

Obliczenia hydrogeologiczne urządzeń odwadniających przy odwadnianiu wykopów wielopiętrowych

Abstract

Hydrogeological desing of drainage for deep excavations. The article presents the method to calculate the intensity of inflow in deep excavations under conditions of free water-table. Then the inflow is proportionaly divided into the three different levels of pumping wells. The calculations showed higher intensity of inflow with increasing depth of excavation. If the excavation contains three stages then the ratio of inflow for stage I, II and III respectively is 1:3,5:10.

Key words: drainage, intensity of inflow, deep excavations

Wstęp

Do odwadniania wykopów głębokich w gruntach jednorodnych lub wykopów o zróżnicowanej przepuszczalności, w warunkach swobodnego zwierciadła wody gruntowej, stosuje się odwodnienie kilkupoziomowe [Sokołowski i Żbikowski 1993]. Polega ono na zaprojektowaniu instalacji wielopiętrowej, np. dwu- lub trzypiętrowej, gdzie urządzenia odwadniające zapewniają stopniowe obniżenie zwierciadła wody gruntowej do wymaganej depresji. Skuteczność omawianego

sposobu odwodnienia według Szechy (1951) zależy od właściwego zbilansowania ilości wody dopływającej do wykopu i określenia, jaka jej część będzie zasilać poszczególne piętra wykopu. W konsekwencji, po obliczeniu przewidywanego natężenia przepływu wody w każdym poziomie depresyjnym, przyjmuje się odpowiedni rodzaj i sposób ujęcia wód gruntowych. Instalację odwadniającą na poszczególnych piętrach projektuje się na odpowiadające tym piętrům wydatki, przy założeniu ciągłości odwodnienia w miarę pogłębiania dna wykopu. Celem pracy jest analiza możliwości zastosowania opracowanej przez Szechy (1951) oraz Hertha i Andtsa (1973) metody obliczania ilości wody dopływającej do pionowych ujęć depresyjnych (studnie, igłostudnie, igłofiltry) przy odwodnieniu wykopu wielopoziomowego w warunkach swobodnego zwierciadła wody gruntowej. W prezentowanym artykule przedstawiono sposób obliczania podziału natężenia dopływu w takim wykopie na poszczególne piętra odwadniające oraz wpływu depresji na skuteczność od-

* Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa.

wodnienia. Zamieszczono również przykład obliczeniowy odwodnienia wykopu trzypoziomowego z uwzględnieniem zasad określania natężenia dopływu i lokalizacji części zafiltrowanej drenaży pionowych. Nie rozpatrywano zagadnienia dotyczącego metody określania kształtu krzywej depresji pomiędzy drenami pionowymi położonymi na poszczególnych piętrach wykopu.

Obliczanie natężenia dopływu do wykopów wielopiętrowych

Natężenie dopływu do wykopu wielopoziomowego ze swobodnym zwierciadłem wody określa się wykorzystując metodę obliczenia dopływu do studni [Szechy 1951, Herth i Arndts 1973]. Metoda ta dotyczy odwodnienia gruntów mineralnych jednorodnych w warunkach swobodnego zwierciadła wody gruntowej. Przyjmując schemat obliczeniowy wykopu wielopoziomowego zamieszczonego na rysunku 1, na wstępnym etapie oblicza

się, zakładając poziomy wody w studniach h , natężenie dopływów do drenaży pionowych Q_{01} , Q_{02} , Q_{03} zlokalizowanych na poszczególnych piętrach wykopu. Zakłada się przy tym brak dopływu do sąsiednich poziomów odwodnienia i korzysta ze wzorów:

piętro I

$$Q_{01} = \frac{\Pi k (H_1^2 - h_1^2)}{\ln R - \ln r} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1)$$

