

Dariusz KOWALSKI¹ i Katarzyna JAROMIN¹

METODA WYZNACZANIA ZASIĘGU STREFY OCHRONY WODOCIĄGOWYCH PRZEWODÓW TRANZYTOWYCH

DESIGNING METHOD OF PROTECTION ZONES RANGE OF WATER TRANSIT PIPES

Abstrakt: Postępujący proces urbanizacji wymusza zajmowanie coraz to nowych terenów pod budownictwo mieszkaniowe i przemysłowe. Rozwój terytorialny miast powoduje, że tereny te kolidują często z wodociągowymi przewodami tranzytowymi. Przewody te często mają dużą średnicę i pracują pod wysokim ciśnieniem. Konsekwencje awarii takich przewodów, przebiegających przez tereny zabudowy, mogą być znaczne. W związku z tym należy zastanowić się nad określeniem powierzchni strefy ochronnej, na której terenie zabronione byłoby budownictwo komunalne i przemysłowe. W artykule przedstawiono propozycję metody wyznaczania zasięgu strefy ochrony dla przewodów tranzytowych w wybranym mieście Polski. Przewód o średnicy 1,0 m transportuje wodę ze zbiorników wyrównawczych do sieci miejskiej. Proponowana metoda korzysta z określania zasięgu pełnego nasycenia gruntu w bezpośrednim sąsiedztwie przewodów przy założeniu jego awarii. Jako granicę czasową symulacji przyjęto moment wypływu wody na powierzchnię. W prezentowanych badaniach stosowano program narzędziowy FEFLOW, korzystający z metody elementów skończonych. Badania symulacyjne zostały wykonane na podstawie rozpoznania geotechnicznego gruntu, zawartego w projekcie technicznym rurociągu.

Słowa kluczowe: wodociągi, strefy ochrony, rurociągi

Rozwój terytorialny miast powoduje, że tereny te często kolidują z wodociągowymi przewodami tranzytowymi. Przewody te transportują wodę z ujęć i zbiorników zlokalizowanych poza miastem do miejskiej sieci dystrybucyjnej. Często mają one dużą średnicę i pracują pod wysokim ciśnieniem. Konsekwencje awarii takich przewodów przebiegających przez tereny zabudowy mogą być znaczne. Liczne opisy przyczyn i skutków takich awarii można znaleźć w literaturze [1, 2].

Biorąc pod uwagę rysujący się konflikt pomiędzy tendencją zabudowy terenów podmiejskich, potencjalnymi skutkami awarii i koniecznością zachowania przebiegu omawianej infrastruktury wodociągowej, należy zastanowić się nad określeniem powierzchni strefy ochronnej, na której terenie zabronione byłoby budownictwo komunalne i przemysłowe.

W latach 60. obowiązywało w tym względzie Zarządzenie nr 54 Ministra Gospodarki Komunalnej z dn. 14 sierpnia 1963 r., zawierające „Tymczasowe wytyczne projektowania sieci przewodów podziemnych i nadziemnych w ulicach i placach miejskich”. Zgodnie z tym zarządzeniem, rozmiar strefy ochronnej przewodów wynosił 8 m, licząc od osi przewodu. W latach 80. zarządzenie powyższe przestało obowiązywać. Nie wprowadzono jednak na jego miejsce żadnych nowych wytycznych. Sytuacja taka powoduje szereg problemów zarówno dla przedsiębiorstw wodociągowych, planistów zagospodarowania przestrzennego, jak i potencjalnych inwestorów.

Celem artykułu jest przedstawienie propozycji metody wyznaczania strefy ochronnej podziemnych przewodów tranzytowych, korzystającej z symulacji przepływu wody

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 47 78, email: D.Kowalski@pollub.pl

w gruncie, w bezpośrednim sąsiedztwie przewodów. Zastosowano ją w rzeczywistych warunkach jednego z miast Polski.

