkich głębokościach związane są głównie z prowadzoną działalnością gospodarczą. Szczególne znaczenie ma tu rozwój gospodarki rolnej oraz zanieczyszczenia generowane przez tę gospodarkę. Na jakość zasobów wód podziemnych mają wpływ działania mające na celu poprawę ilości i jakości uzyskanych plonów. Będą to, zatem pozostałości używanych pestycydów, nawozów, w tym nawozów naturalnych oraz czynniki mikrobiologiczne pochodzenia zwierzęcego.

Inną grupą zanieczyszczeń zasobów wód podziemnych są zanieczyszczenia pierwotne, które powstają głównie przez procesy związane z wymywaniem substancji ze skał i warstw wodonośnych.

Zagrożenia bezpieczeństwa dostaw wody mogą wystąpić w każdym systemie, bez względu na jego wielkość, liczbę ujęć zasilających oraz ukształtowanie i właściwości geofizyczne terenu, na jakim usytuowane jest system. Dane literaturowe [3, 4] wskazują, że narażenie na zagrożenia w poszczególnych przypadkach zależy między innymi od rodzaju prowadzonej działalności gospodarczej. W związku z brakiem możliwości eliminacji zagrożeń, istnieje uzasadniona konieczność ich analizy w systemach wodociągowych. Jednocześnie istotnym jest opracowanie programu wdrożenia działań prewencyjnych, mających na celu zabezpieczenie dostaw odpowiedniej jakości wody konsumentom.

Podstawę ochrony wód w Polsce stanowi Ustawa z dnia 18 lipca 2001r. Prawo Wodne [5]. Akt ten reguluje gospodarkę zarówno wodami powierzchniowymi oraz podziemnymi. W zakresie obowiązków administratorów SZW, wymieniono w nim potrzebę zapewnienia stref ochronnych ujęć wody jako pierwszej bariery ochronnej w łańcuchu dostaw wody przeznaczonej do spożycia, w celu między innymi eliminacji potencjalnych zagrożeń dla naturalnych zasobów dyspozycyjnych. Obowiązek ustanawiania stref ochronnych ujęć w Polsce został jednak zniesiony w roku 2011, co istotnie zwiększa ryzyko eksploatacji systemów wodociągowych i uzasadnia wprowadzanie w codzienne praktyki zarządzania SZW procedur oceny zagrożeń i działań prewencyjnych.

2. Rolnicze zagrożenia eksploatacji ujęć wody

Bardzo rozległym sektorem gospodarki na terenie kraju jest sektor rolniczy. Oddziaływanie na jakość wód ma zarówno wielkoobszarowa gospodarka rolna, jak i rolnictwo indywidualne. Szczególnie w tym przypadku istnieje zwiększone zagrożenie ze względu na brak bezpośredniego i stałego nadzoru nad prowadzoną działalnością rolniczą. Hodowla zwierząt oraz uprawa roślin, nie pozostaje obojętna zarówno dla jakości wód powierzchniowych, jak i podziemnych.

Źródłem zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego są prowadzone prace związane z nawożeniem upraw (głównie związki azotowe, pestycydy, stosowanie gnojowicy, a w związku z tym obecność mikroorganizmów mogących stanowić zagrożenie dla ujęć), ale również składowanie nawozów, sposób użytkowania terenu (zabiegi agrotechniczne), wieloletnie hodowle monotypowe oraz wpływ wypasania bydła na terenach zlewni. Stała uprawa determinuje zwiększoną migrację wody w obszarze zlewni wraz z wymywanymi przez nią elementami pochodzenia mineralnego oraz biologicznego. Biorąc pod uwagę również słabą izolację przed przenikaniem zanieczyszczeń z powierzchni do pokładów wody szczególnie w przypadku ujęć o niewielkiej głębokości, zanieczyszczenia specyficzne dla działalności rolniczej mogą stać się doskonałym wskaźnikiem zmian jakości wody przeznaczonej do spożycia. Zatem głębokość ujęć istotnie determinuje ilość i rodzaj zanieczyszczeń pochodzenia biologicznego. Zagrożenie w tym przypadku stanowią bakterie grupy coli, *Escherichia Coli* oraz wystąpienie ogólnej liczby kolonii w temperaturze 22°C.

Duże oddziaływanie na jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi w systemach usytuowanych na terenach intensywnie użytkowanych rolniczo, a więc głównie terenach wiejskich ma też sposób odprowadzania ścieków z gospodarstw domowych. Szczególne odnosi się to do terenów, na których brak jest sieci kanalizacyjnej, a ścieki utylizowane są w indywidualnych oczyszczalniach. Zatem ryzyko wystąpienia zagrożenia dla stanu jakości wody jest tym większe, czym mniejszy odsetek gospodarstw podłączonych jest do oczyszczalni zbiorczych [6].