piętro II

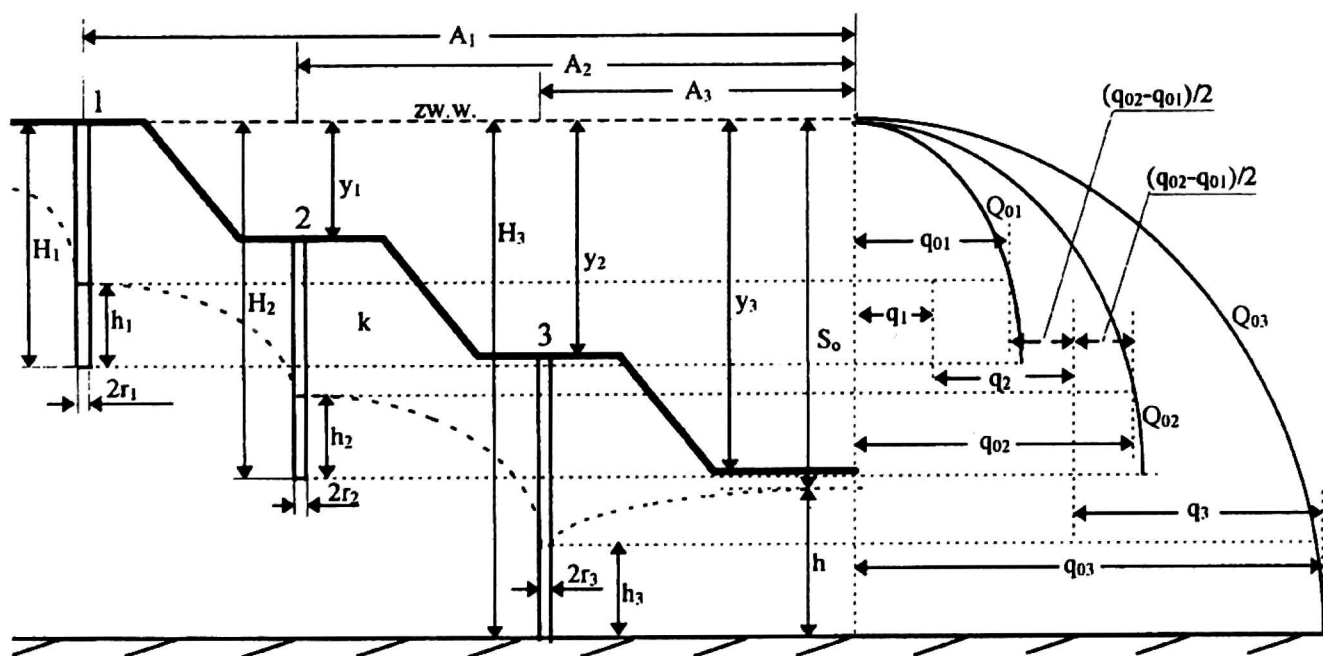
$$Q_{02} = \frac{\Pi k (H_2^2 - h_2^2)}{\ln R - \ln r} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2)$$

piętro III

$$Q_{03} = \frac{\Pi k (H_3^2 - h_3^2)}{\ln R - \ln r} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3)$$

gdzie:

H_1, H_2, H_3 – długości drenaży pionowych [m],



Rys. 1. Schemat odwodnienia wykopu wielopoziomowego

h_1, h_2, h_3 – długości części zafiltrowanej drenów [m],
 k – współczynnik filtracji gruntu [m/s],
 R – zasięg depresji [m],
 r – promień drenu (m).

Na podstawie otrzymanych wyników sporządza się krzywe wydatków, z których można odczytać wartości natężeń dopływu do studni przy dowolnej głębokości obniżenia w niej zwierciadła wody gruntowej. Następnie określa się całkowite natężenie dopływu wody do wykopu Q_c , które jest niezbędne przy ostatecznym ustalaniu ilości wody dopływającej do poszczególnych pięter wykopu.

Całkowite natężenie dopływu do wykopu określa się z zależności:

$$Q_c = \frac{\pi k (H_3^2 - h^2)}{\ln R - \ln A_3} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4)$$

gdzie:

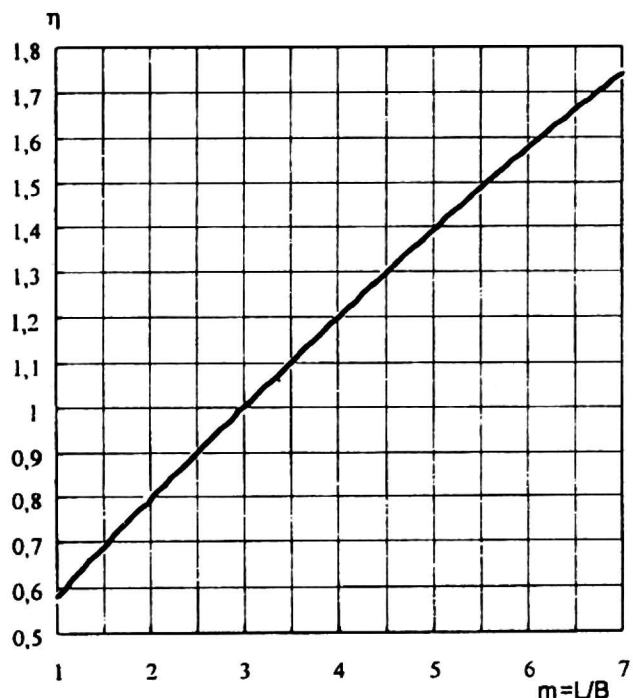
A_3 – promień wielkiej studni [m] obliczony według wzoru (5), a pozostałe oznaczenia zgodnie z rysunkiem 1.

