

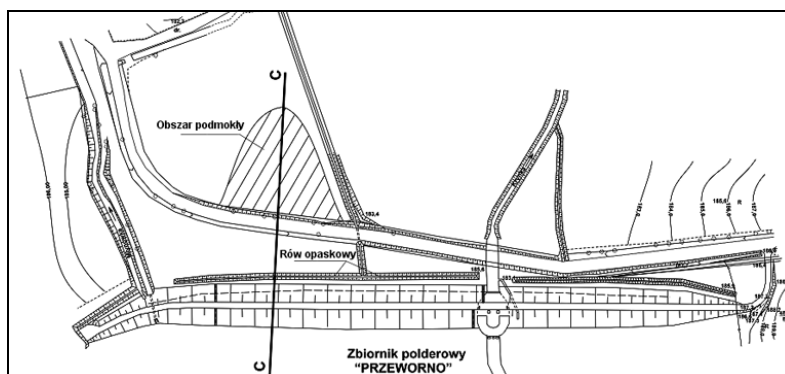
*Mieczysław Chalfen\**, *Daniel Garlikowski\*\**,  
*Tadeusz Molski\*\**, *Henryk Orzeszyna\*\**

## WARUNKI WODNO-GRUNTOWE PRZEDPOLA ZAPORY ZBIORNIKA POLDEROWEGO „PRZEWORNO”

---

### 1. Wstęp

Bezpieczna eksploatacja ziemnych budowli hydrotechnicznych, która w dużym stopniu zależy od warunków filtracji wody przez budowlę i jej podłoże, powinna również uwzględniać poprawne warunki wodne terenów przyległych [2]. Dla ograniczenia filtracji mogą być stosowane dodatkowe przeciwfiltracyjne elementy konstrukcyjne, między innymi ekran, fartuch lub słabo- lub nieprzepuszczalna przesłona [2]. Poniżej zapory, począwszy od skarpy odpowietrznej, dla stworzenia poprawnych warunków wodno-gruntowych stosowane mogą być urządzenia odwadniające. Niekorzystne warunki wodne przedpola istniejącej zapory zbiornika Przeworno (rys. 1), oraz możliwość ich poprawy, objęte zostały badaniami, których wyniki omówione są w pracy.



Rys. 1. Zbiornik polderowy „Przeworno”

---

\* Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław

\*\* Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław

## 2. Cel i zakres pracy

W fazie początkowej eksploatacji zbiornika, po jego napełnieniu do NPP, zaistniały niekorzystne warunki wodno-gruntowe poniżej zapory, na jej przedpolu. Stwierdzono, że tereny przedpola są podtapiane, a ich uprawa rolnicza stała się niemożliwa.

Dla celów opracowania koncepcji poprawy panujących warunków, obiekt objęty został szczegółowymi badaniami terenowymi i modelowymi. Na obiekcie, dla rozpoznania rzeczywistych warunków wodno-gruntowych przeprowadzono geotechniczne badania terenowe. Wyniki tych prac posłużyły do opracowania i wytarowania matematycznego modelu filtracji. Wielowariantowe obliczenia filtracji na wytarowanym modelu pozwoliły na ocenę skuteczności działań, jakie można podjąć dla poprawy warunków wodno-gruntowych.