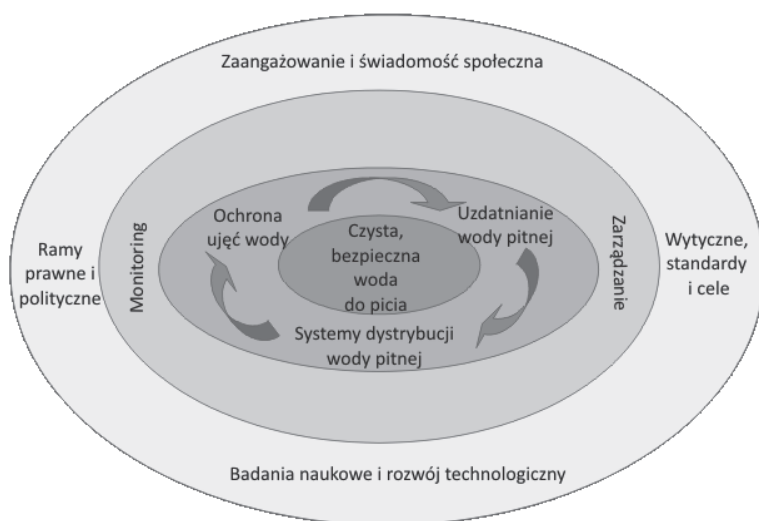
Źródła zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego, klasyfikuje się w zależności od sposobu emisji na źródła obszarowe i punktowe [7-9]. Dla omawianych obszarów i prowadzonej działalności szczególne znaczenie mają źródła punktowe, którymi są w tym przypadku indywidualne gospodarstwa rolne i prowadzona tam hodowla zwierząt.

Systemy zaopatrzenia w wodę stanowią techniczne struktury dynamicznie rozwijające się w okresie ich istnienia. Ciągły rozwój techniki i technologii, pozwala na ich stałą modernizację i rozwój. Jak wynika z danych literaturowych [6], w Polsce ponad 72% wsi jest zwodociągowanych, a procesy budowy nowych wodociągów jest ciągle rozwijany. Pomimo to nie jest możliwe przewidzenie, kiedy i w jakich warunkach może nastąpić uszkodzenie w układzie zasilania w wodę. Nie jest, więc również możliwe określenie, kiedy mogą ulec zmianie parametry dostarczanej wody oraz prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego. Dlatego istotną jest potrzeba oszacowania przez operatorów SZW, ryzyka utraty bezpieczeństwa eksploatacji układów zasilania w wyniku pogorszenia jakości ujmowanej wody, warunkującej właściwe funkcjonowanie pozostałych elementów systemu wodociągowego, a przede wszystkim uzyskanie wymaganego efektu technologicznego uzdatniania wody.

Rozproszony system zaopatrzenia w wodę, jakim w większości przypadków są wiejskie systemy wodociągowe, o stosunkowo rozbudowanej infrastrukturze podziemnej, generuje także zagrożenia pośrednie, wynikające np. z potrzeby naprawy uszkodzonej sieci przebiegającej przez pola uprawne. Niewielkie zapotrzebowanie na wodę, ze względu na małą liczbę odbiorców, może stanowić również zagrożenie, zwłaszcza w przypadku, kiedy pozyskana woda zalega dłużej w zbiornikach lub w kolejnych odcinkach sieci wodociągowej.

3. System oceny zagrożeń i szacowania ryzyka

Występujące w systemach zaopatrzenia w wodę zagrożenia, wymuszają na administratorach podejmowanie wszelkich działań mających na celu zapewnienie stałych dostaw odpowiedniej jakości wody. Ważne jest więc, aby systemy wodociągowe działały poprawnie na każdym etapie procesu dostarczania wody, począwszy od ujęcia, poprzez system uzdatniania oraz dystrybucji, i na instalacjach wewnętrznych zakończywszy. W skład działań takich wchodzi między innymi szacowanie ryzyka. Dlatego też, spełniając wymogi nałożone przepisami międzynarodowymi i krajowymi [5, 10, 11, 13], w wielu przedsiębiorstwach wodociągowych wdrażane są procedury zarządzania jakością wody, oparte na systemie wielobarierowości ochrony (rys. 1) [12].



Rys 1. Wielobarierowa ochrona jakości wody [12]

Fig. 1. Multi-Barrier Approach [12]

Celem nadrzędnym systemu oceny zagrożeń i zarządzania ryzykiem w odniesieniu do zasobów wody przeznaczonej do spożycia jest zapobieganie występowaniu potencjalnych zanieczyszczeń ujmowanej wody substancjami niebezpiecznymi dla zdrowia konsumenta. Zatem podstawę stanowią tu działania prewencyjne związane z minimalizacją prawdopodobieństwa wystąpienia tych zagrożeń.

