

BADANIA MODELOWE WPŁYWU PROJEKTOWANEGO  
SYSTEMU WODOCIĄGÓW I KANALIZACJI  
NA JAKOŚĆ WÓD GRUNTOWYCH I POWIERZCHNIOWYCH

MIECZYŚLAW CHALFEN<sup>1</sup>, TADEUSZ MOLSKI<sup>2</sup>, KATARZYNA WIĄCEK<sup>2</sup>

Akademia Rolnicza

<sup>1</sup> Katedra Matematyki, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław

<sup>2</sup> Instytut Inżynierii Środowiska, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

KOMUNIKAT

Keywords: water quality, drinking water and wastewater systems, mathematical modeling.

MODELING OF INFLUENCE OF DEVELOPING  
DRINKING AND WASTE-WATER INFRASTRUCTURE  
ON GROUND- AND SURFACE WATER QUALITY

Groundwater quality depends on many factors, among which public water supply systems and wastewater infrastructure in built-up areas plays a very important role. Analyses of influence of designed water supply and sewage network in Maciejowa village on the ground- and surface water quality have been the main aim of the paper. A mathematical model based on deterministic description of groundwater flow and migration of pollutants has been applied. An influence of various scenarios of drinking water/wastewater system development and management on pollution loads entering water environment were simulated. Recommendations regarding the sequence of individual piping systems construction were formulated to assure the best protection of water resources.

Streszczenie

Jakość wód gruntowych uwarunkowana jest wieloma czynnikami, przy czym istotną rolę odgrywa uzbrojenie terenu zabudowanego w urządzenia wodociągowe i kanalizacyjne. Celem pracy jest określenie wpływu oddziaływania projektowanych sieci kanalizacyjnych i wodociągowych na jakość wód gruntowych i powierzchniowych na przykładzie miejscowości Maciejowa. W badaniach zastosowano metodę modelowania matematycznego bazującego na deterministycznym opisie zjawisk przepływu wody i zanieczyszczeń chemicznych w wodach podziemnych. Badano ładunek zanieczyszczeń docierających do wód powierzchniowych przy różnych wariantach gospodarki wodno-ściekowej. Sformułowano wnioski dotyczące kolejności prowadzonych inwestycji w celu zapewnienia najlepszej ochrony wód gruntowych i powierzchniowych.

WSTĘP

Budowa nowych i rozbudowa istniejących systemów kanalizacyjnych i wodociągowych jest jednym z istotnych czynników wpływających na jakość wód gruntowych i po-

wierzchniowych terenów przyległych. Sieć kanalizacyjna ma za zadanie zmniejszenie lub całkowite zlikwidowanie dopływu ścieków bytowo-gospodarczych z istniejących, starych, często nieszczelnych zbiorników bezodpływowych (szamb), a tym samym jest czynnikiem poprawiającym jakość wód. Z drugiej strony budowa sieci wodociągowej skutkuje zwiększonym zużyciem wody na cele bytowo-produkcyjne. Jeśli równocześnie teren nie jest skanalizowany, to każde gospodarstwo staje się potencjalnym punktowym, stałym w czasie źródłem zwiększonej emisji zanieczyszczonych wód. W pracy pokazano, na przykładzie projektowanego systemu wodociągowo-kanalizacyjnego w Maciejowej, w jaki sposób prawidłowa kolejność wykonywanych inwestycji może wpływać na zmniejszenie stopnia degradacji wód gruntowych i powierzchniowych w dłuższym horyzoncie czasowym.

### CHARAKTERYSTYKA REJONU BADAŃ

Rejon badań obejmuje miejscowość Maciejowa położoną po obu stronach rzeki Radomierki w północno-wschodniej części Kotliny Jeleniogórskiej. Teren charakteryzuje się bardzo wyraźnym urozmaiceniem pod względem morfologicznym. Rzędne wysokościowe wahają się od 339,5 do 381,5 m. n.p.m. Pod względem geologicznym Maciejowa położona jest w obrębie peryferyjnej północnej części masywu granitowego Karkonoszy. Znajdują się tutaj górnokarbońskie granity określone jako „granit centralny”. W części doliny rzeki Radomierki oraz dolin bocznych cieków Komar i Belkotka dominują osady rzeczne plejstocenu i holocenu o miąższości od 1 do kilku metrów. W podłożu dominującej części Maciejowej występują wody jednego czwartorzędowego poziomu wodonośnego o zwierciadle swobodnym lub też lekko naporowym. W znacznej części doliny rzeki Radomierki, poziom zalegania wód gruntowych uzależniony jest od poziomu dna koryta tej rzeki oraz stanów jej wód. Wody rzeki Radomierki i wody gruntowe pozostają w ścisłej więzi hydraulicznej. U podstawy zboczy mamy do czynienia z wodami zawieszonymi w utworach gliniastych lub też sączącymi po stropie skał podłoża [7]. Badaniami modelowymi objęto teren wschodniej części Maciejowej przyjmując warunki hydrogeologiczne zaczerpnięte z opracowania [3].

