

Załącznik nr 1 do SIWZ

**Projekt badań dla oceny wpływu
instalacji czujników pomiarowych,
metodą sond wbijanych, na przebieg
procesu filtracji wody przez korpus
ziemnej budowli przeciwpowodziowej**

Kraków, Luty 2015 r.

SPIS TREŚCI

A.	CEL I ZAKRES OPRACOWANIA.....	3
B.	WYKORZYSTANE MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE.....	3
1.	WSTĘP.....	4
2.	ZDEFINIOWANIE CELU BADAWCZEGO	5
3.	PODSTAWY TEORETYCZNE PROCESU FILTRACJI WODY PRZEZ ZAPORY ZIEMNE	6
4.	SCHEMAT INSTALACJI BADAWCZEJ.....	7
5.	HARMONOGRAM BADAŃ	13
6.	MATERIAŁ BADAWCZY I SPOSÓB JEGO DALSZEJ INTERPRETACJI.....	17
7.	PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	18
8.	WYKORZYSTANE MATERIAŁY.....	20
	Spis rysunków.....	20
	Spis tabel.....	20
	Spis załączników.....	19
	Załącznik 1. Harmonogram realizacji eksperymentu	
	Załącznik 2. Specyfikacja techniczna automatycznych urządzeń pomiarowych na potrzeby monitorowania poziomu wody w zbiorniku i piezometrach	

A. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Zakres opracowania obejmuje opracowanie projektu badań dla oceny wpływu instalacji czujników pomiarowych, metoda sond wbijanych, na przebieg procesu filtracji wody przez korpus ziemnej budowli przeciwpowodziowej obejmującego:

Opracowanie scenariusza eksperymentu pozwalającego na ocenę wpływu instalacji budowli przeciwpowodziowej,

Opracowanie koncepcji stanowiska badawczego do badań modelowych

Opracowanie kosztorysu inwestorskiego realizacji eksperymentu.

Opracowanie stanowi część zadania badawczego realizowanego w ramach projektu badawczego ISMOP pt. „Badania w zakresie opracowania kompleksowego systemu monitorowania stanu statycznego i dynamicznego ziemnych obwałowań przeciwpowodziowych w trybie ciągłym, z możliwością symulacji zachodzących zmian strukturalnych oraz szacowaniem ryzyka ich uszkodzenia”.

B. WYKORZYSTANE MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

Do opracowania wykorzystano :

- „Projekt budowlany wału eksperymentalnego w Czernichowie wraz z urządzeniami towarzyszącymi oraz rozbiórki wału po zakończeniu badań” – Hydroprojekt - Sweco – Kraków 2014 r. w ramach projektu ISMOP.
- „Techniczne aspekty instalacji czujników w korpusie wału przeciwpowodziowego - wpływ na założenia konstrukcji eksperymentalnej czujników/sond”
- Projekty konstrukcji żerdzi i grotów instalacyjnych czujników pomiarowych
- Literatura – wg. rozdz. 7.

WSTĘP

Istotą ochrony przeciwpowodziowej jest skuteczne zabezpieczenie przed wdarciami się wód powodziowych w miejsca szczególnie wrażliwe dla funkcjonowania zbiorowości ludzkich, np. zabudowa mieszkaniowa, obiekty infrastruktury przesyłowej, komunalnej czy też produkcyjnej. Jeżeli zadanie to jest niemożliwe do wypełnienia, powinien istnieć system wczesnego ostrzegania, który na bazie informacji pomiarowych generowałby alerty o możliwych zalaniach powodziowych wskutek np. uszkodzenia budowli zabezpieczających.

Najpopularniejszymi budowlami przeciwpowodziowymi są wały, czyli budowle ziemne o przekroju najczęściej trapezowym i znacznej długości, ciągnące się wzdłuż większych rzek. Cechy geometryczne wałów, tj. znikomy wymiar poprzeczny w stosunku do podłużnego czynią je podatnymi na przerwania ciągłości. Skutki takich zdarzeń są najczęściej katastrofalne. Jednym ze sposobów ich minimalizacji jest podjęcie, z należyтым wyprzedzeniem, zabiegów podtrzymujących trwałość zabezpieczenia. Aby tak się stało, koniecznym jest wyposażenie wału w system „wczesnego ostrzegania” o pojawiających się zagrożeniach uszkodzeń jego korpusu.

Jednym ze sposobów realizacji takiego zamierzenia jest instalacja w korpusie wału systemu czujników monitorujących w sposób ciągły jego sprawność (tj. szczelność, trwałość, itp.). Jest poza sporem, iż umieszczenie systemu pomiarowego powinno nastąpić w korpusie istniejącego obiektu. Pojawiają się jednak wątpliwości, czy taka ingerencja w zagęszczony grunt wału nie spowoduje jego miejscowego osłabienia, co mogłoby być, przy wezbraniu powodziowym, przyczyną utraty szczelności, a nawet docelowo stateczności i trwałości obiektu. Sposobem na potwierdzenie lub rozwianie artykułowanych obaw jest przeprowadzenie eksperymentu badawczego, podczas którego obserwowane byłyby parametry filtracyjne budowli eksperymentalnej (modelu fizycznego) pozwalające na prognozowanie zachowania się istniejącego wału przeciwpowodziowego w warunkach rzeczywistych.