Bezpieczeństwo dostaw wody, wiąże się nierozdzielnie z potrzebą zagwarantowania niezawodności technicznej eksploatacji podsystemu produkcji wody. Jednym z podstawowych czynników gwarantujących zasilanie sieci wodociągowej wodą o wysokiej jakości jest prawidłowe funkcjonowanie ciągu technologicznego uzdatniania, dostosowanego do zmieniających się w czasie parametrów wody pozyskiwanej z zasobów naturalnych. W związku z brakiem możliwości zupełnego wyeliminowania zdarzeń niepożądanych, zasadnym jest przeprowadzenie analizy oraz oszacowania ryzyka wystąpienia tego typu zagrożeń.

W tym celu w metodyce badawczej wykorzystano metodę matrycową, mającą praktyczne i uniwersalne zastosowanie w szacowaniu ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę. W procedurach analitycznych, w oparciu o klasyczną definicję ryzyka (równanie 1), uwzględniono dwa parametry: prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego (PN) oraz skutki finansowe generowane w następstwie tego zdarzenia (S) [15, 16]:

$$r = P_N \cdot S \quad (1).$$

Analiza literatury [3, 4] oraz wyników badań prowadzonych przez administratorów i organy nadzoru, pozwoliła na wytypowanie najbardziej charakterystycznych czynników mających wpływ na jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi na terenach użytkowanych rolniczo. Czynniki te są niewątpliwie azotany oraz skażenie mikrobiologiczne. Zatem w analizie zagrożeń pochodzenia rolniczego dla jakości wody w prezentowanej metodyce badawczej przyjęto trzy parametry tj.: azotany (A_1), bakterie grupy coli (A_2) oraz ogólną liczbę mikroorganizmów w temperaturze 22°C (A_3), dla których wyznacza się częstotliwość wystąpienia niezgodności z rozporządzeniem ministra zdrowia dotyczącym jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [13]. W analizie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych uwzględniono zarówno niezawodność techniczną pracy podsystemu produkcji wody (PsPrW) jak i jakość ujmowanej wody. Dla rolniczych jednostek osadniczych z uwagi na liczbę mieszkańców przyjęto według klasyfikacji Profesora Wieczystego [14] dwie kategorie niezawodności tj. kategorię IV (jednostki osadnicze o liczbie mieszkańców od 1000 do 50 000) oraz kategorię V (jednostki osadnicze o liczbie mieszkańców poniżej 1000), dla których wskaźnik gotowości K_g wynosi odpowiednio: 0,9150137 i 0,8706849. Dla przyjętych parametrów A_1 , A_2 , A_3 w ocenie zagrożeń pochodzenia rolniczego dla jakości wody określano kryteria prawdopodobieństwa zdarzeń niepożądanych w oparciu o częstotliwość wystąpienia przekroczenia poszczególnych parametrów w ciągu zdefiniowanego horyzontu czasowego:

- raz w ciągu roku,
- raz na pół roku,
- częściej niż raz na pół roku.

Uwzględniając zdefiniowane założenia wystąpienia zdarzeń niepożądanych przyjęto wagi (tabela 3) dla wyliczonych prawdopodobieństw stanów pracy PsPrW determinowanych niezawodnością techniczną i jakością ujmowanej wody, wg formuły:

$$P_N = K_g(PsPrW_i) \cdot p_i(A) \quad (2)$$

gdzie:

- $K_g(PsPrW_i)$ – wymagany wskaźnik gotowości dla podsystemu produkcji wody dla i-tej kategorii niezawodności,
- $p_i(A)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia jakości wody pochodzenia rolniczego.

Tabela. 3. Wagi prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego pochodzenia rolniczego
 Table. 3. Probability scales of hazard of agricultural activity

Wagi prawdopodobieństw zagrożenia pochodzenia rolniczego	Prawdopodobieństwo dla kategorii niezawodności IV	Prawdopodobieństwo dla kategorii niezawodności V
L = 1	$\leq 0,00262$	$\leq 0,00256$
M = 2	$0,00263 \div 0,00524$	$0,00256 \div 0,00511$
H = 3	$\geq 0,00525$	$\geq 0,00512$

Parametr związany z wielkością strat (S) został określony na podstawie zgromadzonych danych dotyczących wysokości kosztów poniesionych przez administratorów wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę powiatu głubczyckiego (województwo opolskie) oraz na podstawie danych Powiatowej Stacji Sanitarno – Epidemiologicznej w Głubczycach związanych z kosztami postępowania administracyjnego. Przyjęto trzy kategorie strat małe L (low), średnie M (medium) i duże H (high):