### MODEL MATEMATYCZNY PRZEPIYU WODY I ZANIECZYSZCZEŃ W STREFIE SATURACJI

W badaniach założono, że model matematyczny opisujący ruch wód gruntowych oparty jest na równaniu Boussinesq'a [1, 6]:

$$\mu \cdot h_t = (T_1 \cdot h_x)_x + (T_2 \cdot h_y)_y + w \quad (1)$$

Równanie (1) uzupełniono warunkiem początkowym i warunkami brzegowymi typu Dirichleta podającymi wysokości ciśnień piezometrycznych na odcinkach brzegu wzdłuż cieków ograniczających obszar filtracji oraz wzdłuż znanych hydroizohips. Na odcinkach brzegowych poprowadzonych wzdłuż linii prądu założono warunki brzegowe typu Neumanna z natężeniem przepływu równym zero. Model procesu migracji zanieczyszczeń bazuje na dwuwymiarowym równaniu dyspersji hydrodynamicznej [1, 6]:

$$(1 + \beta) \cdot c_t = \operatorname{div}(D \cdot \operatorname{grad}(c)) - \vec{v} \cdot \operatorname{grad}(c) + Q \quad (2)$$

Źródła zanieczyszczeń modelowano za pomocą funkcji źródłowej  $Q$ , określając wydatek źródeł oraz stężenie zanieczyszczeń w wodzie doprowadzanej z nieszczelnych szamb do strefy saturacji. Oba równania (1-2) rozwiązano metodą elementów skończonych. Obszar filtracji podzielono na elementy trójkątne, funkcje niewiadome przybliżono liniowymi funkcjami bazowymi. Obliczenia wykonano za pomocą autorskiego programu FIZ [1].

## WSTĘPNE ZAŁOŻENIA DO KOMPUTEROWYCH OBLICZEŃ

Założono, że przepływ wody ma w rozpatrywanym obszarze charakter ustalony. Przyjęto, że wysokości ciśnień piezometrycznych wzdłuż cieków Radomierka i Komar są zgodne ze średnimi stanami wody w ciekach. Na północno-wschodnim brzegu obszaru założono wysokość piezometryczną zgodną z obserwowaną z wieloletnią linią wysokości piezometrycznych. Symulację przeprowadzono do uzyskania stanu ustalonego dla przepływu wody, a obliczone pole prędkości wprowadzone zostało do równania dyspersji hydrodynamicznej. Stężenie zanieczyszczeń w wodach pochodzących z szamb znajdujących się na terenie miejscowości Maciejowa przyjęto zgodnie z danymi dotyczącymi jakości ścieków dopływających do Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Jeleniej Górze. Jako przykład do obliczeń wybrano stężenie fosforu ogólnego  $P_{og}$ . Do dalszych obliczeń przyjęto, zgodnie z danymi literaturowymi [2, 6], następujące założenia: stała dyspersji podłużnej  $\alpha_L = 10$  m, stała dyspersji poprzecznej  $\alpha_T = 1$  m, współczynnik adsorpcji  $\beta = 0$ , współczynnik filtracji równy  $k = 1$  m/d, współczynnik odsączalności  $\mu = 0,15$ . Pominięto, jako nieistotnie mały, wpływ dyfuzji molekularnej, przyjmując współczynnik dyfuzji molekularnej  $D_m = 0$  m<sup>2</sup>/d.