Metodę określania promienia wielkiej studni A podają Herth i Andts (1973). Według niej należy obliczyć wartość m jako stosunek boku dłuższego wykopu L do boku krótszego B (parametry te są wielkościami mierzonymi w świetle linii osi studni), a następnie z nomogramu zamieszczonego na rysunku 2 w niniejszym artykule odczytuje się wartość η . Promień wielkiej studni wyraża związek:

$$A = \eta B \quad (5)$$

w którym:

η – współczynnik odczytywany z wykresu (rys. 2) w zależności od wielkości $m = L/B$,



Rys. 2. Wykres do określania parametru na podstawie wartości $m = L/B$

L i B – długość i szerokość wykopu w świetle osi studni [m].

Podział natężenia dopływu do wykopu wielopoziomowego na poszczególne piętra

Dren pionowy, zlokalizowany na dowolnym piętrze wykopu wielopoziomowego, jest zasilany z piętra wyżej i niżej położonego. Znając natężenie dopływów Q_{01}, Q_{02}, Q_{03} w poszczególnych poziomach wykopu oraz całkowity dopływ do wykopu Q_c , Szechy (1951) zaproponował metodę ich procentowego rozdzielania na poszczególne urządzenia ujęć pionowych. Prawidłowy rozdział natężeń dopływu do urządzeń odwadniających, zlokalizowanych na poszczególnych piętrach wykopu, zwiększa skuteczność odwodnienia, np. zapobiega projektowaniu zbyt dużej lub zbyt małej wydajności systemu odwadniającego w stosunku do wydajności złoża.

Graficzną metodę procentowego rozdziału natężeń dopływu do drenów pionowych, instalowanych na ławkach poszczególnych pięter wykopu, pokazano na rysunku 1. Po obliczeniu natężeń dopływów Q_{01} , Q_{02} , Q_{03} dla kolejnych poziomów odwadniających, na podstawie tych samych wzorów (1), (2), (3) oblicza się natężenia dopływów wody do drenu q_{01} , q_{02} , q_{03} przy przyjętych poziomach wody w drenach. Dopływy do drenów pionowych, zlokalizowanych kolejno na piętrach I, II, III, określa się z zależności [Szechy 1951, Herth i Arndst 1973]:

$$q_1 = \frac{q_{01}}{2} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (6)$$

$$q_2 = q_{02} - \frac{q_{01}}{2} - \frac{q_{02} - q_{01}}{2} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (7)$$

$$q_3 = q_{03} - \frac{q_{01}}{2} - \frac{q_{02}}{2} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8)$$

gdzie:

q_{01} , q_{02} , q_{03} – natężenie dopływu do wykopu z poszczególnych pięter obliczone według wzorów (1), (2), (3), przy założeniu poziomu wody na zewnątrz drenów na poziomie górnych krawędzi filtrów $[\text{m}^3/\text{s}]$.

Na podstawie określonych wielkości natężeń dopływów q_1 , q_2 , q_3 (rys. 1) oraz znając wartość całkowitego natężenia dopływu do wykopu Q_c (wzór 4), oblicza się natężenie dopływu Q_1 , Q_2 , Q_3 do urządzeń drenażu pionowego, oddzielnie dla każdego piętra wykopu, według zależności:

- natężenie dopływu Q_1 do drenu pionowego piętra I

$$Q_1 = Q_c \frac{q_1}{q_1 + q_2 + q_3} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (9)$$