- dostrzegalne zmiany organoleptyczne wody, pojedyncze skargi konsumentów, straty finansowe do $2,5 \cdot 10^3$ PLN związane z kosztami dodatkowych badań jakości wody w ujęciu i zwiększenia efektywności procesu uzdatniania wody – L = 1,
- znaczna, widoczne zmiany organoleptyczne (odczuwalny zapach wody, podwyższona barwa i mętność, występowanie zanieczyszczeń bakteriologicznych), liczne skargi, komunikaty, straty finansowe od $2,5 \cdot 10^3$ do $5 \cdot 10^3$ PLN związane z kosztami dodatkowych badań jakości wody w ujęciu i zwiększenia efektywności procesu uzdatniania wody – M = 2,
- widoczne zmiany parametrów jakości wody stanowiące potencjalne zagrożenie dla zdrowia konsumenta (odczuwalny zapach, podwyższona barwa i mętność, utrzymujące się zanieczyszczenia bakteriologiczne), zaangażowanie profesjonalnych służb technicznych, poważne efekty toksyczne wśród organizmów wskaźnikowych, informacje w mediach, straty finansowe powyżej $5 \cdot 10^3$ PLN związane z potrzebą zapewnienia alternatywnych dostaw w okresie występowania pogorszonej jakości wody w ujęciu i kosztami wyłączenia ujęcia lub określonego obszaru zasilania, koszty dodatkowych badań jakości wody w ujęciu oraz koszty zwiększenia efektywności procesu uzdatniania wody, dezynfekcji, koszty procedur postępowania organów nadzoru – H = 3.

Ostatnim krokiem metodyki analitycznej jest oszacowanie ryzyka z wykorzystaniem matrycy (tabela 4), łączącej skalę punktowa prawdopodobieństwa (P_N) wystąpienia zagrożenia jakości wody pochodzenia rolniczego oraz skalę następstw (S). Zgodnie z przedstawioną matrycą określono trzy kategorie ryzyka:

- ryzyko tolerowane – liczba punktów od 1 do 2,
- ryzyko kontrolowane – liczba punktów od 3 do 4,
- ryzyko nieakceptowane – liczba punktów od 6 do 9.

Tabela. 4. Matryca ryzyka

Table. 4. Matrix of risk

Waga punktowa prawdopodobieństwa - P	Waga punktowa skutków następstw zagrożenia - S		
	L=1	M=3	H=3
L = 1	1	2	3
M = 2	2	4	6
H = 3	3	6	9

4. Opis przedmiotu badań

Gmina Kietrz usytuowana jest na płaskowyżu głębszym. Jest to gmina, w której podstawowym rodzajem działalności gospodarczej, jest rolnictwo. Działalność prowadzi jeden duży podmiot zajmujący się produkcją roślinną i zwierzęcą, jak również kilka spółdzielni rolniczych oraz wielu rolników indywidualnych prowadzących działalność na niewielkich arealach. Zwłaszcza w przypadku rolników indywidualnych, prowadzona produkcja roślinna pozostająca w przewadze, ma wpływ na zanieczyszczenie środowiska, w tym wód powierzchniowych i podziemnych. Całość aktywności gospodarczej na tych terenach uzupełniają zakłady przemysłu metalowego oraz drobni przedsiębiorcy.

System zaopatrzenia w wodę gminy Kietrz (tabela 5), stanowi 9 układów zasilania. Największy z nich, to układ zasilania w wodę (UZW) Kietrz zaopatrujący 6950 konsumentów. Jest to jednocześnie system, który pozyskuje i dystrybuje największą ilość wody przeznaczonej do spożycia (1300 l/d). Pozostałe 8 układów dostarcza do mieszkańców około 30 % całkowitej produkcji wody w gminie (567 l/d). SZW gminy Kietrz posiada ujęcia pozyskujące wodę z zasobów o głębokości od 3 m do 25 m.

Tabela. 4. Charakterystyka SZW Kietrz

Table. 4. Characteristics of WSS in Kietrz

lp.	Wodociąg	Długość sieci [km]	Średnia produkcja wody [m ³ /d]	Liczba mieszkańców [tys.]	Liczba studni [-]	Zakres głębokości studni [m]
1	Kietrz	22,7	1300	6,95	3	21 – 25
2	Chróścielów Nasiedle	22,0	180	1,51	3	18 – 20
3	Rozumice	12,3	155	0,69	2	3 – 4,9
4	Nowa Cerekwia	6,9	76	0,85	4	3 – 4
5	Dzierżysław	5,9	62	0,58	2	14 – 16
6	Wojnowice	8,2	58	0,59	3	6,5 – 7,3
7	Kozłówek	1,3	18	0,19	2	4 – 7
8	Wojnowice Osiedle	1,5	12	0,10	2	7,3
9	Gniewkowice	1,0	6	0,05	1	85

Sieć wodociągowa gminy Kietrz wykonana została w przeważającej części ze stali, która stanowi 76,52% całej długości sieci. Pozostała część sieci została wykonana z PVC, PE, żeliwa oraz z przewodów azbestowo-cementowych (stanowią one nadal 5,97% długości sieci wodociągowej).