1. ZDEFINIOWANIE CELU BADAWCZEGO

Koncepcja monitorowania istniejących wałów przeciwpowodziowych czujnikami systemu wczesnego ostrzegania wymaga opracowania metodyki ich instalowania, w jak najprostszy, ale również bezpieczny sposób. Interesująca i właściwa w tym względzie wydaje się być metoda wprowadzania czujników w korpus ziemny przy użyciu sond wbijanych, usuwanych po zakończeniu instalacji.

Wprowadzanie sondy, a następnie jej usuwanie, z całą pewnością stanowi ingerencję w ustabilizowany stan budowli ziemnej. Głównie znacznie w tym względzie ma lokalna zmiana struktury gruntu, gdzie w szczególności w strefach o większym zagęszczeniu wprowadzania sond może teoretycznie nastąpić osłabienie korpusu wału prowadzące do jego destrukcji. Czynnikiem o dużym potencjale oddziaływania na stabilność omawianej budowli jest proces filtracji wód, który, wykorzystując wytworzone strefy uprzywilejowanego przepływu, może przyczynić się do zniszczenia wału przeciwpowodziowego.

Wobec przedstawionych powyżej okoliczności celem planowanego eksperymentu jest sprawdzenie, w warunkach doświadczalnych, zasadności obaw o trwałość wału przy wprowadzaniu w jego korpus znacznej liczby czujników za pomocą sondy wbijanej, wyciąganej po zakończeniu instalacji rejestratorów. Przedstawione zadanie zostanie rozwiązane poprzez sprawdzenie w warunkach ciągłego monitorowania modelu wału przeciwpowodziowego w formie przegrody ziemnej, wpływu instalacji czujników na przebieg procesu filtracji wody. Dla tego typu potrzeb konieczne jest wykonanie kilku piezometrów w korpusie przegrody ziemnej oraz systemu drenażowego dla odbioru wód przesączających się przez jej korpus. W piezometrach oraz na wylocie systemu drenażowego konieczne jest prowadzenie pomiarów odpowiednio zmian ciśnienia wód oraz wydajności przesączania się wód.

Przedstawiony powyżej cel badawczy determinuje treść niniejszego opracowania, toteż koniecznym jest, aby znalazły się w nim następujące zagadnienia:

- zarys teoretyczny założeń eksperymentu wraz ze wskazaniem rodzajów wielkości pomiarowych oraz metodyki i sposobu prowadzenia pomiarów,
- projekt instalacji polowej (modelu fizycznego przegrody ziemnej),
- opis i harmonogram eksperymentu,
- wyniki badań oraz ich analiza,
- wnioski końcowe.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE PROCESU FILTRACJI WODY PRZEZ ZAPORY ZIEMNE

Filtracja wody przez zapory ziemne jest problemem badawczym bardzo dobrze rozpoznany pod względem, zarówno, teoretycznym, jak i praktycznym. Stan ten wynika bezpośrednio z dużej wagi, jakie zapory ziemne (wały) mają dla ochrony przeciwpowodziowej oraz w odniesieniu do kwestii spiętrzania wody w elektrowniach wodnych. Pod względem teoretycznym zagadnienie filtracji wody przez jednorodny wał zbudowany z gruntów o słabej przepuszczalności z przyporą filtracyjną u skłonu zbocza odpowietrznego zostało opracowane przez Whitmana i Lambego (Fig. 1) (GeoSLOPE, 2001).



Fig. 1. Teoretyczny schemat filtracji wody przez korpus zapory ziemnej

Dla zapory zbudowanej z utworów o określonej wartości współczynnika filtracji – k , granica strefy zawodnionej w obrębie korpusu wału (zwierciadło wody) wykazuje dwa charakterystyczne punkty przegięcia, jeden zlokalizowany w pobliżu skarpy odwodnej (A), oraz drugi, w pobliżu przypory filtracyjnej lub w ogólnym przypadku na kontakcie ze skarpą odpowietrzną (B).

Istnieje wiele metod analitycznych rozwiązywania problemu przepływu (przesączania się) wód przez korpus zapory ziemnej. Początkowo powszechnie używany był wzór Dupuite'a, który jednakże nie uwzględniał wklęsłego charakteru zwierciadła wody w rejonie punktu A i wypukłości w pobliżu punktu B. Bardziej dokładne w tym względzie są nowsze metody analityczne, w tym w szczególności popularne w Polsce metody Pawłowskiego oraz Wieczystego (Rogoż. M., 2007).

Aktualnie, w związku z rozwojem metod numerycznego rozwiązywania równań różniczkowych, do zagadnień z zakresu filtracji wody przez zapory ziemne powszechnie stosuje

się specjalistyczne oprogramowanie. Jednym z najpopularniejszych narzędzi stosowanych do tego typu problemów jest program komputerowy firmy GeoSLOPE – SEEP/W. Program ten opiera się o metodę elementów skończonych (MES) i pozwala na rozwiązywanie szeregu zagadnień związanych z występowaniem wód w obrębie utworów zarówno w stanie pełnego, jak i niepełnego nasycenia. Program SEEP/W ma możliwość współpracy z innymi aplikacjami firmy GeoSLOPE dedykowanymi dla geologii inżynierskiej i geotechniki, w szczególności programami SIGMA/W – do obliczeń stanu naprężenia i odkształcenia gruntów oraz SLOPE/W – do zagadnień z zakresu stateczności zboczy (GeoSLOPE, 2001).

Przedstawiony problem może być również symulowany przy użyciu standardowych programów do modelowania filtracji wód podziemnych w obrębie utworów geologicznych, w tym najpopularniejszego obecnie oprogramowania z rodziny MODFLOW (np. Visual MODFLOW, Processing Modflow, Groundwater Modeling System i in.). Program MODFLOW oparty jest o metodę różnic skończonych (MRS) i poza typowymi symulacjami dla warunków pełnego nasycenia porów wodą ma dodatkowo możliwość odwzorowywania warunków niepełnego nasycenia.