- natężenie dopływu Q_2 do drenu pionowego piętra II

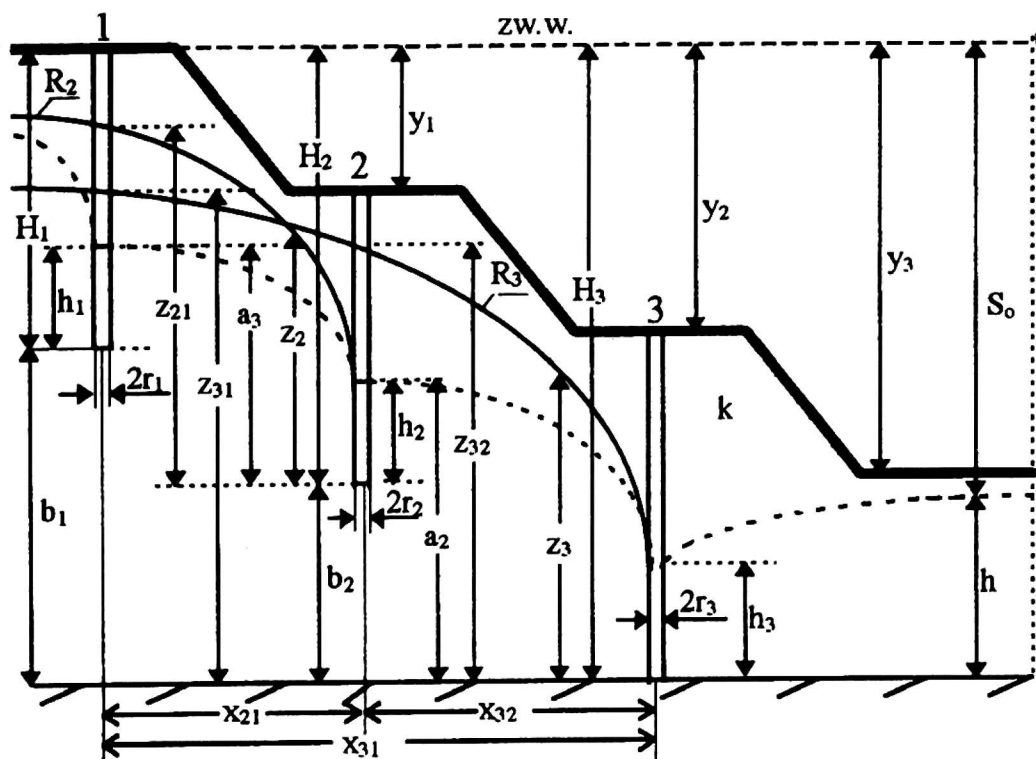
$$Q_2 = Q_c \frac{q_2}{q_1 + q_2 + q_3} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (10)$$

- natężenie dopływu Q_3 do drenu pionowego piętra III

$$Q_3 = Q_c \frac{q_3}{q_1 + q_2 + q_3} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (11)$$

Lokalizacja drenaży pionowych w wykopie

Projektując głębokość założenia drenaży pionowych przy odwodnieniu wykopów wielopiętrowych, należy sprawdzić, czy ich odcinki zafiltrowane zlokalizowane są w strefie poniżej leja depresji w profilach drenów poszczególnych pięter. Chodzi o to, aby filtr drenu pionowego, posadowiony na piętrze (piętrach) wyższym, był zaprojektowany poniżej depresji wywołanej od drenażu położonego na piętrze (piętrach) niższym. Pozwoli to, według autora, uniknięcia niebezpieczeństwa zlokalizowania filtrów drenaży pionowych, a tym samym urządzeń odwadniających w strefie powyżej obniżonego zwierciadła wody. Graficzną interpretację omawianego problemu pokazano na schemacie odwodnienia wykopu trzy-



Rys. 3. Zasada lokalizacji urządzeń odwadniających w wykopie wielopoziomym

poziomowego przedstawionego na rysunku 3. W pierwszej kolejności proponuje się określenie zasięgu depresji R_3 i R_2 przy założeniu działania tylko III lub odpowiednio tylko II poziomu odwodniennego. Następnie za pomocą wzorów: rzędne depresji od drenażu 3

$$z_3 = \sqrt{h_3^2 + \frac{Q_3}{\Pi k} + \ln \frac{x_3}{r}} \quad [\text{m}] \quad (12)$$

rzędne depresji od drenażu 2

$$z_2 = \sqrt{h_2^2 + \frac{Q_2}{\Pi k} + \ln \frac{x_2}{r}} \quad [\text{m}] \quad (13)$$

oblicza się rzędne krzywych depresji z_{31} i z_{32} w miejscu przecięcia krzywej R_3 (rys. 3) z drenażem pionowym odpowiednio 1 i 2 oraz z_{21} w linii przecięcia krzywej R_2 (rys. 3) z drenażem 1; gdzie:

z_3 – rzędne krzywej depresji przy założeniu działania tylko drenażu 3,

z_2 – rzędne krzywej depresji przy założeniu działania tylko drenażu 2 [m],

Q_1, Q_2, Q_3 – natężenia dopływów do drenów pionowych poszczególnych pięter wykopu [m^3/s],

x_3 – odległość [m] rzędnych krzywych depresji od drenażu 3,

x_2 – odległości [m] rzędnych krzywych depresji od drenażu 2,

pozostałe oznaczenia według rysunku 3.