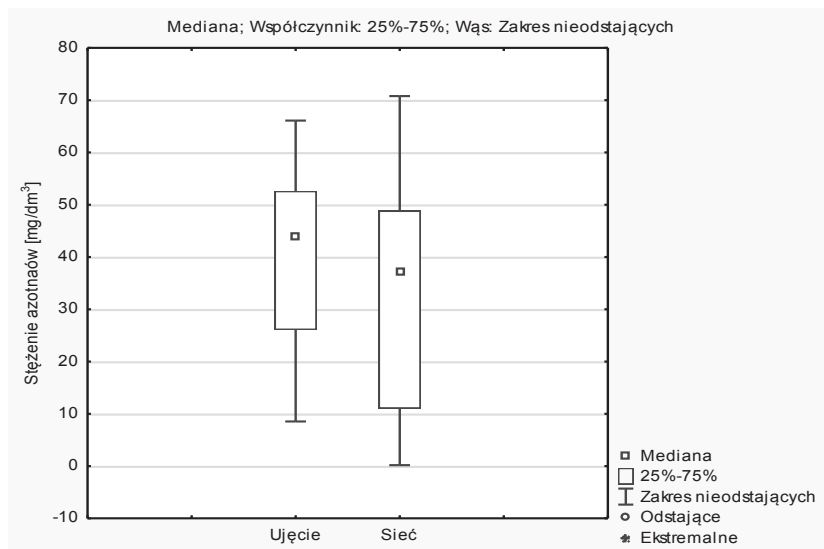
Nadzór nad jakością wody w gminie prowadzi Państwowa Inspekcja Sanitarna oraz administratorzy poszczególnych UZW. Badania wykonywane są zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) oraz prawodawstwa polskiego [13, 17], z częstotliwością konsultowaną z Państwowym Powiatowym Inspektorem Sanitarnym w Głubczycach. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, podejmowane są środki administracyjne mające na celu zapewnienie dostawy do konsumenta odpowiedniej jakości wody.

5. Ocena jakości wody w SZW gminy Kietrz

Przeprowadzona ocena jakości, obejmująca zarówno wody pobierane z ujęć jak i w różnych punktach w podsystemie jej dystrybucji, oparta została na interpretacji wytypowanych wcześniej parametrów. Są nimi: azotany oraz czynniki mikrobiologiczne (bakterie grupy coli oraz ogólna liczba mikroorganizmów w temperaturze 22°C). Badania przeprowadzono w oparciu o pozyskane dane z okresu 2010 – 2015. Próby wody były pobierane w okresie całego roku z różną częstotliwością.

5.1 Analiza zawartości azotanów w wodzie

W ramach przeprowadzonych prac badano zmienność stężeń azotanów w wodzie surowej w poszczególnych ujęciach oraz w wodzie w różnych punktach sieci wodociągowej (rys. 2).



Rys 2. Zmienność stężeń azotanów w wodzie dla SZW Kietrz
Fig. 2. Variability of nitrate concentration in the water for WSS Kietrz

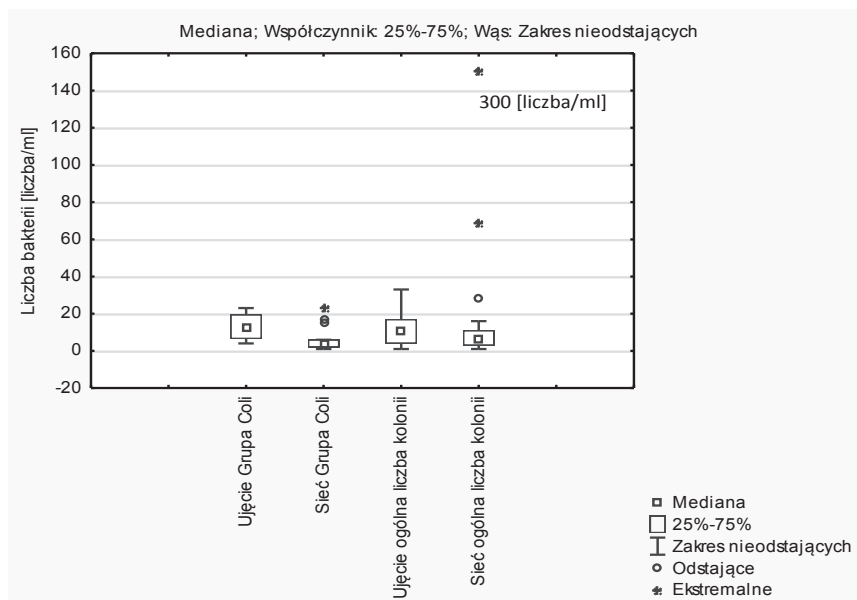
Przeprowadzona analiza wykazała dużą zmienność stężeń azotanów w wodzie. W przypadku wody surowej dla całego systemu w gminie Kietrz, poziomy azotanów wahały się w granicach od 8,54 [mg/dm³] do 66,1 [mg/dm³]. Woda uzdatniona, pobierana w reprezentatywnych punktach sieci zawierała odpowiednio od 0,18 [mg/dm³] do 70,79 [mg/dm³] azotanów w badanych próbach. Rozkład stężeń dla poszczególnych układów zasilania charakteryzował się dużą zmiennością.