Metoda badawcza

Do rozwiązania postawionego zadania wyznaczania strefy ochrony przewodów podziemnych przewodów wodociągowych przyjęto obliczenia symulacyjne uwzględniające metodę elementów skończonych. Jako podstawowe narzędzie obliczeniowe wykorzystano program FEFLOW 5.2. prod. WASY, Kanada. Zastosowana wersja programu realizuje obliczenia w układzie 2D. Umożliwia ona obliczenia transportu wody w gruncie zarówno w strefie nasyconej, jak i nienasyconej. Zdaniem autorów, można ją wykorzystać do symulowania oddziaływania na warunki gruntowo-wodne zarówno dużych, jak i małych awarii (przestrzenie) przewodów. Ruch wody w gruncie opisywany jest za pomocą trzech równań: Darcy'ego (1) [3, 4], Richardsa (2) [5, 6] oraz Boussinesque'a (3) [7-9]:

$$q^w = -k_{ij} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} [C(h) + S_s] = \frac{\partial}{\partial x} \left[k^r(h) \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} + k_{xz} \frac{\partial h}{\partial z} + k_{zx} \frac{\partial h}{\partial x} + k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right] + \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k^r(h) \left(k_{zx} \frac{\partial h}{\partial x} + k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} + k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right] + S$$

$$\mu \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T \frac{\partial h}{\partial z} \right) + S \quad (3)$$

gdzie: ϕ - całkowita wysokość hydrauliczna, k_{ij} - elementy tensora przewodności hydraulicznej ośrodka gruntowego, x_j - zmienna przestrzenna, h - wysokość ciśnienia, x, z - współrzędne przestrzenne, wysokość - czas, μ - wsp. odsączalności gruntu, $k_{xx}, k_{xz}, k_{zx}, k_{zz}$ - elementy tensora przewodności hydraulicznej nasyconej, $k^r(h)$ - względna przewodność hydrauliczna gruntu zależna od wysokości ciśnienia S_s - pojemność sprężysta gruntu, $C(h)$ - pojemność wodna gruntu zależna od wysokości ciśnienia, S - człon źródłowy lub upustowy, T - transmisyjność gruntu.

Wykorzystanie programu FEFLOW wymaga przeprowadzenia stosownej parametryzacji gruntu oraz przyjęcia warunków początkowych i brzegowych obliczeń. Jako warunki początkowe przyjęto zawartość wilgoci w gruncie (*moisture content*) które liczbowo odpowiadają tzw. polowej pojemności wodnej. Jako warunki brzegowe przyjęto:

- warunek pierwszego rodzaju (*HEAD*), tzw. warunek Dirichleta, opisywany za pomocą równania (4) [10, 11]:

$$h(x_i, t) = h_1^R(t) \quad (4)$$

gdzie: $h_1^R(t)$ - narzucona wysokość hydrauliczna dla czasu t . Wzór ten obowiązuje dla przestrzeni czasowej $\Gamma_1 = [t, \infty)$.

Za pomocą tego warunku zdefiniowano napór wody gruntowej na poziomie odpowiadającym dolnej granicy rozpatrywanego obiektu. Wykorzystano go również do zadania ciśnienia wody wpływającej z badanego rurociągu do gruntu. Ciśnienie to przyjęto

w wysokości odpowiadającej całkowitemu napełnieniu zbiornika zapasowo-wyrównawczego (rys. 1).

- warunek drugiego rodzaju (FLUX), tzw. warunek von Neumanna, opisywany za pomocą równania [10, 11]:

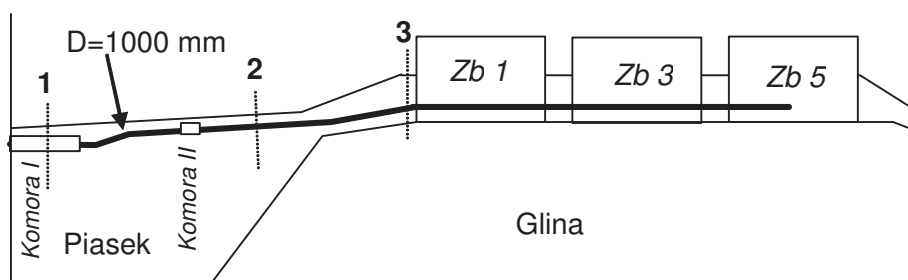
$$q_{n_h}(x_p, t) = q_h^R(t) = -k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} n_i \quad (5)$$

gdzie: $q_h^R(t)$ - założony dopływ w czasie t , n_i - jednostkowy wektor normalny. Wzór ten obowiązuje dla przestrzeni czasowej $\Gamma_1 = (t, \infty]$.

