

Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą
wpływ robót na szczelność i stabilność wału
przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową
ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8, 246/9 obr. 1
jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid.
Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid.
Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie

Opracował:

mgr inż. Dariusz Szajowski
nr upr. VII – 1557, XI – 0145, XII - 0106

SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	3
1.1. Obiekt.....	3
1.2. Cel badań	3
1.3. Podstawa opracowania.....	3
2. Położenie i morfologia terenu.....	3
3. Zarys budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych.....	3
3.1. Budowa geologiczna.....	3
3.2. Warunki hydrogeologiczne.....	4
4. Zakres prac badawczych.....	4
5. Warunki geotechniczne.....	4
6. Analiza wpływu projektowanej inwestycji na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy.....	5
6.1. Ogólny opis inwestycji i zakres prac budowlanych.....	5
6.2. Podstawowe dane techniczne.....	5
6.3. Obliczenia stateczności wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy.....	7
6.3.1. Metodyka obliczeń.....	7
6.3.2. Wyniki obliczeń.....	7
6.4. Analiza ryzyka przebicia hydraulicznego	8
7. Wnioski.....	8

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

1. Mapa dokumentacyjna	skala 1 : 500
2.1 – 2.2. Karty otworów hydrogeologicznych	skala 1 : 50
3. Przekrój hydrogeologiczny	skala 1 : 50 / 150
4. Zestawienie charakterystycznych parametrów geotechnicznych	
5. Obliczenia stateczności wału przeciwpowodziowego	

1. Wstęp

1.1 Obiekt

Projektowane przedsięwzięcie polega na budowie ciągu pieszego o długości 53,40 m na działkach ew. nr 246/3, 246/8, 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie.

Zasięg inwestycji będący przedmiotem badań hydrogeologicznych obejmuje strefę do 50 m od stopy wałów. Lokalizację terenu badań obrazuje załącznik nr 1.

1.2 Cel badań

Celem badań jest rozpoznanie warunków gruntowo – wodnych w rejonie projektowanej budowy chodnika oraz określenie wpływu robót związanych z projektowaną inwestycją na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy na potrzeby wniosku o zwolnienie z zakazów wynikających z art. 176 ust.1, punkt 1 - 5 ustawy z dnia 20.07.2017 r. Prawo Wodne (Dz. U. z 2017 r., poz. 1566 z późn. zm.).

1.3 Podstawa opracowania

Podstawą opracowania są:

- wizja terenowa,
- wiercenia hydrogeologiczne,
- mapa sytuacyjno-wysokościowa w skali 1 : 500,
- ustawa z dnia 20.07.2017 r. Prawo Wodne (Dz. U. z 2017 r., poz. 1566 z późn. zm.).
- Polskie Normy,
- literatura i materiały archiwalne,
- dane z 5-letniej inwentaryzacji wałów przeciwpowodziowych rzeki Rudawy udostępnione przez Zarząd Zlewni, Nadzór Wodny w Krakowie (data wiercenia – 15.04.2015 r.).

2. Położenie i morfologia terenu

Teren wykonanych prac leży w północno-zachodniej części Krakowa, w granicach dzielnicy VI – Bronowice. Cały teren wykonanych prac zawiera się w granicach działek nr 191/1 (międzywale) i 246/9 (zawale). Teren badań stanowi otoczenie wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy, porośnięty jest roślinnością niską i licznymi drzewami.

Powierzchnia terenu w miejscu projektowanej inwestycji jest płaska, rzędna terenu w miejscu wykonania otworu nr 1 po stronie odpowietrznej wału wynosi 208,90 m npm, rzędna terenu w miejscu wykonania otworu nr 2 po stronie odwodnej wału wynosi 208,30 m npm.

Pod względem administracyjnym teren badań leży w granicach miasta Krakowa, w gminie Kraków, powiecie Kraków, województwie małopolskim.

W najbliższym otoczeniu terenu badań płynie Rudawa – lewy dopływ Wisły.

3. Zarys budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych

3.1 Budowa geologiczna

Pod względem geologicznym teren badań leży na terenie dużej jednostki geologicznej – strukturalnej jaką jest Zapadlisko Przedkarpackie.

Podłoże przedczwartorzędowe stanowią mioceńskie iły leżące na marglach górnokredowych i wapieniach jurajskich. Pokrywę czwartorzędową stanowią holocenne mady.

Budowę geologiczną w oparciu o wykonane prace terenowe przedstawiają karty otworów hydrogeologicznych (zał. nr 2.1 – 2.2) i przekrój hydrogeologiczny (zał. nr 3).