## ROZKŁAD ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU GRUNTOWO-WODNYM – STAN OBECNY

Na podstawie danych dotyczących składu ścieków [3, 5] przyjęto 3 warianty stężenia zanieczyszczeń dopływających do środowiska gruntowo-wodnego:  $Q_{min} = 11,20$  g/m<sup>3</sup>,  $Q_{sr} = 12,85$  g/m<sup>3</sup>,  $Q_{max} = 15,30$  g/m<sup>3</sup>. Badania symulacyjne przepływu zanieczyszczeń przez strefę saturacji prowadzono dla okresu 25 lat. Zaobserwowano, iż po tym czasie przestrzenny rozkład zanieczyszczeń oraz ładunek zanieczyszczeń dopływających do cieku Radomierka stabilizują się. Wyniki obliczeń dla powyższych wariantów przedstawiono w tabeli 1.

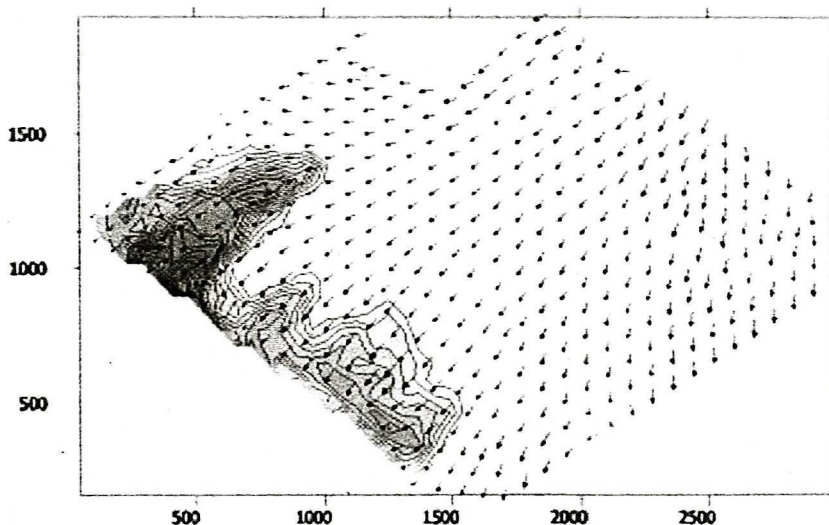
Na rysunku 1 przedstawiono przestrzenny rozkład zanieczyszczeń otrzymany w wyniku symulacji dwudziestopięcioletniego okresu zanieczyszczania wód gruntowych wodami o stężeniu  $Q_{sr} = 12,85$  g/m<sup>3</sup>. Migracja zanieczyszczeń jest zgodna z kierunkiem spływu wód, w kierunku cieku Radomierka. Stężenia zanieczyszczeń są największe w obszarze, gdzie zlokalizowanych jest najwięcej źródeł emisji. W dalszych obliczeniach przyjęto, że rozkład przedstawiony na rysunku 1. ilustruje stan obecny jakości wód gruntowych i w konsekwencji przyjęto go jako warunek początkowy do dalszych, wielowariantowych symulacji.



Tabela 1. Minimalne ( $Q_{MIN}$ ), średnie ( $Q_{SR}$ ) i maksymalne ( $Q_{MAX}$ ) ładunki zanieczyszczeń i natężenia dopływu do cieków w przyjętych trzech wariantach stężeń

Minimum ( $Q_{MIN}$ ), mean ( $Q_{SR}$ ) and maximum ( $Q_{MAX}$ ) mass of pollutions and intensity of pollutant flow to river in third assumed variants of concentrations

Rok Year	Ładunek zanieczyszczeń [kg] Mass of pollutions [kg]			Natężenie dopływu [kg/d] Intensity of pollutant flow [kg/d]		
	$Q_{MIN}$	$Q_{SR}$	$Q_{MAX}$	$Q_{MIN}$	$Q_{SR}$	$Q_{MAX}$
5	922,03	1058,62	1261,24	4,76	5,46	6,50
10	1350,51	1550,38	1847,38	6,39	7,34	8,74
15	1649,35	1894,99	2259,14	7,17	8,24	9,81
20	1863,88	2143,65	2555,54	7,78	8,93	10,64
25	1989,12	2284,87	2722,28	8,20	9,42	11,22



Rys. 1. Przestrzenny rozkład zanieczyszczeń dla czasu symulacji = 25 lat i stężenia zanieczyszczenia  $Q_{SR} = 12,85 \text{ g/m}^3$  (warunek początkowy do symulacji)

Distribution of the groundwater pollutions after 25 years simulation with pollutant concentration  $Q_{SR} = 12,85 \text{ g/m}^3$  (initial condition for simulation)

## JAKOŚĆ WÓD GRUNTOWYCH PRZY RÓŻNYCH SCENARIUSZACH ROZBUDOWY SYSTEMU KANALIZACJI I WODOCIĄGÓW

W badaniach analizowano, na podstawie [3, 5, 7], 4 scenariusze dalszych prac nad rozbudową systemu wodociągów i kanalizacji.