Określenie, czy rzędne krzywych depresji R_3 i R_2 w profilach poszczególnych pięter wykopu znajdują się powyżej zafiltrowanych odcinków drenaży pionowych (rys. 3), polega na sprawdzeniu warunków:

dla drenażu piętra III

$$z_{32} \geq a_2, \quad z_{31} \geq (h_1 + b_1) \quad (14)$$

dla drenażu piętra II

$$z_{21} + b_2 \geq a_3 + b_2 \quad (15)$$

gdzie:

a_2 – odległość górnej krawędzi filtra drenażu 2 od stropu warstwy nieprzepuszczalnej [m],

a_3 – odległość spodu filtra drenażu 2 od górnej krawędzi filtra drenażu 1 [m].

Przykład obliczeń

Obliczyć natężenie dopływu wody dla pionowego drenażu trzypoziomowego wykopu w gruncie ze swobodnym zwierciadłem wody, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. Sprawdzić warunek, czy górne krawędzie filtra o długości h_2 piętra II i filtra o długości h_1 piętra I znajdują się odpowiednio poniżej krzywej depresji R_3 od studni 3 i R_2 od studni 2. Wymagane obniżenie zwierciadła wody gruntowej założono 0,5 m poniżej dna wykopu. Dane: $H_1 = 10$ m, $H_2 = 15$ m, $H_3 = 20$ m, $h = 4,5$ m, $h_1 = 3$ m, $h_2 = 3$ m, $h_3 = 3$ m, $k = 0,000104$ m/s, $S_o = 15,5$ m, $y_1 = 5$ m, $y_2 = 10$ m, $y_3 = 15$ m, $r_1 = r_2 = r_3 = r = 0,2$ m. Wymiary długości L i szerokości B wykopu w planie w świetle osi drenów pionowych wynoszą:

piętro I: $L_1 = 29$ m, $B_1 = 19$ m,

piętro II: $L_2 = 25$ m, $B_2 = 15$ m,

piętro III: $L_3 = 21$ m, $B_3 = 11$ m.

Pozostałe wielkości oznaczone na rysunku 3 wynoszą: $a_3 = 8$ m, $a_2 = 8$ m, $b_1 = 10$ m, $b_2 = 5$ m.

Rozwiązanie: Za pomocą wzorów (1), (2), (3) obliczono natężenia dopływów do drenów pionowych 1, 2, 3 zlokalizowanych na ławkach poszczególnych pięter wykopu (rys. 1). Zasięg depresji określono ze wzoru Sichardta [Sokołowski, Żbikowski 1993]. Przyjęta

średnica drenu wynosi 0,4 m. Następnie na podstawie wzoru (4) obliczono całkowity dopływ wody do wykopu Q_c , gdzie promień wielkiej studni A_3 określono według wzoru (5). Najpierw, po znalezieniu stosunku $m = L_3/B_3$, z nomogramu (rys. 2) odczytano wartość η . Promień wielkiej studni dla poziomu III wyniósł $A_3 = \eta \times B_3$. Znajac wartości Q_{01} , Q_{02} , Q_{03} , przy głębokościach wody w studniach od zwierciadła wody gruntowej wynoszącej dla kolejnych studni odpowiednio $(H_1 - h_1)$, $(H_2 - h_2)$, $(H_3 - h_3)$, obliczono jednostkowe natężenia dopływów do wykopu q_{01} , q_{02} , q_{03} (rys. 1). Następnie na podstawie wzorów (6), (7), (8) określono dopływ do drenów pionowych. Całkowite niezbędne do wymiarowania urządzeń odwadniających natężenie dopływu obliczono za pomocą wzorów (9), (10), (11). Parametry $a_3 = a_2$ mają wartość 8 m. Rzędne krzywych depresji z_{31} , z_{32} określono za pomocą wzoru (12), zaś rzędną z_{21} za pomocą wzoru (13). Wartość z_{31} obliczono w odległości 4 m od osi studni 3, rzędną z_{32} w odległości 2 m od tej studni, natomiast rzędną z_{21} w odległości 2 m od osi studni 2 (rys. 3). Zbiorcze zestawienie wyników zamieszczono w tabeli 1 i 2.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika (tab. 1), że do zaprojektowania drenażu pionowego (studnie, igłostudnie, igłofiltry) należy całkowity dopływ do wykopu trzypoziomowego podzielić na poszczególne piętra według zasady: natężenie dopływu do I piętra (najwyższego) będzie stanowiło około 7% dopływu całkowitego Q_c , do piętra II (środkowego) 24%, zaś do piętra III (najniższego) natężenie do-

