

Tadeusz Solecki*

**PROJEKTOWANIE ODWODNIEŃ BUDOWLANYCH
OTWORAMI WIERTNICZYMI
W WARUNKACH OGRANICZONEGO DYSPONOWANIA TERENEM
NA PRZYKŁADZIE BUDOWNICTWA MIESZKALNEGO****

1. OPIS PROBLEMU ODWODNIENIA OBIEKTU BUDOWLANEGO

Celem każdego projektu odwodnienia jest w szczególności określenie ilości wód przewidzianych do usuwania z poziomu wodonośnego wraz ze wskazaniem wymaganej rzędnej obniżonego poziomu zwierciadła wody, wielkości depresji rejonowej i zasięgu oddziaływania projektowanego odwodnienia oraz prognoza spodziewanych szkód. Planowana do realizacji inwestycja to siedmiokondygnacyjny budynek mieszkalny z garażem podziemnym [10]. Poziom posadzki kondygnacji podziemnej $-3,60 \text{ m} = 202,90 \text{ m n.p.m.}$, a poziom wykopu $-4,20 \text{ m} = 202,30 \text{ m n.p.m.}$ Woda podziemna na przedmiotowym terenie występuje w warunkach swobodnych przy rzędnej zwierciadła $204,00 \text{ m n.p.m.}$, co skutkuje koniecznością obniżenia zwierciadła wody co najmniej o $2,20 \text{ m}$ pod każdym elementem fundamentowym.

Z doświadczeń praktycznych wiadomo, że odwodnienie budowlane może być przeprowadzone z zastosowaniem rowów, drenów poziomych, drenów pionowych lub igłofiltrów. W literaturze i praktyce spotyka się najczęściej dreny pionowe zlokalizowane na zewnątrz wykopu w oddaleniu kilku metrów od jego krawędzi [4, 11]. W analizowanym przypadku planuje się obiekt budowlany o skomplikowanym kształcie, który będzie się znajdował na działce w kształcie prostokąta, z maksymalnym wykorzystaniem powierzchni zabudowy w stosunku do wymaganej powierzchni biologicznie czynnej. Z tego powodu nie jest możliwe usytuowanie drenów pionowych poza zewnętrznymi krawędziami wykopu budowlanego, niezbędnego dla posadowienia kondygnacji podziemnej, ponieważ otwory te utrudniałyby swobodne prowadzenie zaplanowanych robót budowlanych.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań własnych WWiG AGH

Ustalono na podstawie oceny warunków hydrogeologicznych, że w analizowanym przypadku najbardziej racjonalne jest zastosowanie drenów pionowych. Po ocenie wielo-variantowej lokalizacji otworów odwodnieniowych zaprojektowano system trzyotworowy z usytuowaniem drenów pionowych wewnątrz wykopu budowlanego, powodujący najmniej uciążliwą kolizję z pracami budowlanymi. W dalszej części pracy przeprowadzono analizę możliwości i skuteczności zastosowania tego systemu.

2. CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA TERENU

Teren lokalizacji obiektu budowlanego położony jest w Krakowie. W budowie geologicznej terenu, rozpoznanej wierceniami, udział biorą utwory trzeciorzędu i czwartorzędu.

Utwory trzeciorzędowe to morskie utwory mioceńskie warstw skawińskich wykształcone w postaci iłów, iłolupków, mułków miejscami z wkładkami gipsów i iłów piaszczystych. Miąższość trzeciorzędu jest zmienna i waha się w granicach od kilkunastu do kilkudziesięciu i więcej metrów, co zależy od ukształtowania stropu starszego podłoża.

Utwory czwartorzędowe to osady wodno-lodowcowe stożka Prądnika. Na terenie lokalizacji obiektu budowlanego stwierdzono wierceniami [2] osady rzeczne o maksymalnej głębokości 15 m p.p.t. wykształcone jako przemienne występujące warstwy piasków, żwirów i żwirów z piaskiem i otoczkami. W stropowej partii utworów luźnych przeważają piaski o granulacji drobno- i średnioziarnistej, a ze wzrostem głębokości daje się zauważyć wzrost granulacji aż do żwirów i otoczek.

Wody podziemne w rejonie lokalizacji obiektu budowlanego występują w obrębie utworów czwartorzędowych – osadów piaszczysto-żwirowych pochodzenia akumulacyjnego o zwierciadle swobodnym na głębokości ok. 2÷3 m p.p.t. Poziom ten eksploatowano w przeszłości studnią wierconą zlokalizowaną na terenie lokalizacji obiektu budowlanego. Czwartorzędowa warstwa wodonośna charakteryzuje się średnim współczynnikiem filtracji $k = 3,12 \cdot 10^{-4}$ m/s. Utwory trzeciorzędowe – iły i iłolupki są praktycznie bezwodne.