Najwyższe stężenia azotanów odnotowano w UZW Gniewkowice, dla którego w rozpatrywanym okresie badawczym woda surowa zawierała od 38,62 [mg/dm³] do 66,10 [mg/dm³] azotanów. Średnie stężenia azotanów w wodzie surowej w tym układzie zasilania osiągnęło poziom 55,51 [mg/dm³], co istotnie przełożyło się na prawdopodobieństwo przekroczenia wartości NDS, wynoszące aż 0,86. Podobna sytuacja miała miejsce w tym samym układzie dla wody pobieranej z sieci wodociągowej. W tym przypadku stężenie azotanów w wodzie uzdatnionej wahało się pomiędzy 38,85 [mg/dm³] a 63,10 [mg/dm³].

Przekroczenia stężeń azotanów odnotowano również w studniach UZW Rozumice, w których aż w sześciu pobranych próbach stężenie przyjmowało wartości od 50,90 [mg/dm³] do 56,80 [mg/dm³], w tym przypadku średnie stężenie azotanów w horyzoncie czasowym 2010 – 2015 wynosiło 43,59 [mg/dm³], a prawdopodobieństwo przekroczenia wartości NDS osiągnęło poziom 0,44. Jakość ujmowanej wody w UZW Rozumice przekładała się na występowanie ponadnormatywnych stężeń azotanów w wodzie dostarczanej do konsumentów, których zmienność obejmowała zakres stężeń od 17,86 [mg/dm³] do 70,79 [mg/dm³], dla wartości średniej na poziomie 43,91 [mg/dm³]. Prawdopodobieństwo przekroczenia NDS w wodzie z sieci wyniosło 0,19.

5.2 Analiza zanieczyszczeń mikrobiologicznych wody

Ocena jakości wody dla systemu zaopatrzenia w wodę gminy Kietrz została przeprowadzona także pod kątem występowania w badanych próbach czynników mikrobiologicznych. Badania wykonano w odniesieniu do bakterii grupy coli oraz ogólnej liczby mikroorganizmów w temperaturze 22°C. Analizy prowadzone były w tym przypadku, podobnie jak poprzednio zarówno w wodzie surowej, jak i w wodzie uzdatnionej w różnych reprezentatywnych punktach sieci. Zmienność mikroorganizmów w wodzie przedstawiono na rysunku 3.



Rys 3. Zmienność liczby mikroorganizmów w wodzie dla SZW Kietrz

Fig. 3. Variability of microorganisms in the water for WSS Kietrz

W rozpatrywanym horyzoncie czasowym (2010 – 2015) obecność bakterii grupy coli stwierdzano incydentalnie w 7 na 9 UZW. Obecność bakterii tej grupy stwierdzano zarówno w wodzie surowej, jak i w wodzie uzdatnionej. Podobna sytuacja miała miejsce w przypadku ogólnej liczby kolonii w temperaturze 22°C. Ich obecność stwierdzano w 5 na 9 układów (tj. UZW: Kietrz, Dzierżysław, Wojnowice, Nowa Cerekwia, Wojnowice Osiedle) zarówno w wodzie surowej jak i uzdatnionej, pobieranej z sieci. Istotnym jest fakt, że analiza wykazała szczególnie liczne próby zawierające mikroorganizmy w roku 2015, w UZW Nowa Cerekwia ujmujących wodę zaledwie z głębokości 4 m. W całym SZW Kietrz stwierdzono występowanie zanieczyszczeń microbiologicznych głównie w studniach czerpiących wodę z płytszych warstw wodonośnych (do 10 m), natomiast w UZW eksploatujących studnie o głębokości powyżej 10 m zdarzenie to miało charakter incydentalny. Zatem przeprowadzona analiza wykazała wyraźny wpływ głębokości studni na obecność mikroorganizmów w ujmowanej wodzie. Dla 3 układów (UZW: Wojnowice, Nowa Cerekwia oraz Wojnowice Osiedle), w których głębokość studni waha się od 3 do 7,3 m, badania wykazały największe zagrożenie bakteriologicznego skażenia wody, pochodzenia rolniczego. Z punktu bezpieczeństwa dostaw wody istotnym jest także fakt, że we wszystkich 3 UZW, ujęcia usytuowane były w bezpośredniej bliskości pól uprawnych rolników indywidualnych.