## 3. Warunki geologiczne i hydrogeologiczne

Przedmiotowy teren jest częścią doliny rzeki Krynki, prawobrzeżnego dopływu Oławy. Dolina rzeki Krynki została wyerodowana w utworach przed trzeciorzędowych. Zbiornik polderowy „Przeworno” został zlokalizowany w km 15 + 350 rzeki Krynki, której dolina o szerokości 300÷500 m i głębokości 40÷60 m wypełniona jest czwartorzędowymi osadami plejstocenu i w części stropowej osadami holocenu. Miąższość osadów holocenijskich w postaci piasków i żwirów przykrytych powierzchniowo namułami oceniono na około 8,0 m. Wykonane badania geologiczne [3] wykazały, że podłoże zapory buduje 5,5 do 7,8 m miąższości warstwa gruntów przepuszczalnych (pospółki, żwiry, piaski grube i średnie) przykryta powierzchniowo warstwą utworów spoiстых (gliny piaszczyste, gliny pylaste) o miąższości 1,3 do 3,7 m. Na przedpolu zapory stwierdzono powierzchniowo występujące grunty spoiyste o miąższości 3,0 i więcej metrów. W otworach odwierconych w czaszy zbiornika, do głębokości 5,0 m stwierdzono gliny, które w kilku miejscach zawierały do 1,5 m miąższości przewarstwienia piasków, pospółek lub namulów.

Przegrodę zbiornika stanowi zapora ziemna o wysokości 5,30 m, szerokości korony 5,0 m i długości 510 m zaliczona do III klasy ważności budowli hydrotechnicznych. Korpus zapory o przekroju jednorodnym wykonano z pospółek gliniastych doziarnianych niesortem kamiennym. Zapora została uszczelniona ekranem z maty bentonitowej, a na jej przedpolu po stronie odwodnej ułożono 10,0 m szerokości fartuch. Zwierciadło wód gruntowych napierających na spąg warstwy powierzchniowych gruntów spoiстых, przed napełnieniem zbiornika stabilizowało się na głębokości 0,6 do 1,0 m.

Piętrzenie wody w zbiorniku powoduje, że linia ciśnień wód napierających na spąg warstwy glin, na przedpolu zapory, stabilizuje się bardzo blisko powierzchni terenu lub ponad terenem. Ciśnienia w warstwie glin także podlegają zwyczajnie, choć następuje to z pewnym opóźnieniem, a dłuższy okres piętrzenia na poziomie NPP powoduje wysięki na powierzchni terenu.

## 4. Badania filtracji na modelu matematycznym

Szczegółowe rozpoznanie warunków geologicznych i hydrogeologicznych obiektu pozwoliły na wytypowanie reprezentatywnego pionowego przekroju poprzecznego C–C zapory ziemnej wraz z podłożem i przedpołem (rys. 1), do badania warunków filtracji na modelu matematycznym.

### 4.1. Podstawy matematycznych obliczeń filtracji

Proces filtracji nieustalanej przy swobodnym reżimie przepływu w płaskim, pionowym przekroju przez korpus i podłoże zapory ziemnej, wału przeciwpowodziowego, opisano równaniem Richardsa [4]:

$$(C + \beta S_s) \frac{\partial h}{\partial t} = (K(p)h_x)_x + (K(p)h_z)_z + S. \quad (1)$$

Dla warunków ruchu ustalonego przyjęto, że  $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ .

Przy dodatkowym założeniu, że w analizowanym obszarze filtracji nie ma zewnętrznych źródeł poboru wody, tzn.  $S = 0$ , równanie Richardsa redukuje się do postaci:

$$(K(p)h_x)_x + (K(p)h_z)_z = 0. \quad (2)$$

Funkcje przewodności hydraulicznej przyjęto wg propozycji van Keulena i Wolfa [4]. Równanie powyższe uzupełniono warunkami brzegowymi Dirichleta lub Neumana [4]. Powstałe zagadnienie różniczkowe rozwiązano metodą elementów skończonych MES z podziałem obszaru filtracji na elementy trójkątne z liniowymi funkcjami bazowymi [1].

