

*Mieczysław Chalfen**, *Tadeusz Molski***

WPŁYW WÓD RZEKI ŚLĘZY NA STANY WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE PROJEKTOWANEGO CMENTARZA WE WROCŁAWIU

1. Wstęp

W południowej części Wrocławia, pomiędzy ul. Awicenny a rzeką Ślężą, projektowany jest nowy cmentarz komunalny. W związku ze zmianą zagospodarowania terenu z rolniczego na budowlany zaistniała potrzeba analizy wpływu wód rzeki Ślęzy na poziomy wód podziemnych w rejonie cmentarza. W pracy przedstawiono:

- opis opracowanego i wytarowanego modelu matematycznego filtracji płaskiej w planie dla stanu istniejącego na terenie inwestycji,
- wielowariantowe obliczenia prognostyczne wpływu rzeki Ślęzy na warunki wodno-gruntowe obszaru objętego inwestycją, dla różnych stanów wody i czasów ich trwania.

2. Charakterystyka terenu badań

Projektowany cmentarz na Oporowie przy ul. Awicenny będzie usytuowany w północno-wschodniej części osiedla Oporów (rys.1). Granicą cmentarza od zachodu jest ul. Awicenny łącząca Oporów z Muchoborem Wielkim. Granica północna biegnie wzdłuż linii kolejowej Wrocław–Wałbrzych. Granica wschodnia jest oddalona od rz. Ślęzy o 350 m. Granica południowa jest oddalona od zabudowań Oporowa o 300 m. Tereny te do 1990 r. były użytkowane przez Państwowe Gospodarstwo Ogrodnicze Oporów.

Pod względem hydrograficznym teren cmentarza jest położony w zlewni rz. Ślęzy na brzegu lewym. Odbiornikiem wód opadowych z terenu cmentarza są rz. Ślęza i rz. Kasina. Część zachodnia jest odwadniana przez rz. Kasinę, część wschodnia przez rz. Ślężę.

* Katedra Matematyki, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław

** Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław

3. Warunki hydrogeologiczne

Teren badań charakteryzuje się zróżnicowaną rzeźbą terenu o deniwelacjach rzędu 3,8 m. Z geomorfologicznego punktu widzenia rozpatrywany teren stanowi fragment tarasu zalewowego wyższego holocenijskich dolin rzecznych, wziętych w plejstocenijską wysoczyznę ukształtowaną w stadiale maksymalnym zlodowacenia środkowopolskiego. Zasadnicze formy morfologiczne rozpatrywanego terenu stanowią: wyższa (akumulacyjna) i niższa (zalewowa) terasa rz. Ślęzy, nadbudowana antropogenicznie, w sposób częściowo kontrolowany, obwałowaniami w bezpośrednim sąsiedztwie koryta rz. Ślęzy.

Rozpatrywany teren budują holocenijskie utwory rzeczne, plejstocenijskie utwory rodzime wysoczyzny i osady trzeciorzędowe. Utwory rzeczne to w przewodzie piaski drobne, piaski średnie i piaski grube laminowane gliną w wydzielonych warstwach geotechnicznych II i III. Nad piaskami w warstwach II i III zalegają często grunty madowe i gliny warstwy I. Utwory plejstocenijskie wykształcone są w postaci wodnolodowcowych utworów piaszczysto-żwirowych warstw geotechnicznych IV i V oraz glin zwałowych stadiału maksymalnego w warstwie VI. Trzeciorzęd budują ility warstwy VII. Rodzime utwory pokrywają miąższością 0,5 do 0,6 m (w części północno-zachodniej terenu) utwory antropogeniczne o charakterze niekontrolowanych nasypów mineralno-gruzowych Nn (warstwa A). W pozostałej części terenu rodzime utwory pokrywa gleba grubości 0,4–0,5 m.

4. Model matematyczny

W badaniach symulacyjnych zastosowano model matematyczny opisujący przepływ wód podziemnych w strefie saturacji w przekroju płaskim w planie, przy swobodnym bądź napiętym reżimie przepływu. Jest to model dynamiczny w czasie, w układzie dwóch zmiennych przestrzennych „X–Y”. Model dopuszcza niejednorodność i anizotropię ośrodka gruntowego, zmienność w czasie i przestrzeni warunków brzegowych, pozwala również uwzględnić zasilenie infiltracyjne ze strefy aeracji. Podstawą modelu jest równanie Boussinesqa [4, 9]:

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

gdzie:

- h — wysokość piezometryczna, m,
- T_1, T_2 — wodoprzepuszczalność wzdłuż osi X oraz Y, $m^2 d^{-1}$,
- w — funkcja źródłowa, md^{-1} ,
- m — odsączalność.