Za pomocą tego warunku zadano parowanie z powierzchni badanego gruntu o wartości 5 mm/d.

Obiekt badań

Do badań wybrano obiekt przedstawiony na rysunku 1. Składa się na niego układ wodociągowego przewodu tranzytowego o średnicy 1000 mm, współpracującego z grupą zbiorników zapasowo-wyrównawczych o łącznej pojemności 25 tys. m³. Parametry gruntu określono na podstawie dokumentacji geotechnicznej budowy obiektu. Zestawiono je w tabeli 1 oraz na rysunku 2.



Rys. 1. Profil podłużny rozpatrywanego obiektu. 1, 2, 3 - przekroje obliczeniowe, Zb - zbiorniki wodne
Fig. 1. Profile of investigated object. 1, 2, 3 - calculation cross - sections, Zb - water tanks

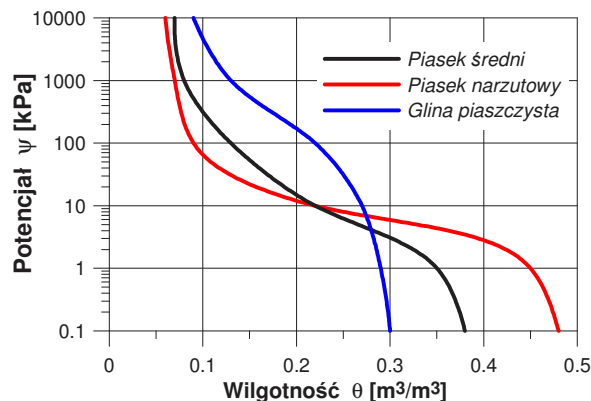
Przyjęte do obliczeń parametry gruntu

Tabela 1

Assumed parameters of the soils

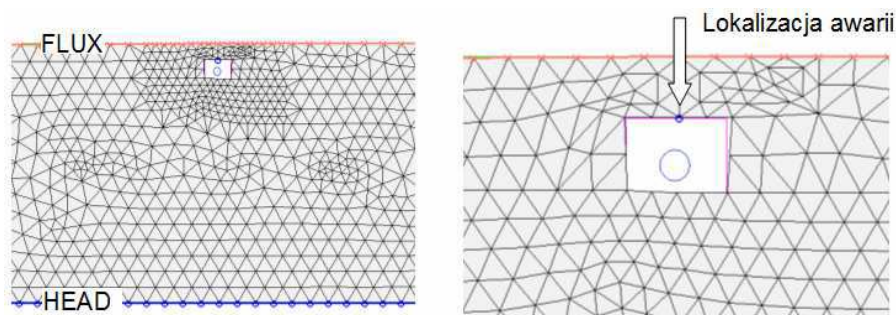
Table 1

Rodzaj gruntu	Porowatość	Współczynnik filtracji [m/s]	Wilgotność naturalna
Piasek nasypowy z kamieniami	48% obj. 0,48 m ³ /m ³	10 ⁻² ÷10 ⁻³ przyjęto 5·10 ⁻³	9,0% obj. - 0,09 m ³ /m ³
Piasek średni	38% obj. 0,38 m ³ /m ³	10 ⁻³ ÷10 ⁻⁴ przyjęto 5·10 ⁻⁴	13,0% obj. - 0,13 m ³ /m ³
Głina piaszczysta	30% obj. 0,30 m ³ /m ³	10 ⁻⁴ ÷10 ⁻⁵ przyjęto 5·10 ⁻⁵	22,0% obj. - 0,22 m ³ /m ³



Rys. 2. Krzywe retencji wodnej występujących w obiekcie rodzajów gruntu [12, 13]

Fig. 2. Retention curves of soils present at investigated field [12, 13]



Rys. 3. Siatka elementów skończonych, warunki brzegowe i przykładowe miejsce awarii w przekroju 1 (rys. 1)