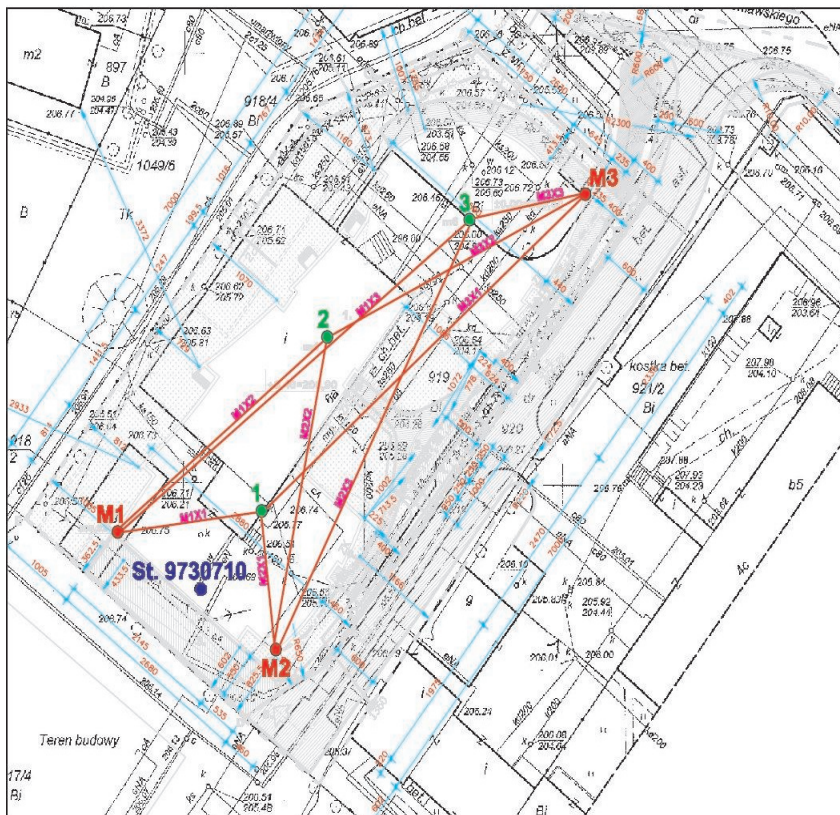
Teren znajduje się w obrębie Głównego Zbiornika Wód Podziemnych, określanego jako GZWP 450 – Dolina rz. Wisła [3]. Charakterystyczne parametry tego zbiornika są następujące: zbiornik w utworach doliny rzeki, szacunkowe zasoby dyspozycyjne 20 tys. m³/dobę, średnia głębokość ujęć 15÷30 m.

3. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE I WYMAGANIA W ZAKRESIE ODWODNIENIA PLANOWANEGO WYKOPU

Realizacja tego obiektu budowlanego będzie możliwa, jeżeli pod dowolnie wybranym punktem fundamentu zwierciadło wody podziemnej kształtować się będzie podczas wykonywania prac związanych z budową kondygnacji podziemnej na rzędnej $Z_w = 201,80$ m n.p.m., czyli 0,5 m poniżej poziomu posadzki kondygnacji podziemnej budynku.

Planowany wykop dla posadowienia obiektu wymaga prowadzenia ciągłych prac odwodnieniowych podczas prac budowlanych związanych z posadowieniem kondygnacji podziemnej. Odwodnienie konieczne jest ze względu na możliwość wystąpienia zwierciadła wody podziemnej na rzędnej 204 m n.p.m. oraz wymagany poziom zwierciadła wody przy fundowaniu budynku – rzędna obniżonego zwierciadła wody nie wyższa niż 201,80 m n.p.m.

Na tle rzutu parteru budynku wrysowanego na mapę sytuacyjno-wysokościową przedstawiono na rysunku 1 rozmieszczenie drenów pionowych 1, 2 i 3 oraz punktów kontrolnych położenia zwierciadła wody podziemnej M1, M2 i M3.