3. SCHEMAT INSTALACJI BADAWCZEJ

Instalacja badawcza dla potrzeb określenia wpływu wprowadzania czujników w korpus ziemny wału przeciwpowodziowego przy użyciu sond wbijanych, usuwanych po zakończeniu instalacji, złożona jest z:

1. **Warstwy izolacyjnej**, wykonanej na parceli badawczej o powierzchni około 23 m², o wymiarach 5 m × 4,5 m, zbudowanej z utworów o niskiej przepuszczalności ($k < 1 \times 10^{-7}$ m/s) o miąższości około 0,1 – 0,2 m. Rozmiar parceli badawczej z izolacją dna jest większy od wymiarów całej instalacji badawczej, które wynoszą długość $L=4,0$ m oraz szerokość $S=3,5$ m.
2. **Koryta hydraulicznego** z blachy stalowej o grubości ścianki około 2,5 – 3,0 mm i wymiarach dla ściany czołowej 4 m × 1 m, oraz ścian bocznych złożonych z dwóch połączonych ze sobą prostokątnych segmentów o wymiarach 2,1 m × 1,0 m oraz 1,0 m × 0,7 m. Poszczególne ściany koryta muszą zostać połączone ze sobą w sposób szczelny

poprzez zespawanie lub też z zastosowaniem skręcanych kołnierzy gumowych. Dla potrzeb usztywnienia konstrukcji koryta można rozważyć wykonanie belek wzmacniających łączących ze sobą skrzydła boczne, w szczególności na ich końcu wzdłuż planowanej do wykonania przegrody ziemnej o przekroju trapezowym. Koryto hydrauliczne powinno mieć wykonany przelew zapewniający swobodny odpływ nadmiaru wody, dla utrzymania jej stałego poziomu.

- 3. Modelu fizyczny przegrody ziemnej przeciwpowodziowego o przekroju trapezowym w skali 1:5**, zbudowanej z gruntów rodzimych klastycznych charakteryzujących się wskaźnikiem nierównomierności uziarnienia $U > 6$, przy zawartości frakcji $< 0,063$ mm maksymalnie do 2%. Materiał tego rodzaju jest możliwy do pozyskania ze złóż kruszywa piaskowo-żwirowego w dolinie Wisły w pobliżu Krakowa (np. „Wola Batorska”, „Pod Kopcem”, „Gruczyn”, itd.). Długość przegrody $L = 4,0$ m, wysokość $H = 0,9$ m, szerokości u podstawy i w koronie odpowiednio $S_{pods.} = 2,85$ m oraz $S_{korony.} = 0,6$ m. Nachylenie skarp przegrody ziemnej wynosić powinno, dla skarpy odwodnej 1:1,5 zaś dla skarpy odpowietrznej 1:1. Dla potrzeb wykonania modelu konieczne jest wykorzystanie około 15-16 ton gruntu rodzimego, zagęszczanego warstwami o miąższości $m = 0,1$ m, do uzyskania $I_D = 0,95$. Przegroda ziemna dla potrzeb wykonywania badań umownie będzie podzielona na 4 sekcje o szerokości 1 m, oznaczone symbolami A – D.
- 4. Przypory filtracyjnej** wykonanej z siatki komórkowej systemu typu GEOWEB GWS 330-200 TPC (teksturowanej i perforowanej) o wymiarach: długość $L = 4,0$ m, szerokość $S = 0,6$ m oraz wysokość $H = 0,2$ m. Komórki siatki powinny zostać wypełnione gruntem o wysokiej przepuszczalności ($k > 1 \times 10^{-4}$ m/s) tj. piasków gruboziarnistych i/lub żwirów. Materiał dla konstrukcji przypory filtracyjnej jest możliwy do pozyskania także ze złóż w dolinie Wisły.
- 5. Systemu drenażowego**, wykonanego w obrębie przypory filtracyjnej tj. systemu rur drenażowych, złożonego z czterech odcinków o długości około 1,0 m, umiejscowionych poprzecznie do kierunku filtracji wód przez przegrodę ziemną, z zaślepieniem ich końców i wykonaniem poprzecznego odprowadzenia do rowu drenażowego równoległego do stopy przegrody. System drenażowy może zostać wykonany z rur PCV

lub PE o średnicy Φ 80 – 100 mm, przy czym w tym charakterze mogą również zostać użyte odpowiednio perforowane typowe rury sanitarno-kanalizacyjne. Rury drenażowe należy ułożyć bezpośrednio na warstwie izolacyjnej, która pod przyporą filtracyjną ma mieć większą miąższość $m = 0,3$ m. Utwory przepuszczalne w obrębie przypory filtracyjnej dla ochrony przed dopływem wód opadowych powinny zostać przykryte warstwą gruntów o niskiej przepuszczalności ($k > 1 \times 10^{-6}$ m/s) i miąższości $m=0,05$ m. Dla przeciwdziałania rozpraszaniu się strumienia wód filtracyjnych w obrębie przypory filtracyjnej proponuje się również wypełnienie utworami o niskiej przepuszczalności ostatniej, zewnętrznej komórki geosiatki GEOWEB. Zablokowanie możliwości odpływu wody bezpośrednio do rowu drenażowego skutkować będzie skierowaniem całości filtrujących wód do systemu drenażowego i zwiększy dokładność pomiarów na wylocie z niego.