Równanie (1) uzupełniono warunkiem początkowym definiującym wysokości piezometryczne w początkowej chwili symulacji i warunkami brzegowymi typu Dirichleta, Neumanna oraz mieszanymi. Zagadnienie różniczkowe składające się z równania różniczkowego (1) wraz z warunkami początkowo-brzegowymi rozwiązano metodą elementów skończonych [10].

5. Model „Oporówka-Kasina-Śleza”

5.1. Rejon badań

Badania modelowe wpływu stanów wód rzeki Ślezy na stany wód podziemnych terenów sąsiednich przeprowadzono na obszarze otaczającym rejon cmentarza (rys. 1). Wschodnią granicę obszaru poprowadzono wzdłuż Ślezy od mostu Oporowskiego przy ulicy Grabiszyńskiej do ul. Trawowej na osiedlu Muchobór Wielki — odcinek długości 2650 m. Granicę zachodnią tworzą dwa ciek: Oporówka od skrzyżowania ulic Wiejskiej i Awicenny do ujścia do rzeki Kasina, i dalej wzdłuż rzeki Kasina do ulicy Trawowej — długość 2750 m. Od południa granicę obszaru poprowadzono wzdłuż ulic Solskiego i Wiejskiej na osiedlu Oporów, na północy obszar domknięto wzdłuż ulicy Trawowej, w największym przekroju pomiędzy rzekami Kasina i Śleza — długość przekroju 1010 m. Rozciągłość przyjętego obszaru wynosi 2100 m w kierunku wschód–zachód i 2770 m z południa na północ. Obszar badań ma powierzchnię 3,7 km².



Rys. 1. Obrys modelu „Oporówka-Kasina-Śleza”

5.2. Warunki hydrogeologiczne i topograficzne rejonu badań

Rzędne terenu na obszarze cmentarza określono z wykorzystaniem 177 punktów geotechnicznych [2] oraz korzystając z map inwentaryzacyjnych sieci drenażowej obiektu Kasina [6]. Na terenie cmentarza rzędne terenu wahają się od 121,40 m n.p.m. w centralnej części do poniżej 119,00 m n.p.m. lokalnie w rejonie ulicy Awicenny. Na pozostałym obszarze rzędne terenu określono na podstawie map topograficznych [5]. Rzędne

stropu trzeciorzędowej warstwy nieprzepuszczalnej oraz miąższość warstwy wodonośnej określono z wykorzystaniem [2] oraz atlasu geologicznego [1]. W rejonie cmentarza rzędne stropu oscylują w granicach 105–110 m n.p.m. z wyjątkiem rejonu u zbiegu ul. Awicenny i torów kolejowych (rejon północno-zachodni), gdzie rzędne stropu warstwy nieprzepuszczalnej lokalnie osiągają 118 m n.p.m. Współczynniki filtracji warstwy wodonośnej określono na podstawie [2]. W pasie przy rz. Śleza przyjęto współczynnik filtracji $2,5 \text{ md}^{-1}$, na terenie cmentarza $10\text{--}20 \text{ md}^{-1}$. W rejonie zbiegu ul. Awicenny i torów kolejowych współczynnik filtracji określono na $0,1 \text{ md}^{-1}$. Współczynnik odsączalności w całym obszarze badań przyjęto $0,20$ na podstawie dostępnych danych dla gleb gliniasto-piaszczystych [4, 9].

5.3. Zewnętrzne warunki brzegowe

Na brzegu wschodnim, wzdłuż rz. Ślezy, założono warunek brzegowy I rodzaju dla ciekuniedogłębionego z wysokością piezometryczną równą rzędnej wody w cieku. Wykonano obliczenia dla różnych stanów wód określonych na podstawie danych archiwalnych oraz korzystając z [3, 7, 8]. Rzędne dna przyjęto za [7]. Na brzegu zachodnim również przyjęto warunek I rodzaju dla cieków niedogłębionych. Rzędne dna oraz średnie stany wód w ciekach Oporówka i Kasina określono na podstawie [6]. Na brzegu południowym i północnym przyjęto warunek brzegowy II rodzaju z natężeniem przepływu wód oszacowanym na podstawie średniego spadku wód podziemnych dla stanów niskich i średnich: na brzegu południowym dopływ $q = 0,05 \text{ m}^3\text{d}^{-1}\text{mb}^{-1}$, na brzegu północnym odpływ $q = 0,005 \text{ m}^3\text{d}^{-1}\text{mb}^{-1}$.

5.4. Wewnętrzne warunki brzegowe

W modelu uwzględniono istnienie lokalnego rowu mającego źródło przy ulicy Jordanowskiej, przecinającej ul. Awicenny na południe od cmentarza w odległości 280 m, i uchodzącego do rzeki Oporówka w odległości 420 m od jej ujścia do Kasiny. Rzędne dna rowu i średnie stany wody w rowie przyjęto na podstawie [6]. Rów modelowano jako ciek niedogłębiony.