Tabela 1. Zbiorcze zestawienie obliczeń natężenia dopływu do wykopu trypoziomowego

Natężenie dopływu [m ³ /s]					
Piętro I		Piętro II		Piętro III	
Q_{01}	0,00382	Q_{02}	0,009080	Q_{03}	0,01640
q_{01}	0,00168	q_{02}	0,005670	q_{03}	0,01176
q_1	0,00084	q_2	0,002835	q_3	0,00809
Q_1	0,00221 (7,14%)	Q_2	0,007470 (24,09%)	Q_3	0,02130 (68,77%)
$A_3 = 8,58 \text{ m}$		$Q_c = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} (100\%)$			

Tabela 2. Wyniki obliczeń rzędnych zwierciadła wody gruntowej

Odległości od studni 3 x_3 [m]		Rzędne zwierciadła wody [m]	Odległości od studni 2 x_2 [m]		Rzędne zwierciadła wody [m]
$x_{32} = 2$		$z_{32} = 12,64$	$x_{21} = 2$		$z_{21} = 8,42$
$x_{31} = 4$		$z_{31} = 14,30$			
$z_{32} \geq a_2$	$z_{31} \geq (h_1 + b_1)$		$z_{21} + b_2 \geq a_3 + b_2$		
12,62 m \geq 8 m	14,3 m \geq 13 m		13,42 m \geq 13 m		

plywu będzie stanowić 69% dopływu całkowitego. Otrzymane wyniki obliczeń dotyczą przykładu zamieszczonego w niniejszym artykule. Przy innych założeniach geometrii wykopu wartości natężeń dopływu do poszczególnych pięter wykopu ulegną zmianie. Parametry i lokalizacja filtrów studni poziomym 2 i poziomym 1 są w ramach niniejszych obliczeń zaprojektowane poniżej rzędnych krzywej depresji R_3 (od studni poziomym III) i R_2 (od studni poziomym II).

Podsumowanie

Przedstawiono sposób obliczenia natężenia dopływu do wykopów wielopię-

trowych w warunkach swobodnego zwierciadła wody. Dokonano procentowego podziału dopływu do pojedynczych pięter wykopu. Na podstawie przykładu obliczeniowego stwierdzono wzrost natężenia dopływu do poszczególnych pięter w miarę wzrostu głębokości wykopu. W przytoczonym przykładzie dla wykopu trypoziomowego stosunek natężeń dopływu do kolejnych pięter wynosił: odpowiednio od I do III 1:3,5:10. Proponowany sposób lokalizacji części zafiltrowanej drenaży pionowych poniżej krzywych depresji (przy założeniu działania urządzeń tylko jednego poziomym odwodnieniowego, np. na skutek awarii pomp), daje pewność, że w trakcie realizacji od-

wodnienia nie nastąpi niebezpieczne dla pomp głębinowych obniżenie wody poniżej filtra. Zaprezentowana metoda obliczeń pozwala określić już na wstępnym etapie projektowania odwodnienia parametry urządzeń odwadniających, przyjąć technologię i organizację robót odwodnieniowych.

Literatura

- HERTH W., ARNDTS E. 1973: *Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung*. Berlin.
- PARYLAK K. 1988: *Odwodnienia budowlane*. Skrypt AR. Nr 337. Wrocław.
- SOKOŁOWSKI J., ŻBIKOWSKI A. 1993: *Odwodnienia budowlane i osiedlowe*. SGGW. Warszawa
- SZECHY K. 1951: *Beitrag zur Theorie der Grundwasserabsenkung*. Akademiemiai Kidao. Budapest.