Rys. 1. Rozmieszczenie drenów pionowych i punktów kontrolnych
Objaśnienia w tekście

Założenia projektowe dotyczące lokalizacji, liczby drenów pionowych, promienia otworu drenów pionowych, położenia punktów kontrolnych wysokości zwierciadła wody na skrajnych narożach budynku, są następujące:

- rzędna zwierciadła wody naturalna $Z_n = 204,00$ m n.p.m.;
- rzędna fundamentu $Z_f = 202,30$ m n.p.m.;
- rzędna spągu warstwy wodonośnej $Z_s = 191,00$ m n.p.m.;
- rzędna zwierciadła wody wymagana $Z_w = 201,80$ m n.p.m.;
- miąższość warstwy wodonośnej $H = 13,00$ m;
- maksymalna depresja $S_{\max} = 6,5$ m;
- współczynnik filtracji $k = 3 \cdot 10^{-4}$ m/s = 25,92 m/d;
- wymagana wysokość zwierciadła wody w punkcie kontrolnym $h_M = 10,80$ m;

- promień otworu drenów pionowych $r_0 = 0,20$ m;
- liczba otworów drenów pionowych $n = 3$ szt.;
- odległość drenu pionowego 1 od punktu kontrolnego M1X1=17 m;
- odległość drenu pionowego 2 od punktu kontrolnego M2X2=38 m;
- odległość drenu pionowego 3 od punktu kontrolnego M3X3=59 m.

4. OBLICZENIE PROGNOSTYCZNE ODWODNIENIA PLANOWANEGO WYKOPU

4.1. Obliczenie prognostyczne wstępne

Problematyka dopływu wody podziemnej do drenów pionowych w warunkach wzajemnego oddziaływania była przedmiotem rozważań teoretycznych wielu badaczy, jednak za najbardziej rozpowszechnioną, wielokrotnie sprawdzoną i szeroko stosowaną uznaje się teorię Forchheimera [1, 2, 4, 5, 11].

W analizowanym przypadku obliczenia rozkładu wielkości depresji od drenów pionowych współdziałających wykorzystano zasadę superpozycji (zasadę Forchheimera) mówiącą o tym, że wypadkowy strumień wód podziemnych jest prostą sumą algebraiczną strumieni składowych. Wypadkowa zmiana położenia zwierciadła wody (obniżenie lub podniesienie) w dowolnym punkcie pod wpływem pracy zespołu drenów pionowych jest więc równa sumie zmian, jakie wywołałyby poszczególne dreny pionowe pracujące oddzielnie.

W przeprowadzonych obliczeniach projektowych przyjęto, maksymalny możliwy dopływ do drenu pionowego przy $s_{\max} = H/2 = 6,5$ m. Zasięg leja depresji R dla $s_{\max}$ obliczono ze wzoru Kusakina [1, 4, 5] dla warunków swobodnych, stosując zależność

$$R = 575s\sqrt{kH} \quad (1)$$

Obliczony maksymalny zasięg oddziaływania $R_{\max} = 233,41$ m.

Dopływ wody do współdziałających drenów pionowych podczas prowadzenia odwodnień określono na podstawie równania Forchheimera

$$Q = \frac{k(H^2 - h_M^2)}{0,73 \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1 x_2 \dots x_n) \right]} \quad (2)$$

Uzyskane wyniki obliczeń wydajności otworów przeprowadzonych wg wzoru (2) są następujące:

- wydajność grupy drenów pionowych $Q_0 = 0,0255834$ m³/s = 92,10 m³/h;
- wydajność pojedynczego drenu pionowego $Q = 0,0085278$ m³/s = 30,7 m³/h;
- wysokość obniżonego zwierciadła podczas pracy współdziałających drenów pionowych i prowadzenia odwodnień określono na podstawie przekształconego równania (2)

$$h_0^2 = H^2 - 0,73 \frac{Q}{k} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1 x_2 \dots x_n) \right] \quad (3)$$

Uzyskane wyniki prognostyczne obliczeń wysokości zwierciadła wody w drenach pionowych przeprowadzonych wg wzoru (3) są następujące:

- wysokość zwierciadła w drenie pionowym 1 $h_{01} = 8,75$ m;
- wysokość zwierciadła w drenie pionowym 2 $h_{02} = 8,33$ m;
- wysokość zwierciadła w drenie pionowym 3 $h_{03} = 8,09$ m.

Prognozowane depresje na ścianie poszczególnych drenów pionowych podczas prowadzenia odwodnień określono również na podstawie równania (3), a ich wartości są następujące:

- depresja na ścianie drenu pionowego 1 $s_1 = 4,25$ m;
- depresja na ścianie drenu pionowego 2 $s_2 = 4,67$ m;
- depresja na ścianie drenu pionowego 3 $s_3 = 4,91$ m.