3.2 Warunki hydrogeologiczne

Do głębokości rozpoznania tj. do 3,0 m ppt w obu otworach hydrogeologicznych stwierdzono występowanie zwierciadła wód podziemnych o charakterze swobodnym na głębokości 2,0 m ppt (na rzędnej 206,90 m npm) w otworze nr 1 i 1,6 m ppt (na rzędnej 206,70 m npm) w otworze nr 2. Poziom zwierciadła wód podziemnych na terenie badań ulega okresowym wahaniom i może być wyższy po obfitych i długotrwałych opadach atmosferycznych lub w okresie topnienia pokrywy śnieżnej nawiązując do poziomu wody w Rudawie.

4. Zakres prac badawczych

Badania wykonano zgodnie z normami: PN-81/B-03020, PN-B-02479:1998, PN-86/B-02480, PN-B-02481:1998, PN-B-04452:2002 i PN-88/B-04481.

W ramach prac terenowych wykonano dwa otwory hydrogeologiczne do głębokości 3,0 m ppt – jeden po stronie odpowietrznej wału, drugi po stronie odwodnej. Ich lokalizację przedstawiono na mapie dokumentacyjnej w skali 1:500 stanowiącej zał. nr 1.

Wiercenia wykonano systemem obrotowym, przy pomocy świda ręcznego, okienkowego i rurowego o średnicy 40 - 70 mm. Wykonano opis makroskopowy przewierconych warstw określając ich rodzaj, wilgotność i barwę.

Oceny stopnia plastyczności dokonano na podstawie waleczkowania gruntu oraz badań penetrometrem tłoczkowym. Dokonano poboru prób gruntów do foliowych worków w celu weryfikacji badań makroskopowych w warunkach laboratoryjnych.

Otwory hydrogeologiczne zlikwidowano wydobytym urobkiem z zachowaniem następstwa warstw. Maksymalna miąższość warstwy ubijanego urobku nie przekraczała 0,5 m. Teren prac uporządkowano i doprowadzono do stanu pierwotnego.

5. Warunki geotechniczne

Warunki geotechniczne określono zgodnie z wytycznymi norm: PN-81/B-03020, PN-86/B-02480, PN-B-04452:2002.

Na podstawie otworów hydrogeologicznych stwierdzono, że teren badań pokryty jest warstwą gleby o miąższości 0,3 – 0,4 m. Niżej leżącymi osadami pokrywy czwartorzędowej na badanym terenie są grunty rodzime, mineralne, spoiste w postaci pyłów i glin, miejscami z częściami organicznymi oraz niespoiste w postaci piasków średnich, grubych i żwirów.

Poniżej warstwy gleby, do głębokości rozpoznania, wydzielono pięć warstwy geotechnicznych ujętych w dwa pakiety:

Pakiet I – czwartorzędowe grunty rodzime, mineralne, spoiste:

Warstwa I a – pył, w stanie twardoplastycznym, mało wilgotny, barwy szarej lub brązowo-szarej. Stwierdzony w obu otworach w zakresie głębokości kolejno: od 0,3 do 1,5 m ppt w otworze nr 1, od 0,4 do 1,0 m ppt w otworze nr 2. Wartość stopnia plastyczności dla warstwy wynosi $I_L^{(n)} \sim 0,10$.

Warstwa I b – glina, w stanie twardoplastycznym, mało wilgotna, barwy brązowej. Stwierdzona w otworze nr 1 w zakresie głębokości od 1,5 do 1,8 m ppt. Wartość stopnia plastyczności dla warstwy wynosi $I_L^{(n)} \sim 0,20$.

Warstwa I c – glina z częściami organicznymi, w stanie plastycznym, wilgotna, barwy brązowej. Stwierdzona w otworze nr 1 w zakresie głębokości od 1,8 do 2,0 m ppt. Wartość stopnia plastyczności dla warstwy wynosi $I_L^{(n)} \sim 0,30$.

Pakiet II – czwartorzędowe grunty rodzime, mineralne, niespoiste:

Warstwa II a – żwir z wkładkami gliny próchnicznej, żwir, w stanie średnio zagęszczonym, wilgotny lub nawodniony, barwy szaro-brązowej. Stwierdzony w otworze nr 2 w zakresie głębokości od 1,0 do 2,4 m ppt. Wartość stopnia zagęszczenia dla warstwy wynosi $I_D^{(n)} \sim 0,45$.