6. Analiza ryzyka dla rolniczych zagrożeń występujących w SZW Kietrz

W pracy oceny niezawodności systemu dokonano dla wydzielonych, na podstawie liczby mieszkańców, kategorii niezawodności SZW [14]. Zgodnie z określonymi kryteriami dwa UZW (tj. Kietrz oraz Chróścielów–Nasiedle) zaliczono do IV kategorii niezawodności, natomiast w przypadku 7 UZW (tj. Rozumice, Nowa Cerekwia, Dzierżysław, Wojnowice, Kozłowski, Wojnowice Osiedle oraz Gniewkowice) przyjęto kategorię V. Wymagane wartości wskaźników gotowości PsPrW dla powyższych kategorii, przy założeniu równo-rzędności systemów produkcji i dystrybucji wody, wynoszą odpowiednio: $K_{IV}=0.95656348$ oraz $K_V=0.93310498$ [14].

Tabela. 5. Prawdopodobieństwo pogorszenia jakości wody w wyniku działalności rolniczej dla UZW gminy Kietrz

Table. 5. Probability of water quality deterioration as a result of agricultural activities for AWS Kietrz municipality

UZW	Prawdopodobieństwa przekroczenia jakości wody	Prawdopodobieństwo P_N	Waga prawdopodobieństwa
Kietrz	0,00273823	0,005239	2
Chróścielów – Nasiedle	0,00	0,00	1
Rozumice	0,01369113	0,012775	3
Nowa Cerekwia	0,00821468	0,007665	3
Dzierżysław	0,00273823	0,002555	1
Wojnowice	0,010952903	0,01022	3
Kozłowski	0,00	0,00	1
Wojnowice Osiedle	0,002738226	0,0038335	2
Gniewkowice	0,062979189	0,058766	3

W przeprowadzonej analizie, na podstawie zgromadzonych danych o jakości wody, wyznaczono zdarzenia, w których ujmowana woda charakteryzowała się przekroczonymi dopuszczalnymi stężeniami dla azotanów (A_1), bakterii grupy coli (A_2) oraz ogólnej liczby mikroorganizmów w 22°C (A_3), na podstawie których (dla poszczególnych UZW gminy Kietrz) wyznaczono prawdopodobieństwo występowania wody, która zawierała zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego (tabela 5) oraz prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego PN w efekcie negatywnego wpływu działalności rolniczej na jakość ujmowanej wody.

W oparciu o zgromadzone dane dotyczących konsekwencji wystąpienia zmian jakości wody w następstwie działalności rolniczej w obszarach eksploatacji ujęć, w kolejnym kroku procedury analitycznej poszczególnym UZW przypisano kategorie skutków S, zgodnie z przyjętą w metodyce badawczej klasyfikacją (rozdział 4). Pozwoliło to na ostateczne oszacowanie ryzyka zmian jakości wody w efekcie zagrożeń pochodzenia rolniczego w SZW gminy Kietrz (tabela 6).

Tabela. 6. Ryzyko zagrożeń rolniczych dla jakości dostaw wody w SZW gminy Kietrz
 Table. 6. The risk of the water quality changes in Kietrz WSS due to agricultural hazards

Wodociąg	P _N	S	Waga ryzyka	Kategoria ryzyka
Kietrz	2	1	2	tolerowane
Chróścielów – Nasiedle	1	1	1	tolerowane
Rozumice	3	1	3	kontrolowane
Nowa Cerekwia	3	1	2	tolerowane
Dzierżysław	1	2	2	tolerowane
Wojnowice	3	1	3	kontrolowane
Kozłowski	1	1	2	tolerowane
Wojnowice Osiedle	2	2	4	kontrolowane
Gniewkowice	3	1	3	kontrolowane

Interpretując wyznaczone ryzyko stwierdzono zatem, że dla SZW Kietrz w 5 przypadkach ryzyko sklasyfikowano jako tolerowane, natomiast w 4 przypadkach ryzyko określono jako kontrolowane. Nie stwierdzono natomiast przypadku UZW, dla którego zagrożenia pochodzenia rolniczego klasyfikowałyby go do kategorii nieakceptowanego ryzyka zagrożeń zmian jakości wody dostarczanej konsumentom. Z analizy poszczególnych układów zasilania w wodę SZW Kietrz wynika również, że skutki finansowe, w ograniczonym stopniu były konsekwencją stwierdzonych kategorii ryzyk.