6. **Systemu piezometrów**, w postaci 6 otworów wykonanych w korpusie przegrody ziemnej do stropu warstwy izolacyjnej umiejscowionych w obrębie sekcji przegrody B oraz C, w ilości po 3 szt. Piezometry dla potrzeb prowadzenia badań będą oznaczone symbolami B1-B3 oraz C1-C3. Parametry techniczne piezometrów zestawione zostały w poniższej tabeli (Tab. 1). W wybranych piezometrach, na etapie wykonywania badań nad wpływem wprowadzania czujników w korpus ziemny przegrody przy użyciu sond wbijanych, zainstalowane zostaną automatyczne rejestratory do pomiaru ciśnienia wody, dające możliwość monitorowania zmian mierzonych parametrów z wysoką dokładnością oraz z częstotliwością do 5 sekund. Ponadto analogiczne urządzenie pomiarowe zainstalowane zostanie celem pomiaru i kontroli poziomu wody w korycie hydraulicznym. System zasilania i odczytu danych automatycznych mierników powinien zapewniać bezproblemową realizację całego eksperymentu. Na potrzeby eksperymentu dostarczone zostaną również co najmniej 2 szt., precyzyjnych czujników na potrzeby kalibracji układu w warunkach polowych. Szczegółowy opis wymaganych parametrów czujników zawiera załącznik nr 2 dla Projektu.

Tab. 1. Parametry techniczne piezometrów badawczych

<i>Symbol piezometru</i>	<i>Sektor przegrody</i>	<i>Lokalizacja na szerokości korpusu przegrody [m]</i>	<i>Rodzaj rury osłonowej</i>	<i>Długość piezometru [m]</i>	<i>Średnica [mm]</i>	<i>Zafiltrowanie [m ppt]</i>	<i>Uwagi</i>
B1	B	1,5	PCV, PE lub stalowa	1,0	45-60	pełne	osłona w postaci tkaniny filtracyjnej
B2		1,9		1,0			
B3		2,3		0,6			
C1	C	1,5		1,0			
C2		1,9		1,0			
C3		2,3		0,6			

Schematy instalacji badawczej zaprojektowanej dla realizacji postawionego problemu w postaci oceny wpływu wprowadzania czujników w korpus ziemny przegrody - modelu wału przeciwpowodziowego przy użyciu sond wbijanych, przedstawione zostały na załączonych rysunkach (przekrój poprzeczny – Fig. 2 i rzut pionowy – Fig. 3).

Instalacja badawcza musi zostać wyposażona zostanie w standardowe przyłącze elektryczne, o napięciu 230V i częstotliwości 50Hz z zabezpieczeniem na poziomie 16A. Instalacja elektryczna będzie zasilac system oświetleniowy oraz pompę doprowadzającą wodę do koryta filtracyjnego.

Przewiduje się przykrycie wierzchołiny przegrody i skarpy odpowietrznej tymczasowym dachem w celu eliminacji wpływu ekstremalnych zdarzeń pogodowych na przebieg eksperymentu (intensywne opady atmosferyczne oraz nasilone parowanie).