Wariant 1. Założono, że w pierwszej kolejności uruchomiona zostanie sieć kanalizacyjna całkowicie eliminująca dopływ zanieczyszczeń do środowiska gruntowo-wodnego.

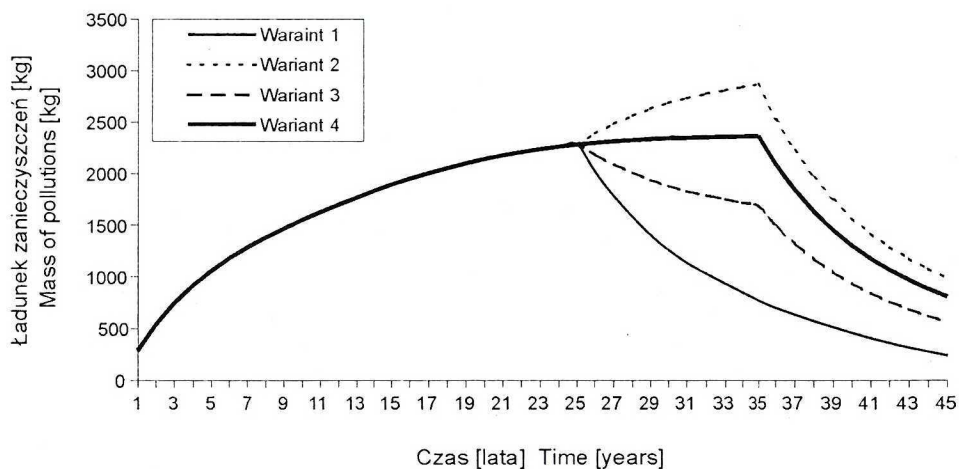
Wariant 2. Założono, że w pierwszej kolejności wybudowana zostanie sieć wodociągowa.

Przyjęto, że zużycie wody wzrośnie o 50%, a stężenie odprowadzanych ścieków zmniejszy się do  $Q_{min} = 11,2 \text{ g/m}^3$ . Następnie założono, że po 10 latach istnienia sieci wodociągowej zostanie wybudowana sieć kanalizacyjna.

Wariant 3. Przyjęto, że w pierwszej kolejności wybudowana zostanie sieć wodociągowa zwiększająca zużycie wody o 50%, przy równoczesnym założeniu, że stężenie ścieków spadnie, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [4], do  $Q = 5 \text{ g/m}^3$ . Obliczenia prowadzono dla okresu 10 lat, a następnie założono, podobnie jak w wariantcie 2, wybudowanie sieci kanalizacyjnej.

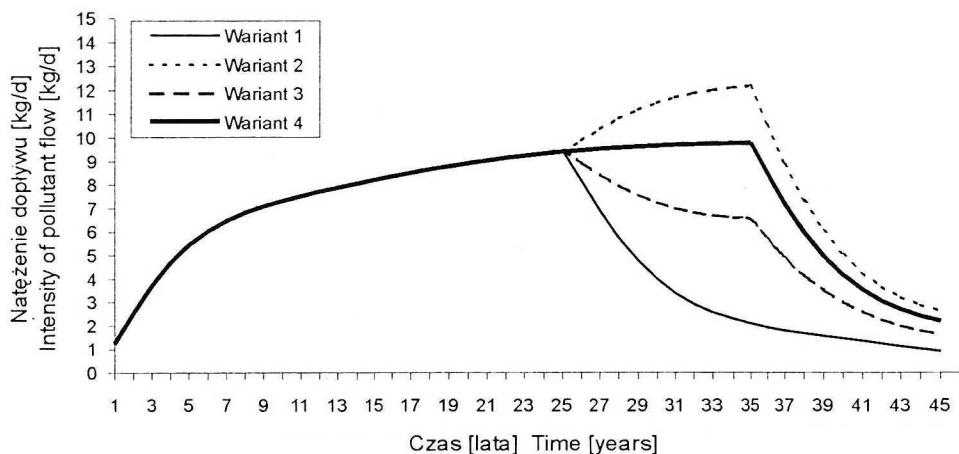
Wariant 4. Założono, że przez najbliższe 10 lat nie będą przeprowadzone żadne inwestycje związane z gospodarką wodno-ściekową, a po tym okresie wybudowane zostaną równocześnie sieć wodociągowa i kanalizacyjna.