### 4.2. Warunki brzegowe i początkowe

Na odcinku  $PQ$  (rys. 2) przyjęto warunek brzegowy  $q = 0$  opisujący brzeg nieprzepuszczalny. Na odcinku  $QR$  przyjęto warunek Dirichleta (I rodzaju) z wysokością piezometryczną oszacowaną na podstawie rozpoznania hydrogeologicznego  $h = 181,40$  m n.p.m. Na odcinku  $RS$  (skarpa odpowietrzna, polder zalewowy) przyjęto warunek swobodnego wypływu, tzn.:

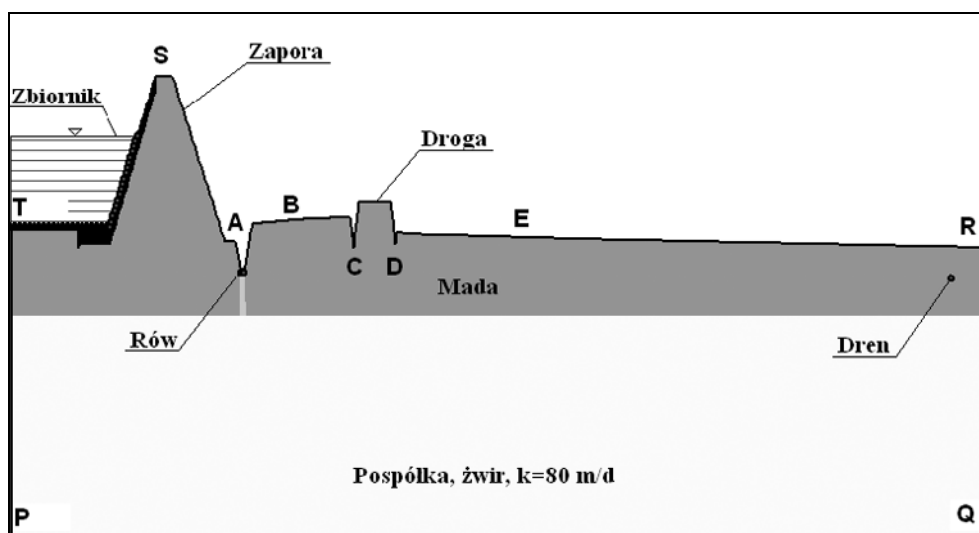
- dopóki  $h < z$  to przyjęto warunek braku przepływu  $q = 0$ ,
- jeżeli  $h = z$  to przyjęto warunek Dirichleta  $p = h - z = 0$ .

Na odcinku  $ST$  (czasza zbiornika, skarpa odwodna) przyjęto warunek Dirichleta z wysokością piezometryczną wynikającą z NPP, tzn.  $h = 185,25$  m n.p.m.

Odcinek *SP* opisano warunkiem Neumana z dopływem:

- $q = 0,01 \text{ m}^2/\text{d}$  dla mady,
- $q = 0,60 \text{ m}^2/\text{d}$  dla pospółki i żwiru.

Wartości te oszacowano na etapie tarowania modelu z wykorzystaniem pomiarów piezometrycznych w punktach *PF2*, *PC2*, *PD2* oraz *PE2*.



Rys. 2. Przekrój C–C. Schemat do obliczeń modelowych

Jako warunek początkowy do obliczeń przyjęto powierzchnię swobodną na rzędnej  $h = 181,55 \text{ m n.p.m.}$  w rejonie zbiornika oraz  $h = 181,40 \text{ m n.p.m.}$  w przekroju *QR* zamkniętym obszar filtracji.

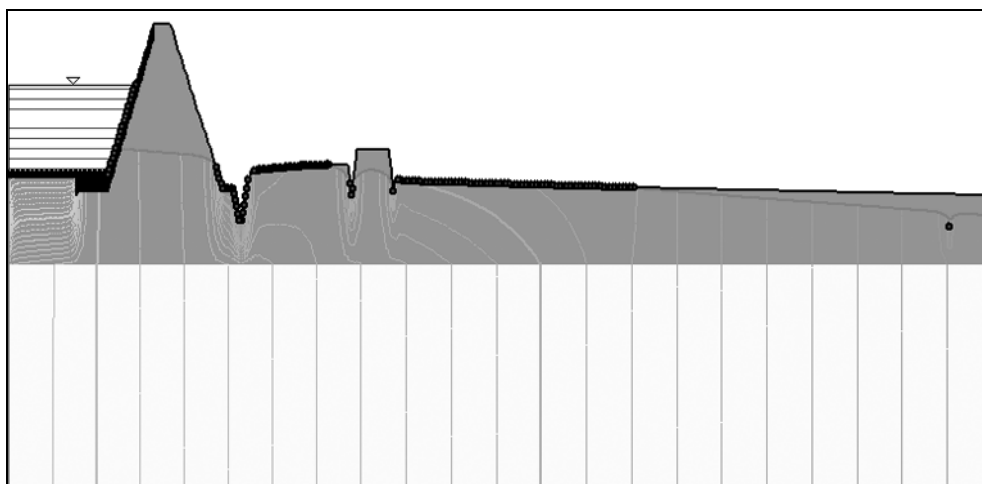
### 4.3. Wyniki obliczeń matematycznych i ich omówienie