5.5. Zasilanie infiltracyjne

W obliczeniach przyjęto, że średnioroczny bilans pomiędzy zasilaniem ze strefy aeracji, parowaniem i transpiracją wynosi $0,3 \text{ mmd}^{-1}$. Teren użytkowanego cmentarza ma charakter specyficzny pod względem możliwości infiltrowania wody opadowej w profil gruntowy, którego struktura do głębokości licznych wykopów grzebalnych jest naruszona (rozluźniona). Trudno dokładnie oszacować zwiększoną infiltrację i w związku z tym, w jednym z wariantów obliczeniowych, dla zapewnienia korzystnych warunków wodno-gruntowych, przyjęto maksymalne możliwe zasilanie $w = 1,5 \text{ mmd}^{-1}$, co odpowiada założeniu, że 90% opadu atmosferycznego dociera do zwierciadła wód podziemnych.

5.6. Obliczenia dla stanu ustalonego

Przyjęto stany wód w rzece Ślęza jak dla SNW dla wodowskazu Żerniki. Uwzględniając średni spadek cieku na odcinku od mostu Oporowskiego do wodowskazu Żerniki wynoszącym 0,46‰, określono, że przy moście Oporowskim stan wody wynosi 117,10 m n.p.m., w okolicy projektowanych kładek łączących cmentarz ze starym cmentarzem przy ul. Grabiszyńskiej rzędna wody wynosi 116,30–116,60 m n.p.m. [7], przy moście Muchoborskim 116,00 m n.p.m. i dalej ze średnim spadkiem 0,46‰. Przy tak przyjętych stanach wody w Ślęzie uzyskano jako rozwiązanie z modelu rzędne poziomu zalegania wód podziemnych zgodnie z pomiarami stanu wód [2] charakterystyczne dla stanów niskich. W rejonie cmentarza zwierciadło wód podziemnych położone jest na rzędnych od 117,0 m n.p.m. w części wschodniej do 118,10 m n.p.m. w części południowo-zachodniej. Rzędna wysokości lustra wód podziemnych 118 m n.p.m. przebiega w południowym rejonie cmentarza. Część wód podziemnych spływa w kierunku wschodnim do rz. Ślęzy, część w kierunku zachodnim do Kasiny i Oporówki. Wododział wód podziemnych przebiega w zachodnim rejonie cmentarza. Obliczony poziom zwierciadła wód podziemnych wykorzystano w dalszej części opracowania jako poziom porównawczy do dalszych analiz.

Stwierdzono, że przy niskich stanach wód, w szeregu kwaterach obliczony poziom wód podziemnych przewyższa poziom dopuszczalny ze względu na projektowane użytkowanie terenu. Przestrzenne rozmieszczenie tych kwartałów ilustruje rysunek 2. Wartość ujemna oznacza, że w danym kwartale poziom wód podziemnych przekracza poziom dopuszczalny. W związku z tym należy przedsięwziąć środki umożliwiające stałe i bezpieczne wykorzystanie poszczególnych kwater.



Rys. 2. Kwatery niedostatecznie odwodnione

5.7. Obliczenia dla stanów nieustalonych

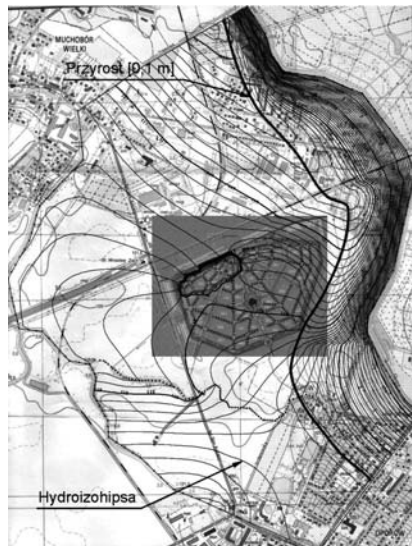
Jednym z celów pracy było zbadanie wpływu długotrwałych stanów średnich i krótkotrwałych wysokich piętrzeń wód na rzece Ślęza na stany wód podziemnych w rejonie cmentarza.