4.2. Obliczenia prognostyczne skorygowane

Wykorzystując zależności (1)–(3), przeprowadzono metodą kolejnych przybliżeń obliczenia korekcyjne. Otrzymano następujące prognozowane wyniki:

- skorygowany promień zasięgu leja depresyjnego $R_s = 165,58$ m;
- wydajność grupy drenów pionowych $Q_0 = 0,0343602$ m³/s = 123,70 m³/h;
- wydajność pojedynczego drenu pionowego $Q = 0,0114534$ m³/s = 41,23 m³/h;
- wysokość zwierciadła w drenie pionowym 1 $h_{01} = 7,93$ m;
- wysokość zwierciadła w drenie pionowym 2 $h_{02} = 7,29$ m;
- wysokość zwierciadła w drenie pionowym 3 $h_{03} = 6,91$ m;
- depresja na ścianie drenu pionowego 1 $s_1 = 5,07$ m;
- depresja na ścianie drenu pionowego 2 $s_2 = 5,71$ m;
- depresja na ścianie drenu pionowego 3 $s_3 = 6,09$ m;

5. OBLICZENIE WIELKOŚCI WYDATKU DOPUSZCZALNEGO I ZDOLNOŚCI PRZEPUSTOWEJ FILTRA

Każdy dren pionowy zostanie wyposażony w filtr. Dopuszczalną prędkość wlotową do filtra obliczono, stosując wzór Abramowa [1, 5]

$$V_{dop} = 65\sqrt[3]{k} \quad (4)$$

gdzie k – współczynnik filtracji, m/d.

Obliczona dopuszczalna prędkość $V_{dop} = 192,16$ m/d = 8,00 m/h = 0,00222 m/s.
Dopuszczalny wydatek drenu pionowego określa zależność

$$Q_{dop} = V_{dop} \cdot D_z \cdot l_f \cdot \pi \quad (5)$$

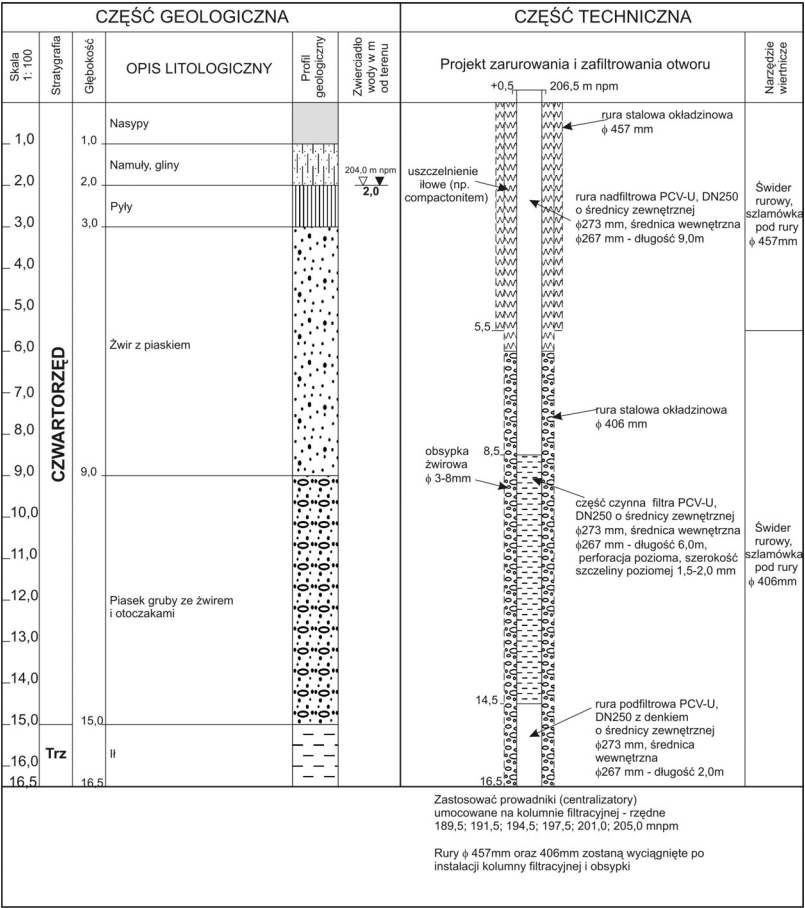
Obliczona wielkość wydatku dopuszczalnego (Q_{dop}) przy $l_f = 6,0$ m i dla $D_z = 0,406$ m wynosi $Q_{dop} = 61,25$ m³/h. Wydajność pojedynczego drenu pionowego, określona w podrozdziale 5.2 wynosi $Q = 0,0114534$ m³/s = 41,23 m³/h. Natomiast zdolność przepustową filtra ustalono na podstawie nomogramów producenta filtrów [12]. Dla szczelin 1,5 mm przepustowość filtra DN250 wynosi zgodnie z nomogramem 7,0 m³/h, na każdy 1 mb przy prędkości napływu 0,03 m/s. Całkowita zdolność przepustowa filtra o długości 6,0 m (dla

szczelin 1,5 mm) wynosi 42,0 m³/h, co gwarantuje przepływ przez filtr obliczeniowej ilości wody z warstwy wodonośnej do drenu pionowego, z zachowaniem ograniczeń wynikających z dopuszczalnej prędkości wlotowej do filtra V_{dop} .