Wyniki obliczeń symulacyjnych dla dwudziestoletniego okresu dla przyjętych wariantów pokazano na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Całkowity ładunek zanieczyszczeń w środowisku gruntowo-wodnym w przyjętych wariantach symulacji

The mass of pollutants in soil in assumed variants of simulations



Rys. 3. Natężenie dopływu zanieczyszczeń do cieku w przyjętych wariantach symulacji

Intensity of pollutant flow to river in assumed variants of simulations

W pierwszym okresie, pomiędzy 25 a 35 rokiem symulacji, w wariantach 1 i 3 całkowity ładunek zanieczyszczeń spadł odpowiednio do 33 i 74% stanu początkowego. Podobne proporcje występują przy porównaniu natężenia dopływu do ciekłu: 22 i 69%. Natomiast w wariantach 2 i 4 zarówno całkowity ładunek zanieczyszczeń, jak i natężenie dopływu do ciekłu rosną, w najbardziej niekorzystnej sytuacji nawet do 129% wartości początkowej. W drugiej części symulacji, po uruchomieniu systemu kanalizacyjnego, ładunek zanieczyszczeń i natężenie dopływu maleją w czasie, a najlepszym przybliżeniem trendu okazała się funkcja wykładnicza postaci  $y = a * e^{-bx}$ . Przy aproksymacji ładunku zanieczyszczeń, we wszystkich wariantach współczynnik  $b = 0,11$ , co oznacza, że całkowita ilość zanieczyszczeń w rozpatrywanym obszarze maleje o połowę co 6,3 roku. Dla funkcji opisującej natężenie dopływu zanieczyszczeń do ciekłu, w wariantach 2, 3 i 4 współczynnik  $b = 0,15$ , a dla wariantu 1  $b = 0,08$ , co oznacza, że spadek natężenia dopływu o połowę następuje co 4,4 roku.

### WNIOSKI

Obliczenia symulacyjne pokazują, że uruchomienie systemu wodociągów bez jednoczesnego uruchomienia kanalizacji może skutkować zwiększoną emisją zanieczyszczeń do wód gruntowych, wzrostem całkowitego ładunku w obszarze skażenia oraz zwiększonym natężeniem dopływu zanieczyszczeń do wód powierzchniowych. Takich negatywnych skutków nie obserwujemy jedynie przy założeniu, że stężenie ścieków nie przekroczy dopuszczalnego poziomu ustalonego w rozporządzeniu Ministra [4]. Natomiast jednoczesne wybudowanie sieci kanalizacyjnej i wodociągowej jest, oczywiście pomijając wariant 1, z punktu widzenia ochrony środowiska najlepszym rozwiązaniem. Tempo spadku całkowitego ładunku zanieczyszczeń jest wówczas największe i po 20 latach, zarówno stopień skażenia wód gruntowych jak i natężenie dopływu do wód powierzchniowych spada do 10 % wartości początkowych.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Chalfen M.: *Opis programu FIZ – Filtracja i Zanieczyszczenia*, XXXIII Seminarium Zastosowań Matematyki, Kobyła Góra 2003.
- [2] Pazdro Z.: *Hydrogeologia ogólna*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1977.
- [3] *Rozbudowa miejskiego systemu zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków w Jeleniej Górze*, Koncepcja programowo-przestrzenna dla Jeleniej Góry-Maciejowa, Przedsiębiorstwo Techniczno – Usługowe „SYNTECH” Jelenia Góra.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- [5] *Sieć kanalizacji sanitarnej i sieć wodociągowa dla jednostki strukturalnej Maciejowa w Jeleniej Górze*, EKOPROJEKT Sp. z o.o., Zielona Góra 2003.
- [6] Spitz K., J. Morena: *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling*, John Wiley & Sons, NY 1996.
- [7] Wiącek K.: *Oddziaływanie wodociągów i kanalizacji na jakość wód gruntowych na przykładzie gminy Jelenia Góra*, Inst. Inżynierii Środowiska AR Wrocław, 2003

Wpłynęło: 26 stycznia 2004, zaakceptowano do druku: 17 czerwca 2004.