5.7.1. Stan średni

Wykonano obliczenia dla stanów średnich SSW, korzystając z danych z wodowskazu Żerniki. Analogicznie jak przy obliczeniach dla stanu ustalonego przyjęto, iż na moście Oporowskim rzędna wody wyniosła 117,50 m n.p.m., w okolicy projektowanych kładek 116,70–116,90 m n.p.m., przy moście Muchoborskim 116,40 m n.p.m. i dalej ze spadkiem 0,46%. Na podstawie danych archiwalnych określono, że stan SSW może trwać maksymalnie do 120 dni. Jako warunek początkowy przyjęto stany wód podziemnych charakterystyczne dla stanów niskich. Obliczenia symulacyjne wykazały, że po 120 dniach w rejonie cmentarza lustro wody podziemnej podniosło się o 0,10–0,20 m. Rzędna wód podziemnych 118 m n.p.m. przebiega przez centrum cmentarza. Linia wododziału wód podziemnych przesunęła się w niewielkim stopniu w kierunku centralnej części cmentarza. W związku z podniesieniem się obliczonego poziomu wód podziemnych w stosunku do stanów niskich, wzrosła liczba kwartałów z poziomem wód podziemnych przekraczającym poziom dopuszczalny. Można stwierdzić, że naturalny, niski i średni stan wód podziemnych w rejonie cmentarza nie zapewnia bezpiecznej eksploatacji znacznej części kwater.

5.7.2. Woda brzegowa i woda $Q_{1\%}$

Stan wody brzegowej i wody $Q_{1\%}$ na Ślęzie opracowano na podstawie operatu [7]. Założono, że woda brzegowa i $Q_{1\%}$ mogą trwać maksymalnie 30 dni [3]. Wyniki obliczeń po 30 dniach podwyższonych stanów na Ślęzie przedstawiono na rysunek 3. Zaznaczono obliczony



Rys. 3. Stan wód podziemnych po 30 dniach piętrzenia do wody $Q_{1\%}$

układ hydroizohips (linie czarne) i linii przyrostów zwierciadła wód podziemnych w stosunku do stanów niskich (linie szare).

Stwierdzono, że w obu przypadkach, po 30 dniach linia przyrostu 0,10 m dochodzi do południowo-wschodniej granicy cmentarza. Na terenie cmentarza przyrosty są mniejsze niż 0,10 m. Główną przyczyną ograniczonego wpływu wód rzeki Ślęzy na obszar cmentarza są stosunkowo niskie wartości współczynnika filtracji $k = 2,5 \text{ md}^{-1}$ w bezpośrednim pasie szerokości 300–400 m. przylegającym do koryta ciekę oraz spora odległość cmentarza od koryta Ślęzy — około 350 m. Można zatem stwierdzić, że 30-dniowe piętrzenie wód rzeki Ślęzy do wody brzegowej lub $Q_{1\%}$ nie spowoduje znaczącego podwyższenia poziomu wód podziemnych na obszarze cmentarza.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

- Badania na modelach hydrogeologicznych wykazały, że czasowo ograniczona zmiana poziomów wody w rz. Ślizie praktycznie nie oddziałuje na wody podziemne na terenie cmentarza. Ma na to wpływ oddalenie cmentarza od rzeki (350–400 m) i mała przepuszczalność warstwy wodonośnej.
- Przy niskich i średnich stanach wód podziemnych występują kwartały zagrożone zbyt wysokim poziomem zalegania zwierciadła wód podziemnych w odniesieniu do przyjętej normy dla różnych typów pochówków.
- Porównanie uzyskanych rozwiązań dla przeciętnego i dużego zasilania infiltracyjnego pokazuje, że zwiększenie zasilania z $w = 0,3 \text{ mmd}^{-1}$ do $w = 1,0 \text{ mmd}^{-1}$ skutkuje podniesieniem lustra wód podziemnych w centralnej części cmentarza o 0,20–0,30 m.

LITERATURA

- [1] Atlas Geologiczny Wrocławia. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa 1974
- [2] Dokumentacja geologiczno-inżynierska cmentarza komunalnego Wrocław–Oporów. Architektura, Budownictwo, Wnętrza — Projektowanie Wielobranżowe. Wrocław 2005
- [3] *Dubicki A., Słota H., Zieliński J.*: Dorzecze Odry, Monografia Powodzi — lipiec 1997, IMiGW, Warszawa 1999
- [4] *Kowalski J.*: Hydrogeologia z podstawami geologii. PWN, Warszawa 1987
- [5] Mapy topograficzne Polski, M-33-34-D-d-2, M33-34-D-b-4, 1:10 000
- [6] Nawodnienie deszczowniane. PGO–Oporów II. Biuro Projektów Wodnych Melioracji we Wrocławiu, Wrocław 1977
- [7] „Plan Operacyjny dla Miejskiego Komitetu Przeciwpowodziowego Wrocław — Część szczegółowa — Dolina Ślęzy”, HART, Wrocław 2000
- [8] Publikacje IMGW w zakresie stanów i przepływów na dopływach Odry w rejonie Dolnego Śląska
- [9] *Rogoż M.*: Dynamika wód podziemnych, Katowice, GIG 2007
- [10] *Zienkiewicz O.O., Taylor R.L., Nithiarasu P.*: Finite Element Methods for Fluid Dynamics, Elsevier 2005