#### I etap obliczeń

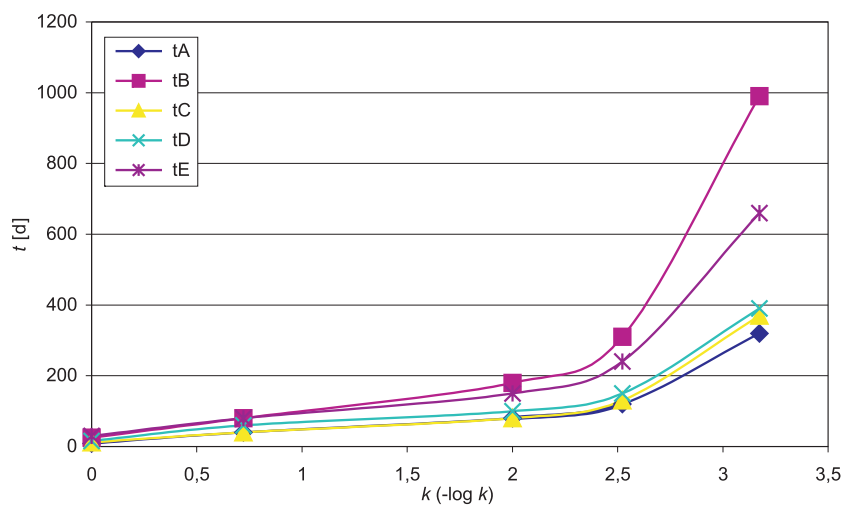
Obliczenia w warunkach filtracji nieustalanej przy NPP 185,25 m n.p.m. w zbiorniku, pozwoliły wyliczyć, po jakim czasie woda zacznie wypływać na powierzchnię terenu i z jakim natężeniem w różnych strefach przedpoła zapory przy uwzględnieniu różnych wartości współczynnika filtracji warstwy mady. Obliczono uskok hydrauliczny na ekranie zapory oraz oszacowano czas, po jakim nastąpi ustalenie procesu filtracji.

Rysunek 3 ilustruje obliczone linie ciśnień piezometrycznych oraz strefy wypływu wody na powierzchnię terenu.

Przy przyjęciu różnych współczynników filtracji warstwy mady  $k_m = 0,00067 \div 1,00$  m/d, odpowiadających na rysunku 4 wartościom  $-\log(k_m)$  od 3,1739 do 0, obliczone czasy od rozpoczęcia piętrzenia przy NPP do początku wypływu wody na powierzchnię terenu w różnych strefach przedpola zapory (rys. 3), zmieniły się w granicach od 9 do 999 dni.