Warstwa II b – piasek średni, piasek gruby, w stanie średnio zagęszczonym, nawodniony, barwy szarej lub szaro-brązowej. Stwierdzony w obu otworach w zakresie głębokości kolejno: od 2,0 do 3,0 m ppt w otworze nr 1, od 2,4 do 3,0 m ppt w otworze nr 2. Wartość stopnia zagęszczenia dla warstwy wynosi $I_D^{(n)} \sim 0,45$.

Parametr wiodący warstw geotechnicznych gruntów spoistych – stopień plastyczności I_L ustalono metodą A w rozumieniu normy PN-81/B-03020. Parametr wiodący warstw geotechnicznych gruntów niespoistych – stopień zagęszczenia I_D ustalono metodą C.

Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8, 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie

Utwory pakietu geotechnicznego I zaliczono do gruntów słabo przepuszczalnych, grunty niespoiste (warstwy pakietu geotechnicznego II) zaliczono do gruntów dobrze przepuszczalnych (wodonośnych).

6. Wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego

6.1 Ogólny opis inwestycji i zakres prac budowlanych

Zakres projektu obejmuje budowę ciągu pieszego o długości 53,40 m i szerokości 2,50 m. Inwestycję zaprojektowano na działkach ewidencyjnych nr 246/3, 246/8, 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza. Wzdłuż projektowanego ciągu znajdować się będą obustronne pobocza o szerokości 0,25 m. Dowiązanie do ul. Brzegowej oraz wałów wzdłuż rzeki Rudawa odbywać się będzie poprzez łuki o promieniach 0,5m, 2,0m, 2,5m, 5,0m. W związku ze znacznymi różnicami poziomów posadowienia projektowanego ciągu pieszego oraz istniejącego terenu zostanie zastosowana betonowa palisada. Obramowanie ciągu stanowić będą obrzeża betonowe oraz palisada betonowa, a połączenie ciągu z ul. Brzegową zaprojektowano poprzez krawężnik betonowy. Na długości projektowanej palisady zastosowano bariery ochronne rurowo-prętowe U-11. W celu zabezpieczenia przed nieuprawnionym wjazdem na ciąg pieszy pojazdów zastosowane zostaną słupki blokujące ruchome U-12c. Istniejąca sieć przebiegająca pod projektowanym ciągiem zostanie zabezpieczona poprzez dwudzielne rury ochronne. W ramach inwestycji przewidziano również wycinkę 3 drzew. Trwałe połączenie projektowanego nasypu ciągu pieszego z istniejącym wałem wymagać będzie zebrania wierzchniej warstwy gruntu na skarpie wału po stronie odpowietrznej i uformowania schodków o wysokości około 25 cm.

6.2 Podstawowe dane techniczne

W związku ze znacznymi różnicami poziomów posadowienia projektowanego ciągu pieszego oraz istniejącego terenu zostanie zastosowana betonowa palisada o średnicy 20 cm o długościach 13,60 oraz 35,50 m. Na jej długości znajdować się będzie bariera ochronna rurowo-prętowa U-11a w kolorze biało-czerwonym. Nawierzchnia projektowanego ciągu pieszego zostanie wykonana w technologii nawierzchni wodoprzepuszczalnej TerraWay. Ciąg pieszy będzie obramowany betonowymi obrzeżami 8/30 oraz palisadą betonową. Obrzeże po północnej stronie projektowanego ciągu pieszego będzie wyniesione na 5 cm, pozostałe obrzeża będą obniżone na 0 cm. Krawężnik betonowy 15/30 na połączeniu ciągu z ul. Brzegową zostanie wyniesiony na 2 cm względem jezdni ul. Brzegowej. Dwudzielne rury ochronne z tworzywa sztucznego będą posiadały średnicę 160 mm. Wykop pod projektowany ciąg pieszy będzie posiadał długość ok. 33,65 m, głębokość w zakresie 0 - 46 cm i szerokość 2,50 m. Będzie on przebiegał od ul. Brzegowej w kierunku wału.

W obrębie wału zlokalizowana część ciągu pieszego, palisady betonowej, obrzeży betonowych oraz bariery ochronnej. Minimalna odległość wycinanej zieleni od stopu wału wynosi 4,40 m, poboczy 5,60 m, rur ochronnych 15,65 m, słupków blokujących 25,60 m, a krawężnika betonowego 25,20 m.