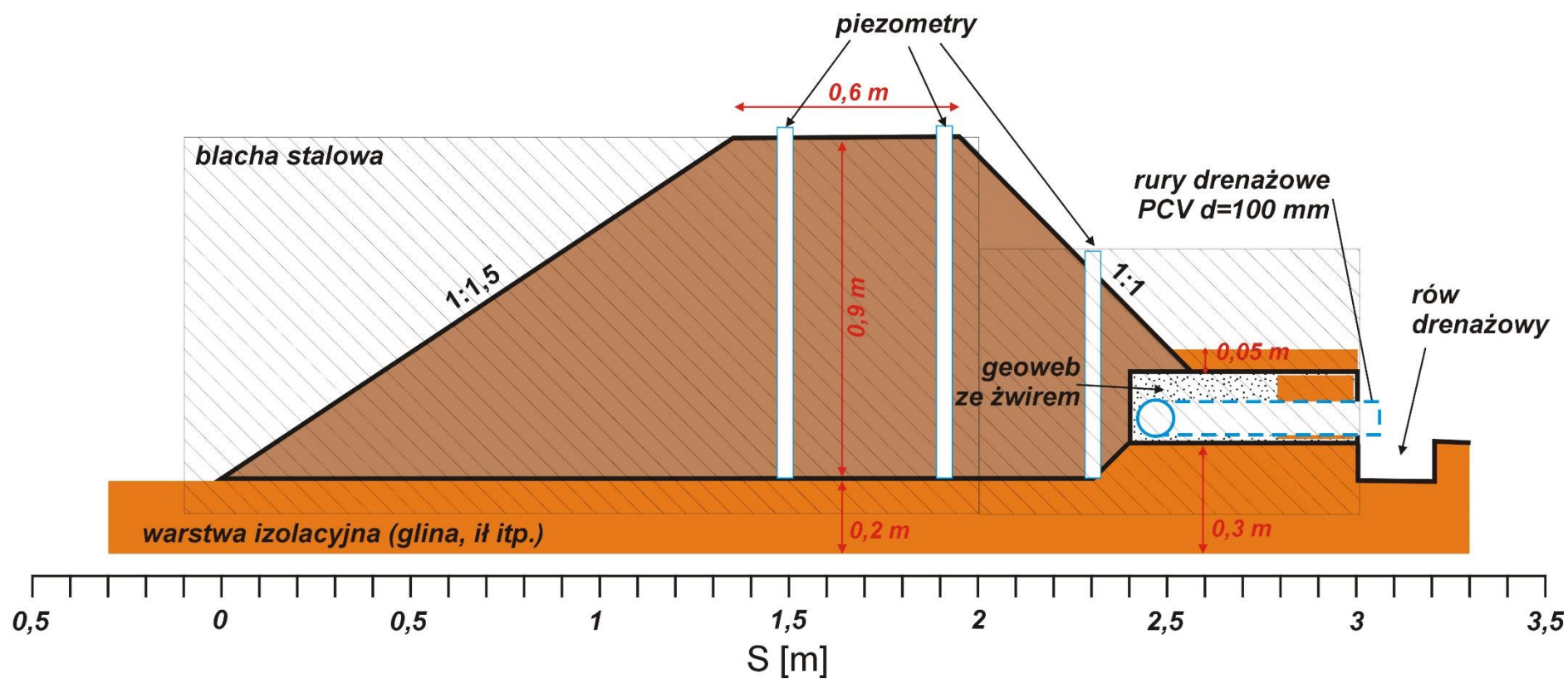


Fig. 2. Przekrój poprzeczny przez korpus przegrody eksperymentalnej

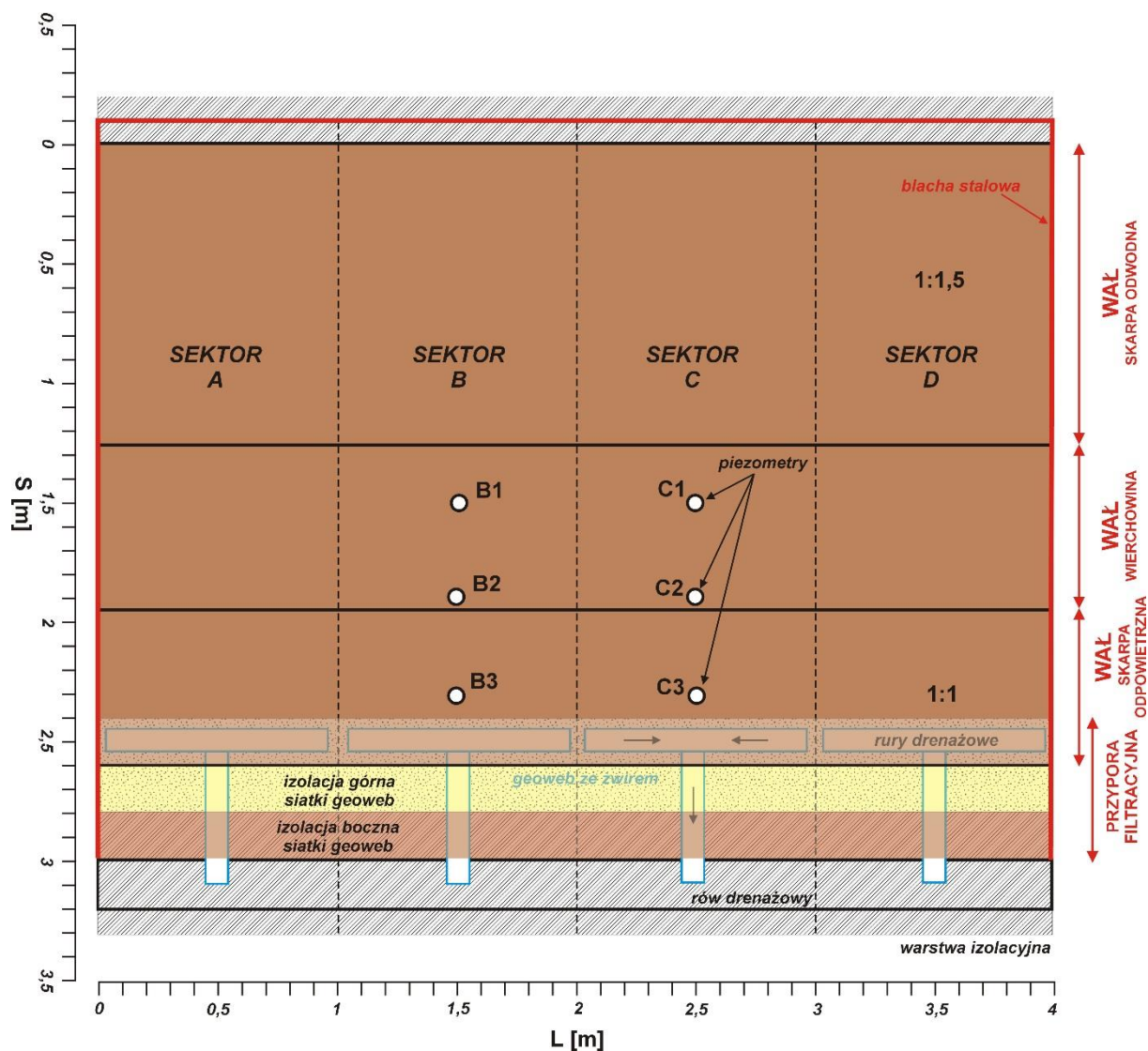


Fig. 3. Rzut pionowy instalacji badawczej – eksperymentalnej przegrody ziemnej

4. HARMONOGRAM BADAŃ

Planowany eksperyment podzielony został na etapy, różniące się charakterem dominujących robót i czynności:

Etap I – przygotowanie instalacji, obejmuje:

- 1) wybór i przygotowanie terenu pod budowlę,
- 2) wykonanie ekranu izolacyjnego na powierzchni ok. 5 m × 4,5 m (~23 m²), w postaci warstwy utworów o słabej przepuszczalności ($k < 1 \times 10^{-7}$ m/s), o miąższości około 0,1 - 0,2 m,
- 3) pobranie próbek i przeprowadzenie badań laboratoryjnych przegrody, celem weryfikacji spełniania warunków jw.
- 4) montaż koryta hydraulicznego z blachy stalowej $\pm 2,5 - 3$ mm, zakotwiczonej na głębokości 0,1 m w warstwie nieprzepuszczalnej o wymiarach ściany czołowej 4,0 × 1,0 m oraz ścian bocznych, złożonych z dwóch połączonych ze sobą segmentów 2,1 m × 1,0 m oraz 1,0 m × 0,7 m, w celu usztywnienia konstrukcji koryta możliwe jest wykonanie jednej lub dwóch poprzecznych belek wzmacniających,
- 5) ułożenie przypory filtracyjnej od strony odpowietrznej o wymiarach 0,6 × 4,0 × 0,2 m, w technologii systemu komórkowego typu GEOWEB z wypełnieniem narzutem grubożwirowym i kamiennym; zamontowanie w geosiatce drenów PVC lub PE $\Phi 80-100$ mm zaślepionych obustronnie, z wylotem pomiarowym $\Phi 50-100$ mm do rowu drenażowego,
- 6) wykonanie przegrody ziemnej z gruntu zagęszczanego warstwami grubości 0,1 m do $I_s=0,95$; $L=4,0$ m, $H=0,9$ m, $S_{pods.}=2,85$ m, $S_{korony.}=0,6$ m, nachylenie skarpy odwodnej 1:1,5, nachylenie skarpy odpowietrznej 1:1,5. Materiał konstrukcyjny: grunt klastyczny ziarnisty o $U>6$, zawartość frakcji $<0,063$ mm maksymalnie do 2%,
- 7) pobranie próbek, wykonanie badań wybudowanej struktury, w tym badań laboratoryjnych celem ustalenia warunków początkowych eksperymentu,
- 8) instalacja piezometrów obserwacyjnych o długości w granicach 0,6 - 1,0 m, w 2 przekrojach pomiarowych (łącznie 6 szt.),

- 9) montaż czujników do ciągłego pomiaru poziomu (ciśnienia) wody w piezometrach – spełniających parametry montażowe i dokładnościowe określone w załączniku do Projektu,
- 10) instalacja czujnika poziomu wody w korycie hydraulicznym celem weryfikacji utrzymania poziomu wody – o specyfikacji analogicznej jak czujniki poziomu do piezometrów.
- 11) Na potrzeby kalibracji czujników poziomu powinno zastosować się czujniki referencyjne o wyższej dokładności – jak w opisie specyfikacji w załączniku do Projektu.
- 12) montaż termometrów do pomiaru temperatury powietrza i wody.

Etap II – przygotowanie eksperymentu, obejmuje:

- 1) napełnienie koryta hydraulicznego wodą do wysokości 0,8 m od poziomu stopy przegrody tj. do poziomu -0,1 m od korony wału (ok. 2,5 m³), utrzymywanie stałego poziomu wody z zastosowaniem odpowiednich środków technicznych w zależności od wielkości ubytku wody wskutek przesączania się przez korpus ziemny,
- 2) obserwacje tempa nasycania korpusu przegrody wodą i stabilizacji warunków filtracji, wraz z uzupełnianiem wody (ok. 1-1,5 m³) w celu utrzymania stałego poziomu zwierciadła oraz wypływu wody z systemu drenażowego po stronie odpowietrznej.

Etap III – przeprowadzenie badań, obejmuje:

- 1) wbicie i usunięcie sond instalacyjnych w rozstawie 0,5 m w przekroju pomiarowym wzdłuż linii instalacji piezometrów w obrębie sektora pomiarowego B, w odległości 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m, 1,75 m oraz 2,25 m licząc od stopy przegrody po stronie odwodnej (początek układu odniesienia); do instalacji użyte zostaną sondy teownikowe o szerokości 30 mm wprowadzane w korpus przegrody z zastosowaniem standardowego młota udarowego; konstrukcja i moc młota udarowego powinna zapewniać wprowadzenie żerdzi sondy teownikowej na odpowiednią głębokość (0,6-1,0 m) w czasie nie dłuższym niż 5 sekund,

- 2) ciągła obserwacja parametrów procesu filtracji (ciśnienie wód, strumień wód filtrujących przez korpus przegrody, temperatura powietrza i wody) w przedziale czasowym nie krótszym niż 1-2 krotność czasu saturacji wału,
- 3) wbicie i usunięcie sond instalacyjnych w rozstawie 0,5 m w przekroju pomiarowym wzdłuż linii instalacji piezometrów w obrębie sektora pomiarowego C, w odległości 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m, 1,75 m oraz 2,25 m licząc od stopy przegrody po stronie odwodnej (początek układu odniesienia); do instalacji użyte zostaną sondy z żerdziami o przekroju okrągłym o średnicy 22 mm, wprowadzane w korpus przegrody z zastosowaniem standardowego młota udarowego; konstrukcja i moc młota udarowego powinna zapewniać wprowadzenie żerdzi sondy okrągłej na odpowiednią głębokość (0,6-1,0 m) w czasie nie dłuższym niż 15 sekund.
- 4) ciągła obserwacja parametrów procesu filtracji (ciśnienie wód, strumień wód filtrujących przez korpus przegrody, temperatura powietrza i wody) w przedziale czasowym nie krótszym niż 1-2 krotność czasu saturacji wału.