Rys. 3. Linie ciśnień i powierzchnia swobodna ( $k_m = 0,01$  m/d)



Rys. 4. Relacje  $t = f(k)$

Zmiany obliczonych czasów, po jakich następuje ustalenie procesu filtracji oraz czasów, po jakich pojawi się woda w różnych strefach przedpola zapory i z jakim natężeniem,

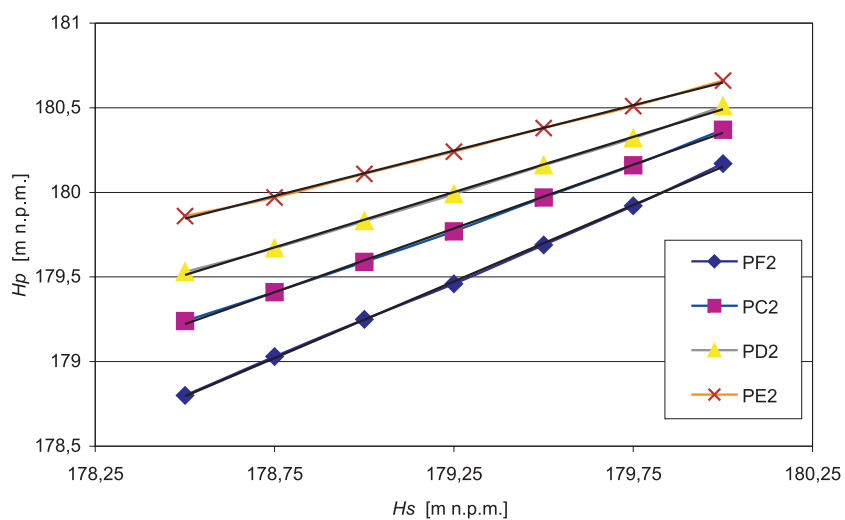
w zależności od przyjętej wodoprzepuszczalności warstwy mady  $k_m$ , mają przebieg potwierdzający się w terenie na badanym obiekcie.

## II etap obliczeń

Jako element obniżający ciśnienie w warstwie mady analizowano barierę studni usytuowanych w osi rowu opaskowego. Wyniki obliczeń natężenia dopływu, w warunkach filtracji ustalonej przy  $k_m = 0,01$  m/d, do drenażu lub bariery studni zawierają rysunki 5 i 6.



Rys. 5. Linie ciśnień i powierzchnia swobodna ( $k_m = 0,01$  m/d, rz. w. w studni 180 m n.p.m.)

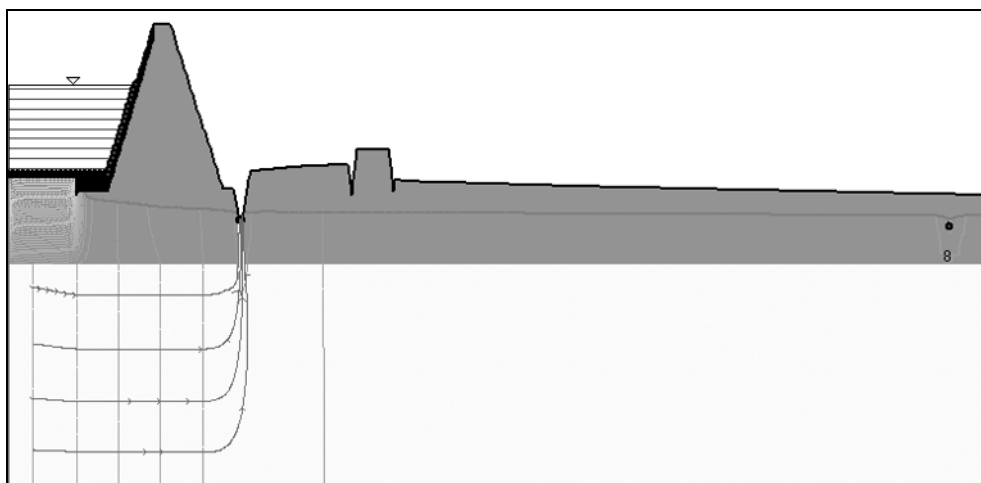


Rys. 6. Relacje  $H_p = f(H_s)$

Jednocześnie z modelu odczytano, związane z obniżeniem wody gruntowej, wysokości piezometryczne w piezometrach przedpola zapory (rys. 6). Obniżenie w osi rowu opaskowego zwierciadła wody gruntowej do poziomów poniżej spągu warstwy mady powoduje obniżenie wysokości piezometrycznych na przedpolu zapory. Woda gruntowa nie pojawia się na powierzchni terenu (rys. 5). Ilości wody dopływające do urządzeń odwadniających i brak możliwości odprowadzenia grawitacyjnego tych wód nie są dobrą stroną tego wariantu rozwiązania poprawy warunków wodno-gruntowych przedpola zapory.