Zaprojektowano poniższe konstrukcje nawierzchni:

KONSTRUKCJA „N1”	
Zakres stosowania: ciąg pieszy	
— 3 cm	Warstwa ścieralna - nawierzchnia wodoprzepuszczalna TerraWay
— 20 cm	podbudowa zasadnicza z piasku stabilizowanego mechanicznie 0/2 mm
— 20 cm	podbudowa pomocnicza z kruszywa kamiennego łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5 mm(*)
— 0-60 cm	warstwa z kruszywa kamiennego łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/63 mm(*)
RAZEM 43-103 cm	

KONSTRUKCJA „N2”Zakres stosowania: **ciąg piesz**

- **3 cm** Warstwa ścieralna - nawierzchnia wodoprzepuszczalna TerraWay
- **20 cm** podbudowa zasadnicza z piasku stabilizowanego mechanicznie 0/2 mm
- **20 cm** podbudowa pomocnicza z kruszywa kamiennego łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5 mm(*)

RAZEM 43 cm**KONSTRUKCJA "N3"**Zakres stosowania: **pobocze**

- **15 cm** wysiewka kamienna

RAZEM 15 cm

(*) - grubość warstwy zmienna w zależności od wysokości nasypu. W przypadku warstwy o grubości większej od 20 cm należy zagęszczać kruszywo warstwami o grubości max. 20 cm. Ostatecznie przyjęte konstrukcje nawierzchni zestawiono na załączniku nr 2. Przekrój podłużny przedstawiono na zał. nr 3.

Zeschodkowanie zostanie wykonane sprzętem ręcznym z zachowaniem ostrożności i wytycznych projektowych, tak, aby uniknąć nadmiernego wcinania się w korpus wału. Należy unikać rozluźniania gruntu budującego korpus wału. W celu wyrównania osiadań i spójnego połączenia istniejącego wału przeciwpowodziowego z nowoprojektowanym nasypem ciągu pieszego należy zastosować zbrojenie nasypu w postaci tkaniny geosyntetycznej układanej na styku istniejącego wału i nowego nasypu. Zastosowanie zbrojenia zabezpieczy przed wystąpieniem poślizgu po „starej” powierzchni skarpy.

Projektuje się podbudowę zasadniczą z piasku stabilizowanego mechanicznie frakcji 0-2 mm oraz podbudowę pomocniczą z kruszywa kamiennego łamanego stabilizowanego mechanicznie frakcji 0-63 mm. Grubość tych warstw wyniesie 0,2 m każda. Dodatkowo na odcinku nasypu projektuje się wykonanie warstwy nasypowej z kruszywa kamiennego łamanego stabilizowanego mechanicznie frakcji 0-63 mm. Grubość tej warstwy nie przekroczy 0,6 m. Nawierzchnię stanowić będzie nawierzchnia wodoprzepuszczalna typu TerraWay. W rejonie połączenia korpusu wału z nasypem nowej rampy grunt zostanie zazbrojony tkaniną geosyntetyczną układaną co 30 cm.

Roboty ziemne polegać będą na wykonaniu nasypu, bądź wykopu dla ciągu pieszego. Po wykonaniu wykopu, zdjęciu warstw humusu, wykonaniu schodkowania wału oraz wycince kolidującej zieleni należy wykonać profilowanie koryta, kolejno należy zabezpieczyć istniejące sieci uzbrojenia terenu, a następnie ustawić krawężniki, obrzeża, palisady i bariery ochronne, po czym należy ułożyć warstwy nawierzchni zgodnie z projektowanymi konstrukcjami oraz wykonać pobocza. Po wykonaniu nawierzchni należy zamocować słupki blokujące ruchome poprzez kotwy do nawierzchni.

Środki techniczne i organizacyjne zapobiegające niebezpieczeństwom wynikającym z wykonania robót w strefie pasa drogowego, powinny być szczególnie przestrzegane. W miejscach przebiegu infrastruktury podziemnej należy szczególnie przestrzegać względów bezpieczeństwa, a ewentualne prace przy uzbrojeniu inżynierskim należy prowadzić zgodnie z wydanymi przez ich właścicieli warunkami. Przebiegające pod projektowaną konstrukcją nawierzchni ciągu pieszego sieci powinny być zabezpieczone rurami osłonowymi.

Wymagane jest aby przed przystąpieniem do wykonywania robót pracownicy zostali przeszkoleni w zakresie BHP.

Wykonawca zobowiązany jest do opracowania we własnym zakresie następujących opracowań roboczych:

- inwentaryzacja istniejących urządzeń obcych i znaków geodezyjnych mogących kolidować z projektowanym ciągiem pieszym
- istniejące sieci uzbrojenia podziemnego należy zabezpieczyć rurami osłonowymi dwudzielnymi.