Etap IV – opracowanie wyników badań, obejmuje:

- 1) zebranie i analiza danych pomiarowych,
- 2) weryfikacja wyników badań na drodze modelowania numerycznego, w oparciu o specjalistyczne oprogramowanie,
- 3) opracowanie sprawozdania końcowego,
- 4) demontaż instalacji pomiarowej, zabezpieczenie materiałów możliwych do powtórnego wykorzystania.

Czasowy harmonogram realizacji poszczególnych etapów eksperymentu zależeć będzie głównie od czasu saturacji przegrody ziemnej, koniecznego do uzyskania ustalonych warunków filtracji wody przez jej korpus. Szacuje się, że osiągnięcie tego stanu może wymagać około 7-10 dni, stąd czas poświęcony na dwa etapy eksperymentu z wbijaniem i usuwaniem sond wyniesie około 20-30 dni. Większość zadań realizowana będzie w relatywnie krótkim czasie, niemniej jednak wymagają zakupów i przygotowania, co uwzględnione zostało w prezentowanym harmonogramie (Załącznik 1).



Jeżeli nie zajdą nieprzewidywane okoliczności, np. załamanie pogodowe, łącznie, wliczając czas niezbędny na zestawienie i analizę danych pomiarowych oraz opracowanie końcowe, na realizację zamierzonego eksperymentu powinno wystarczyć około 40-50 dni.

5. MATERIAŁ BADAWCZY I SPOSÓB JEGO DALSZEJ INTERPRETACJI

Badania realizowane z wykorzystaniem eksperymentalnego wału ziemnego będą prowadzone dla trzech etapów:

- 1) warunków saturacji przegrody ziemnej (filtracja nieustalona);
- 2) warunków początkowych filtracji ustalonej przez korpus przegrody;
- 3) warunków instalacji czujników w korpusie przegrody metodą sond wbijanych z zagęszczeniem co 0,5 m w obrębie sektora B (5 sond T-owych);
- 4) warunków instalacji czujników w korpusie przegrody metodą sond wbijanych z zagęszczeniem co 0,5 m w obrębie sektora C (5 sond o przekroju okrągłym).

W trakcie każdego z wymienionych etapów badawczych zbierane będą dane obejmujące:

- poziom zwierciadła wody w korpusie przegrody (ciśnienie wody), przy pomocy automatycznych rejestratorów z częstotliwością do 5 s oraz metodami klasycznymi poprzez sprawdzający pomiar świstawką jeden raz każdego dnia eksperymentu;
- wielkość przepływu wód przefiltrowywujących się przez poszczególne sektory A-D korpusu przegrody eksperymentalnej, mierzonego odpowiednio wycechowanymi naczyniami na wylotach z poszczególnych sektorów systemu drenażowego, rozmiar naczyń cechowanych powinien zostać uzależniony od ilości wód przesączających się przez korpus przegrody ziemnej .

Dane badawcze zostaną zgromadzone w formie elektronicznej w pliku stworzonym w standardowym arkuszu kalkulacyjnym. Analiza materiału badawczego związana będzie z identyfikacją potencjalnych zmian mierzonych parametrów stanowiących reprezentację procesu filtracji wody przez korpus przegrody ziemnej wywołanych wbijaniem sond, a następnie ich usuwaniem. Wyniki eksperymentu zostaną zweryfikowane na drodze modelowania numerycznego z zastosowaniem programu dającego możliwość symulacji filtracji wody przez utwory geologiczne, o zróżnicowanej litologii i zmiennych parametrach hydrogeologicznych.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

- 1) Projektowane badania mają na celu określenie wpływu instalacji czujników w korpusie ziemnego wału przeciwpowodziowego metodą sond wbijanych. Po zabudowie czujnika na żądanej głębokości następuje usunięcie przewodu (żerdzi) sondy.
- 2) Zadanie badawcze proponuje się rozwiązać na modelu fizycznym ziemnego wału przeciwpowodziowego w formie przegrody o przekroju trapezowym w skali 1:5. Wysokość przegrody wyniesie $H=0,9$ m, jej długość $L=4,0$ m zaś szerokość w koronie $S_{korony} = 0,6$ m a w podstawie $S_{podst.} = 2,85$ m. Nachylenie skarpy odwodnej ustalone zostało na 1:1,5, zaś skarpy odpowietrznej na 1:1.
- 3) Przegroda eksperymentalna zbudowana zostanie zgodnie z wymogami konstrukcyjnymi dla rzeczywistych budowli przeciwpowodziowych, poprzez odpowiednie zagęszczanie kolejno usypywanych warstw o miąższości 0,1 m, przy zapewnieniu stopnia zagęszczenia $I_D > 0,95$. Do budowy użyty zostanie materiał okruszowy o odpowiednich parametrach granulometrycznych ($U > 6$, f_{π} (0,063 mm) < 2%)
- 4) Przegroda eksperymentalna od strony odwodnej oraz równoległe do jej boków będzie zabudowana w korycie hydraulicznym z blachy stalowej ($d=2,5-3,0$ mm). W podłożu przegrody ziemnej zabudowana zostanie dodatkowo warstwa izolacyjna z utworów o niskiej przepuszczalności typu glin lub iłów ($k < 1 \times 10^{-7}$ m/s). U podnóża skarpy odpowietrznej zabudowana zostanie przypora filtracyjna dla skutecznego przejęcia wód filtrujących przez korpus przegrody wraz z systemem rur drenażowych.
- 5) Przegroda eksperymentalna została umownie podzielona na 4 sektory oznaczone kolejnymi literami A-D. Sektory są niezależnie od siebie drenowane przez odpowiednio wykonane systemy drenażowe, zbudowane z ułożonych poprzecznie w stosunku do kierunku przepływu rur drenażowych o długości około 1 m, które będą oddzielone od siebie i w będą miały niezależne odprowadzenie do rowu drenażowego.
- 6) Przegroda eksperymentalna w celu zbadania wpływu wbijania i usuwania sond z jej korpusu wyposażona zostanie w 6 piezometrów (o głębokości 0,6 – 1 m) w rurach z PCV lub PE o średnicy około 45-60 mm. Piezometry zostaną zabudowane wzdłuż linii