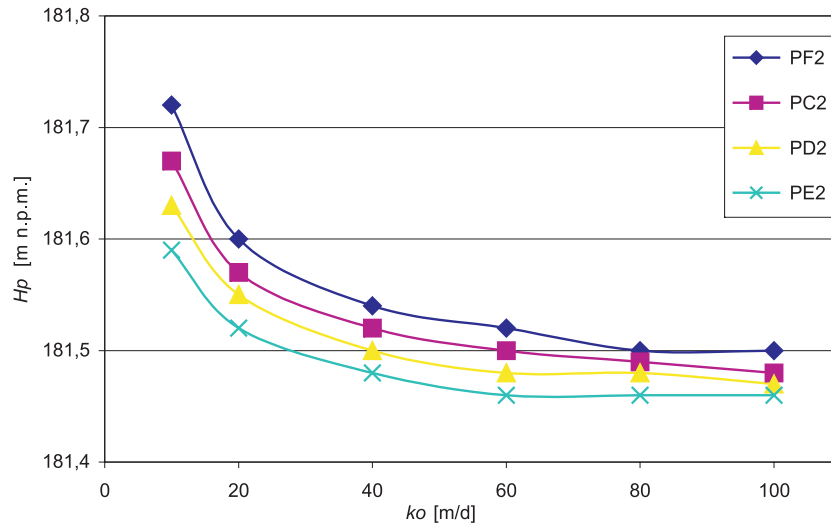
### III etap obliczeń

W tym wariantcie obliczeń, jako element obniżający ciśnienie piezometryczne w warstwie mady zaproponowano okno hydrogeologiczne poniżej dna rowu opaskowego. Wykonano obliczenia przy  $k_w = 80$  m/d i  $k_m = 0,01$  m/d, uwzględniające okno hydrogeologiczne z  $k_o = 80$  m/d. W badaniach przyjmowano również różne wartości  $k_o = 10 \div 100$  m/d. Wyniki tych obliczeń przy różnych poziomach wody w oknie zawierają rysunki 7–9.

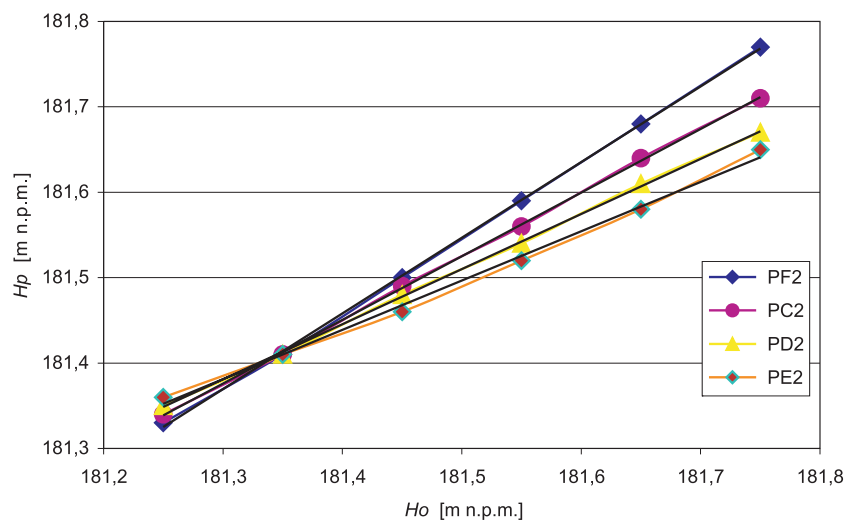


Rys. 7. Linie ciśnień, linie prądu i powierzchnia swobodna ( $k_m = 0,01$  m/d,  $k_o = 80$  m/d)