7. Wnioski

Ocena zmian jakości wody ujmowanej z zasobów podziemnych w okresie 2010-2015 w systemie zaopatrzenia gminy Kietrz potwierdza przydatność zaproponowanej metody matrycowej oceny zagrożeń w analizie ryzyka funkcjonowania SZW zlokalizowanych na obszarach intensywnie użytkowanych rolniczo.

Przyjęte w metodyce parametry jakości wody tj. azotany, bakterie grupy coli, ogólna liczba mikroorganizmów w temperaturze 22°C, w pełni pozwalają na ocenę wpływu działalności rolniczej na jakości wód podziemnych. Ocena ta umożliwia opracowanie niezbędnych działań prewencyjnych w obszarze ujęć wody, celem zmniejszenia negatywnych skutków rolniczych zagrożeń dla jakości zasobów wód podziemnych.

Zarówno zawartość azotanów, jak i obecność czynników biologicznych w badanych próbach pobranych w różnych UZW w gminie Kietrz ma ścisły związek z głębokością studni, będących źródłem zasilania systemu wodociągowego. Im ujmowana woda pochodzi z głębszych zasobów podziemnych tym ryzyko zagrożenia rolniczego zanieczyszczenia maleje. Najczęściej zanieczyszczania mikrobiologiczne odnotowano w wodzie w studniach o głębokości nie większej niż 10 m (UZW Nowa Cerekwia, UZW Wojnowice i UZW Wojnowice Osiedle).

Wyznaczone na podstawie zgromadzonych danych ryzyko zmian jakości wody w skutek zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego w SZW Kietrz pozwala na wyznaczanie UZW o największym ryzyku zagrożeniu utraty bezpieczeństwa dostaw wody. Przeprowadzona analiza ryzyka w poszczególnych UZW w gminie Kietrz wykazała, iż ryzyko to klasyfikowane jest w większości przypadków do kategorii ryzyka tolerowanego lub kontrolowanego, co znalazło odzwierciedlenie w rolniczym sposobie użytkowania terenu.

Bibliografia

- 1) Główny Urząd Statystyczny, Departament Badań Regionalnych i Środowiska. Ochrona Środowiska 2014. Warszawa 2014
- 2) Czajkowska A., Stopień zanieczyszczenia związkami biogennymi płytkich wód podziemnych w zagospodarowanej rolniczo części zlewni Bielawki, *Górnictwo I Geologia*, 2010, 5(4) 91-103
- 3) Oppeltova P., Agriculture and water sources protection zones, Conference Title Soil and Water Engineering. International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: agriculture and engineering for a healthier life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012
- 4) Massaruto A., Agriculture, water resources and water policies in Italy, *FEEM Working Paper*, 1999, 33
- 5) Ustawa z dnia 18 lipca 2001r. Prawo Wodne /Dz. U. z 2015 poz. 469, 1590, 1642/
- 6) Kaca E., Zagrożenia wynikające ze stanu sanitarnego wsi, *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2010, 3 5-15
- 7) Maciszczyk A. and Dobrzański D., Hydrogeochemia. Strefy aktywnej wyminy wód podziemnych, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007
- 8) Jasiewicz Cz. And Baran A., Rolnicze źródła zanieczyszczenia wód-biogeny, *Journal of Elementology*, *Kwartalnik Polskiego Towarzystwa Magnezologicznego*, 2006, 11(3) 367-377
- 9) Halicki W., Restrukturyzacja rolnictwa w Polsce I jej wpływ na jakość wód podziemnych ujmowanych dla celów wodociągowych, *INSTAL*, 2011, 9 68-72
- 10) Dyrektywa Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi /Dz. U. UE-L 330 z 5.12.1998/
- 11) Dyrektywa Komisji (UE) 2015/787 z dnia 6 października 2015r. zmieniająca załącznik II oraz III do dyrektywy Rady 98/83/WE w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi /Dz.U. UE-L 260/6 z 7.10.2015r./
- 12) From Source to Tap. The Multi-barrier approach to safe drinking water. Canadian of Ministers of the Environment, 2002
- 13) Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do picia /Dz. U. poz. 1989/
- 14) Wieczysty Niezawodność systemów wodociągowych I kanalizacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- 15) Rak R.J. and Tchórzewska-Cieślak B, Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005
- 16) Rak R.J. Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005
- 17) Guidelines for drinking-water quality. Third edition. Volume 1. Recommendations, WHO, Geneva, 2004