Roboty ziemne będą prowadzone z dużą starannością. Nie wolno dopuścić do nawodnienia dna wykopów, tak wodami opadowymi, jak i z ewentualnych sączów. Wykopy będą wykonywane sprzętem mechanicznym oraz ręcznie zgodnie z BN-83/8836-02 oraz BN-83/9936-02. Prace będą prowadzone przy bezopadowej pogodzie. Wykopy zostaną zabezpieczone przed wpływem wody opadowej oraz wody podziemnej. Na ostatnich 30 cm roboty ziemne zostaną wykonane ręcznie. Nie dopuszcza się prowadzenia robót ziemnych podczas trwania opadów atmosferycznych. Teren robót zostanie odpowiednio oznakowany i zabezpieczony. Prace przy budowie ciągu pieszego będą prowadzone

w wykopie suchym, odwodnionym. W czasie wykonywania robót ziemnych należy zachować szczególną ostrożność, aby nie uszkodzić istniejącego uzbrojenia podziemnego. W miejscach przewidzianych kolizji prace ziemne będą wykonywane ręcznie.

Do wykonania podsypki i wypełnienia wykopu zastosowany będzie materiał zagęszczany warstwami o grubości maksymalnej 20 cm do uzyskania wskaźnika zagęszczenia $I_s \geq 0,95$.

Wykopy wykonane pod projektowany ciąg pieszy o maksymalnej głębokości 0,4 m nie osiągną głębokości, na której stwierdzono grunty niespoiste. Grunty te, po odpowietrznej stronie wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy stwierdzono do głębokości 2,0 m ppt. Zwierciadło wód podziemnych stwierdzono około 1,6 m poniżej projektowanego dna wykopów – na rzędnej 206,90 m npm. Sugeruje się wykonywanie wykopów w okresie niskich stanów wód podziemnych, odcinkami o niewielkiej długości, oraz niezwłoczne ich zasypywanie.

6.3 Obliczenia stateczności wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy

6.3.1. Metodyka obliczeń

Do obliczeń zastosowano program FLAC/SLOPE. Program przeprowadza obliczenia metodą różnic skończonych. Interpretowana powierzchnia poślizgu jest strefą maksymalnych odkształceń postaciowych. Możliwy jest do uzyskania dowolny kształt powierzchni poślizgu wynikający z rozkładu naprężeń w ośrodku gruntowym. Uważa się, że jest to metoda dokładniejsza od metod równowagi granicznej (met. Felleniusa, Bishopa itp.). Wyniki uzyskiwane programem FLAC/SLOPE dają bardziej wiarygodny obraz procesu utraty stateczności. Program pozwala ponadto na zamodelowanie dowolnej morfologii, skomplikowanych warunków gruntowych oraz elementów konstrukcyjnych (kotwy, gwoździe gruntowe, geosyntetyki).

Wynikiem obliczeń jest współczynnik stateczności (bezpieczeństwa) skarpy FoS (Factor of Safety). Wystąpienie utraty stateczności zbocza (skarpy) należy uznać za:

- ▲ bardzo mało prawdopodobne, gdy $FoS > 1,5$;
- ▲ mało prawdopodobne, gdy $1,3 < Fos < 1,5$;
- ▲ prawdopodobne, gdy $1,0 < Fos < 1,3$;
- ▲ bardzo prawdopodobne, gdy $FoS < 1,0$.

Obliczenia przeprowadzono dla 1 przekroju zgodnego z przekrojem hydrogeologicznym 1- 2.

Obliczenia wykonano w III podstawowych wariantach:

- ▲ wariant I – stan obecny,
- ▲ wariant II – etap realizacji – wykonanie schodkowania wału i korytowania gruntu (odhumusowania) pod ścieżkę po odpowietrznej stronie wału,
- ▲ wariant III – etap eksploatacji – po zasypaniu wykopów i wykonaniu ścieżki.

Dla każdego z wariantów przyjęto obciążenie wystąpieniem wód powodziowych $Q_{1\%}$.

Dla określenia budowy wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy przyjęto dane uzyskane z 5-letniej inwentaryzacji wałów przeciwpowodziowych udostępnione przez Zarząd Zlewni, Nadzór Wodny w Krakowie. Przyjęto za kartą otworu P26/S09K że wał zbudowany jest z gruntów średnio spoistych (głina piaszczysta) w stanie plastycznym, przykrytych warstwą gleby o miąższości 0,1 m.