Zmiana wysokości piezometrycznej w oknie o 0,5 m w zakresie 181,25÷181,75 m n.p.m. powoduje zmianę natężenia wypływu przez okno o ok. 35%, od 2,27 do 1,66 m<sup>3</sup>/d/mb. Wskutek przyjęcia w obliczeniach różnych wartości  $k_o = 10 \div 100$  m/d uzyskano odpowiednio różne wartości natężenia przepływu przez okno  $q = 1,72 \div 2,03$  m<sup>3</sup>/d/mb (przyrost ok. 18%). Wyższa wodoprzepuszczalność okna obniża stany piezometryczne na przedpolu zapory, wpływając korzystnie na warunki wodno-gruntowe. Podobnie jak wodoprzepuszczalność, na warunki wodno-gruntowe przedpola wpływają niższe poziomy piezometryczne w oknie, które związane są z głębokością napełnienia rowu opaskowego.



Rys. 8. Relacje  $H_p = f(k_o)$



Rys. 9. Relacje  $H_p = f(H_o)$

## 5. Podsumowanie badań terenowych i obliczeń matematycznych

Założone do obliczeń filtracji nieustalanej zróżnicowane wartości współczynnika filtracji  $k_m$  warstwy glin pokrywającej powierzchniu przedpole zapory, pozwoliły ocenić czas konieczny do przepływu wody przez warstwę na wydzielonych odcinkach A–E przed-



poła zapory oraz wielkości natężenia wypływu. Od rozpoczęcia piętrzenia wody w zbiorniku do pierwszych prac polowych, podczas których zauważono problem nadmiernej wilgotności gleby na części obszaru minęło około 6 miesięcy tj. około 180 dni. Ten okres znalazł obliczeniowe potwierdzenie w wielkości przedziałów czasowych, w jakich możliwe jest pojawienie się wody na powierzchni terenu. Przyjmując, że wyznaczone laboratoryjnie wartości współczynników filtracji mogą w warstwie glin wystąpić strefowo lub w nakładających się na siebie przewarstwieniach, czas, po jakim pojawiły się wysięki na powierzchni terenu mieści się w obliczonych przedziałach czasowych. Obliczone czasy potrzebne, by filtracja uzyskała stan ustalony zawierające się w przedziale 240 do 2000 dób wskazuje na to, że proces namakania powierzchniowej warstwy glin będzie się nasilał.

Obliczenia przeprowadzone w etapach II i III zakładające odciążenie ciśnienia w warstwie przepuszczalnej podścielającej powierzchniową warstwę glin wykazały, że w przypadku warunków etapu II konieczne będzie stałe odpompowywanie wody z bariery studzien rozmieszczonych w linii dna rowu opaskowego tak, by utrzymywać w nich zwierciadło wody na rzędnej co najwyżej 180,00 m n.p.m., a w przypadku warunków etapu III odpływ z pogłębionego i w specjalny sposób zabudowanego rowu opaskowego w zależności od utrzymywanego poziomu wody w „oknie” wynosiłby od 1,66 do 2,27 m<sup>3</sup>/d/mb.

#### LITERATURA

- [1] *Chalfen M.*: Opis programu FIZ — Filtracja i Zanieczyszczenia. XXXIII Seminarium Zastosowań Matematyki w Kobylej Górze, 2003, 37–40
- [2] *Czyżewski K. i in.*: Zapory ziemne. Arkady. Warszawa, 1973
- [3] Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla zbadania warunków w podłożu zbiornika polderowego Przeworno w km 16 + 350 rzeki Krynki, PWr. Inst Geot. i Hydrot. Wr, 2000
- [4] *Reinhard A.*: Ruch wody glebowej i gruntowej w strefach saturacji i aeracji wywołanych działaniem drenu w różnych warunkach atmosferycznych, ZNAR Wroc. Rozp. Nr 103, 1992