dzielących sektory B i C na połowę, prostopadłych do osi długości przegrody. Zostaną one umieszczone w odległości od stopy wału po stronie odwodnej (początek układu odniesienia) odpowiednio 1,5 m, 1,9 m oraz 2,3 m. W piezometrach zabudowane zostaną automatyczne rejestratory poziomu (ciśnienia) wody, zapewniające możliwość rejestracji mierzonego parametru z częstotliwością do 1 sekundy.

- 7) Eksperyment badawczy będzie polegał na obserwacji procesu filtracji wody przez przegrodę eksperymentalną z ciągłym pomiarem ciśnienia wody i wydatku odpływu wód z przesączających się przez korpus ziemny do poszczególnych sekcji systemu drenażowego w warunkach: 1) nasycania wału, 2) ustalonej filtracji oraz 3) wbijania i usuwania sond badawczych.
- 8) Dla odwzorowania różnych możliwych scenariuszy, z punktu widzenia przekrojów wbijanych sond w korpus badawczy, przyjęto dwa etapy eksperymentu. W pierwszym, wzdłuż linii lokalizacji piezometrów w sektorze B, wykonanych zostanie łącznie 5 sond o przekroju T-owym, w odległości 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m, 1,75 m oraz 2,25 m licząc od stopy przegrody po stronie odwodnej (początek układu odniesienia). W drugim etapie badań wzdłuż linii lokalizacji piezometrów w sektorze C, wykonanych zostanie łącznie także 5 sond, ale o przekroju okrągłym ϕ 22 mm, w odległości 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m, 1,75 m, oraz 2,25 m licząc od stopy przegrody po stronie odwodnej (początek układu odniesienia).
- 9) Dane badawcze z eksperymentu (ciśnienie wody w piezometrach oraz wydatki odpływu z sektorów systemu drenażowego) zostaną zgromadzone w bazie danych wykonanej przy użyciu standardowego arkusza kalkulacyjnego. Analiza materiału badawczego polegać będzie na identyfikacją potencjalnych zmian mierzonych parametrów z tytułu wbijania sond a następnie ich usuwania. Wyniki eksperymentu zostaną dodatkowo zweryfikowane na drodze modelowania numerycznego z zastosowaniem odpowiedniego oprogramowania.

7. WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- 1) GeoSLOPE, 2001 – SEEP/W for finite element seepage analysis. User's guide. Geo-Slope Office.
- 2) Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.XII.2013 r. *PIG-PIB, Warszawa*.
- 3) Kessler A., 2001 – „Zabezpieczenia przeciwpowodziowe wykonane w technologii komórkowego systemu ograniczającego Geoweb w aspekcie powodzi 2001 r.” *Ogólnopolskie Sympozjum Hydrotechnika IV'2001–Bezpieczeństwo przeciwpowodziowe w aspekcie zlewniowym i lokalnym- Międzybrodzie Żywieckie*.
- 4) Nowak F., 2001 – Dokumentacja geologiczna uproszczona złoża kruszywa naturalnego w kat. C₁ „Gruczyn”. *Archiwum Żwirownia nr 3 Zbigniew Szewczyk*.
- 5) Nowak F., 1996 – Dokumentacja geologiczna uproszczona złoża kruszywa naturalnego w kat. C₁ „Pod Kopcem”. *Archiwum Eksploatacja Żwiru s.c., Grabie*.
- 6) Nowak F., 1999 – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej uproszczonej złoża kruszywa naturalnego w kat. C₁ „Pod Kopcem”. *Archiwum Eksploatacja Żwiru s.c., Grabie*.
- 7) Myszka R., 2014 - Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej w kat. C₁ + C₂ złoża kruszywa naturalnego „Wola Batorska”. *Archiwum KZEK, Kraków*.
- 8) Nowak F., 2001 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża kruszywa naturalnego w kat. C₁ „Pod Kopcem”. *Archiwum Eksploatacja Żwiru s.c., Grabie*.
- 9) Rogoż M., 2007 – Dynamika wód podziemnych. Wyd. GIG, Katowice.

Spis rysunków

Fig. 1. Teoretyczny schemat filtracji wody przez korpus zapory ziemnej.....	6
Fig. 2. Przekrój poprzeczny przez korpus przegrody eksperymentalnej.....	11
Fig. 3. Rzut pionowy instalacji badawczej – eksperymentalnej przegrody ziemnej.....	12

Spis tabel

Tab. 1. Parametry techniczne piezometrów badawczych.....	9
--	---

Spis załączników

Załącznik 1. Harmonogram realizacji eksperymentu.

Załącznik 2. Specyfikacja techniczna automatycznych urządzeń pomiarowych na potrzeby monitorowania poziomu wody w zbiorniku i piezometrach