Jak wynika z obliczeń przeprowadzonych z wykorzystaniem zależności (2) i (5), warunek, aby $Q_{obl} < Q_{dop}$, jest spełniony.

6. PROJEKTOWANA KONSTRUKCJA
ODWODNIENIOWEGO DRENU PIONOWEGO

Projektuje się dreny pionowe do wykonania technologią wiertniczą. Konstrukcję odwodnieniowych drenów pionowych opracowano, wykorzystując źródłowe archiwalne materiały geologiczne [2] oraz wytyczne zawarte w Polskich Normach [6–9]. Projektowaną konstrukcję otworu wiertniczego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Projekt geologiczno-techniczny odwodnieniowego drenu pionowego

7. WNIOSKI

- 1) Odwodnienie budowlane może być przeprowadzone z zastosowaniem różnych rozwiązań techniczno-technologicznych – rowów, drenów poziomych, drenów pionowych lub igłofiltrów, a wybór sposobu odwodnienia zależy od warunków hydrogeologicznych i organizacyjnych dotyczących prac budowlanych.
- 2) W praktyce najczęściej stosuje się drenaż pionowy umiejscowiony na zewnątrz wykopu budowlanego w oddaleniu kilku metrów od jego krawędzi, lecz w analizowanym przykładowym przypadku takie usytuowanie nie jest możliwe, ponieważ otwory te ponieważ otwory te stanowiłyby przeszkodę dla swobodnego prowadzenia zaplanowanych robót budowlanych.
- 3) W warunkach takich, jak opisane w przykładzie, stosuje się zazwyczaj osiem drenów pionowych w oddaleniu kilku metrów od krawędzi wykopu budowlanego, jednak ze względu na ograniczenia organizacyjne procesu budowlanego w projekcie odwodnienia przyjęto system trzyotworowy z usytuowaniem pionowych drenów odwodnieniowych wewnątrz planowanego wykopu.
- 4) Zastosowanie pionowych drenów odwodnieniowych, odpowiednio skonstruowanych i rozmieszczonych wewnątrz wykopu budowlanego, prowadzi do zmniejszenia liczby drenów i ograniczenia kosztów przedsięwzięcia.
- 5) Przeprowadzone obliczenia prognostyczne w zakresie wydajności drenów pionowych i ich parametrów konstrukcyjnych potwierdziły założenie projektowe, że w analizowanym przypadku skuteczne wykonanie odwodnienia jest możliwe, po zastosowaniu trzech pionowych drenów odwodnieniowych, odpowiednio skonstruowanych i rozmieszczonych wewnątrz wykopu budowlanego.

LITERATURA

- [1] Gabryszewski T., Wieczysty A.: *Ujęcia wód podziemnych*. Warszawa, Arkady 1985
- [2] *Karta rejestracyjna nr 894 – studnia wiercona* (nr banku hydro 9730710). Wojewódzkie Archiwum Geologiczne w Krakowie
- [3] Kleczkowski A.: *Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych*. Kraków, AGH 1990
- [4] Kulma R.: *Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych*. Kraków, Wyd. AGH 1995
- [5] Pazdro Z.: *Hydrogeologia ogólna*. Warszawa, Wyd. Geol. 1983
- [6] PN-88/B-06715: *Studnie wiercone – Piaski i żwiry filtracyjne*
- [7] PN-G-02318:1994: *Studnie wiercone – Zasady projektowania, wykonania i odbioru*
- [8] PN-93/G-02319: *Studnie wiercone – Rury pełne i filtrowe z PVC – Wymiary i wymagania ogólne*
- [9] PN-G-02321:1997: *Studnie wiercone – Obudowa i wyposażenie – Wymagania*
- [10] *Projekt budowlany budynku mieszkalnego wielorodzinnego z garażem podziemnym oraz infrastrukturą techniczną i komunikacyjną*. ARS, Projekt Kraków 2006
- [11] Sokołowski J., Żbikowski A.: *Odwodnienia budowlane i osiedlowe*. Warszawa, Wyd. SGGW 1993
- [12] *Wyroby do wyposażenia studni głębinowych*. Materiały informacyjne firmy Pol-BUD, Łódź, 2005