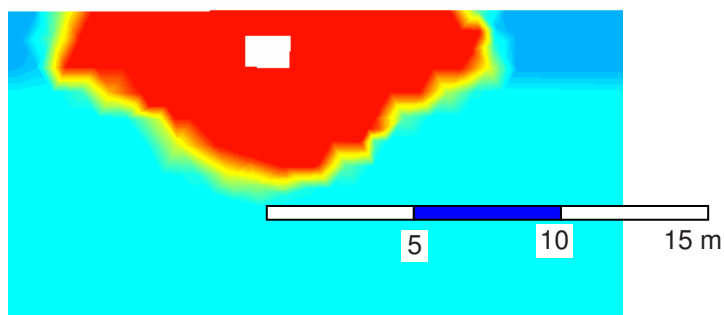
Fig. 3. Finite elements network, boundary conditions and example of failure location at cross-section 1 (Fig.1)

Do badań symulacyjnych wykorzystano siatkę elementów skończonych. Przykładowy schemat wykorzystanej siatki wraz z lokalizacją warunków brzegowych oraz jednego z rozpatrywanych miejsc wystąpienia awarii przedstawiono na rysunku 3.

Analiza wyników

Obliczenia symulacyjne prowadzono w dwóch wyróżnionych na rysunku 1 profilach (nr 1 i 2). Profil 1 zawierał komorę betonową otaczającą badany przewód. W profilu 2 badany przewód leżał bezpośrednio w ziemi. W badaniach zakładano różne miejsca wystąpienia awarii - w górnej i dolnej części przewodu. Symulację prowadzono do momentu osiągnięcia pełnego nasycenia gruntu wodą w strefie powierzchniowej. Założono, że strefa nasycenia w tym momencie odpowiadać będzie potencjalnej strefie zniszczeń wywołanych wpływem wody z badanego przewodu. Przykład wyników obliczeń dla profilu 1 przedstawiono na rysunku 4.

We wszystkich rozpatrywanych przypadkach czas osiągnięcia stanu pełnego nasycenia gruntu w strefie powierzchniowej wahał się od 5 do 6 minut. Strefa pełnego nasycenia wahała się pomiędzy 8 a 12 m w obu kierunkach, licząc od osi przewodu.



Rys. 4. Przykład wyników symulacji dla profilu nr 1 (rys. 1)

Fig. 4. Example of the simulation results for profile 1 (Fig. 1)

Uzyskane wartości są zbliżone do podawanych przez cytowane we wstępie Zarządzenia z lat 60., korzystającego z danych zebranych w czasie wcześniej występujących awarii. Należy jednak podkreślić, że symulacje sytuacji awaryjnych zostały przeprowadzone przy założeniu jednorodności gruntu. W rzeczywistości warunki gruntowe często nie są jednorodne (lokalna szczelina, grunt o mniejszej gęstości) [14], co w większości przypadków przyspiesza wypływ wody na powierzchnię, zmniejszając zasięg nasycenia gruntu, a jednocześnie stwarzając większe zagrożenie na powierzchni terenu.

Analiza rozmiaru zasięgu rozpatrywanej strefy pełnego nasycenia uzyskiwanej w trakcie obliczeń symulacyjnych wskazuje, że zgodnie z przewidywaniami istnienie budowli betonowych stanowi dodatkowe zabezpieczenie. Woda z uszkodzonego przewodu będzie wypływać na powierzchnię przede wszystkim przez włazy do tych budowli, a dopiero później, po dodatkowej awarii stropu lub ściany, w innym miejscu. Awaria przewodu nieosłoniętego konstrukcją betonową może doprowadzić do powstania zniszczeń terenu o zasięgu od 8 do 12 m, zależnie od rodzaju posadowienia przewodu.

Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki badań symulacyjnych oraz ich porównanie z obowiązującym w latach 60. normatywem wykazały, że zastosowana metoda symulacyjna daje wartości zbliżone do zaleceń w nim zawartych. Należy jednak pamiętać, że prezentowane wyniki obliczeń symulacyjnych zostały uzyskane przy założeniu jednorodności gruntu, co w rzeczywistości rzadko ma miejsce. Niestety niezwykle rzadko dokumentacja geotechniczna budowy rurociągów wodociągowych podaje informacje na ten temat. Konieczne staje się więc eksperymentalne potwierdzenie uzyskanych wyników obliczeniowych. Dopiero po jego przeprowadzeniu prezentowana metoda może zostać wdrożona do praktyki.

Literatura

- [1] Kwietniewski M.: Raport dot. dużych awarii systemów wodociągowych w roku 2008. Materiał niepublikowany. Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków. Wydział Inżynierii Środowiska. Politechnika Warszawska, Warszawa 2008.
- [2] Rak J.R.: Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę. Ofic. Wyd. Polit. Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.

- [3] Byczkowski A.: Hydrologia. Wyd. SGGW, Warszawa 1999.
- [4] Walczak R., Baranowski P. i Sławiński C.: Parametry i procesy glebowe jako czynniki determinujące wzrost i rozwój roślin - modelowanie. Mat. Konf. Modelowanie i monitorowanie procesów agrofizycznych w środowisku glebowym. Instytut Agrofizyki PAN, Lublin 1999, 107-113.
- [5] Maciejewski S.: Procesy przepływu rozpuszczonych w wodzie substancji w gruncie nienasyconym. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Biblioteka Naukowa Hydrotechnika nr 26, Gdańsk 1998.
- [6] Zaradny H.: Groundwater Flow in Saturated and Unsaturated Soil. A.A. Balkema/Rotterdam, Brookfield 1993.
- [7] Gabryszewski T. i Wieczysty A.: Ujęcia wód podziemnych. Arkady, Warszawa 1985.
- [8] Maciejewski S. i Nützmann G.: Modelling studies for determining unsaturated flow components in a sandy soil during dual tracer test, 2003.
- [9] Wieczysty A.: Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa 1982.
- [10] Diersch H.J.G.: FEFLOW 5.3 Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System. Reference Manual. WASY GmbH, Berlin 2005.
- [11] Diersch H.J.G.: FEFLOW 5.3 Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System, User's Manual. WASY GmbH, Berlin 2006.
- [12] Olszta W. i Zaradny H.: Pomiarowe i obliczeniowe metody określania współczynnika przewodności hydraulicznej gleb przy niepełnym nasyceniu. Mater. Instrukc. 95. Falenty: IMUZ 1991.
- [13] Zaradny H.: Matematyczny model procesów transportu wody i zanieczyszczeń glebach nienasyconych i nasyconych dla potrzeb nawodnień. Etap I. Opracowanie wewnętrzne IBW PAN dla CPBR 10.8.7.1.B.12.03.1990.
- [14] Kowalik P.: Ochrona środowiska glebowego. Wyd. Polit. Gdańskiej, Gdańsk 1999.

DESIGNING METHOD OF PROTECTION ZONES RANGE OF WATER TRANSIT PIPES

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

Abstract: The constant urbanisation process provides to occupation of new territories for housing and industry constructions. Territorial growth of the cities causes, that inside their new zones can lay the water transit pipes. Their main aim is water transit from intakes or storage tanks to distribution systems. Very often they have a big diameter and work under high pressure. The break-down of such pipes causes essential consequences, especially in urbanised zones. From that point of view there is necessary to take into consideration the implementation of protection zones, where communal and industrial construction would be prohibited. In the paper the proposition of the new method of protection zones is presented. All divagations based on selected Polish city conditions. Water transit pipe has 1.0 m diameter. It transports the water from storage tanks to distribution system. Proposed method bases on the calculations of full saturation ground range in the neighbourhood of the pipes. The two types of pipe damages, longitude and cross-section breaks were assumed. As the time limit of the simulations the water outflow on the ground surface has been taken. The investigations presented in the paper, base on the FEFLOW program which uses finite element method. Simulations have been done under conditions of geotechnical profiles received from the technical documentation of conduit construction. Simulation results are completed by two methods of additional protection, which can be used in the neighbourhood of transit pipes at the city housing or industrial zones.

Keywords: water supply, protection zones, pipe network