6.3.2. Wyniki obliczeń

Wyniki uzyskanych obliczeń prezentuje zestawienie poniżej:

Nr wariantu	Wartość współczynnika stateczności	Ocena stateczności
I	FoS = 2,69	Stateczny z dużym zapasem
II	FoS = 2,63	Stateczny z dużym zapasem
III	FoS = 2,41	Stateczny z dużym zapasem

Obliczenia dla wariantu I (stan obecny) wskazują, że wał jest stateczny z dużym zapasem ($FoS=2,69$). Potencjalna powierzchnia poślizgu obejmuje odpowietrzoną część wału. Wykonanie schodkowania wału i korytowania gruntu pod budowę ścieżki powoduje nieznaczne obniżenie wartości współczynnika stateczności. Wał pozostaje stateczny z dużym zapasem.

Na etapie eksploatacji najniższą wartość współczynnika stateczności ($FoS=2,41$) uzyskano dla fragmentu ścieżki przy betonowej palisadzie. Ewentualna utrata stateczności w tym wariantie związana jest wyłącznie z parciem gruntu na murek oporowy. Potencjalna powierzchnia poślizgu obejmuje niewielki fragment ścieżki przylegający do murka oporowego i nie sięga konstrukcji wału.

Konstrukcja wału i ścieżki pozostaje stateczna z dużym zapasem. Warto dodać, że konstrukcja ścieżki stanowi przyporę do wału zwiększając jego stateczność.

Wyniki obliczeń wskazują, że projektowana inwestycja nie będzie miała negatywnego wpływu na stateczność wału.

Wyniki obliczeń przedstawia zał. nr 5.

6.4 Ocena ryzyka wystąpienia przebicia hydraulicznego wód powodziowych z międzywala

Na etapie realizacji inwestycji, a także podczas jej eksploatacji nie będzie zagrożenia przebicciem hydraulicznym ponieważ wykopy ograniczone będą praktycznie do warstwy gleby, nie zmniejszy się więc miąższość warstwy izolacyjnej.

Murki oporowe ograniczające ścieżkę będą częściowo zagłębione w konstrukcję wału. Kontakt konstrukcji betonowej i gruntu może stanowić uprzywilejowaną drogę filtracji dla wody powodując ryzyko wystąpienia przebicia hydraulicznego, lub szybkiej filtracji wody i uruchomienia procesów sufozyjnych. Zatem przy założeniu, że połączenie beton/grunt nie zapewnia szczelności po wykonaniu murków, dla ekstremalnie niekorzystnych warunków tj. międzywala całkowicie wypełnionego wodą:

- spadek hydrauliczny wyniesie: $i = 1,17$
- prędkość filtracji wyniesie: 1,01 m/d (przy założeniu współczynnika filtracji $k=10^{-5}$ m/s)
- rzeczywista prędkość przesączania wyniesie: 0,30 m/d (przy założeniu porowatości $n=30\%$)
- czas przesączania wody przez wał: 10 dni.
- prędkość krytyczna filtracji inicjująca procesy sufozji: 18,21 m/d.

Z powyższych obliczeń wynika, że nie wystąpi ryzyko przesączania ani przebicia hydraulicznego wód z międzywala. Czas przesączania wody przez wał wynosi 10 dni. Nie spotyka się tak długo utrzymujących się wód powodziowych. Prędkość filtracji wody będzie znacznie niższa od prędkości krytycznej, nie dojdzie więc do procesów sufozyjnych.

7. Zalecenia i wnioski

- Do głębokości rozpoznania, pod warstwą gleby o miąższości 0,3 – 0,4 m stwierdzono występowanie holocenów mad wykształconych jako grunty rodzime, mineralne, spójne w postaci pyłów, glin i glin z częściami organicznymi oraz niespoistych w postaci piasków średnich, piasków grubych i żwirów.
- Stopień plastyczności gruntów spójnych (pakiet warstw geotechnicznych I) w podłożu badanego terenu jest mało zróżnicowany i waha się w granicach $0,10 \leq I_L \leq 0,30$.
- Stopień zagęszczenia gruntów niespoistych (pakiet warstw geotechnicznych II) w podłożu badanego terenu wynosi $I_D=0,45$.
- Po stronie odpowietrznej wału, na głębokości 2,0 m ppt (na rzędnej 206,90 m npm), a po stronie odwodnej na głębokości 1,6 m ppt (na rzędnej 206,70 m npm) stwierdzono występowanie zwierciadła wód podziemnych o charakterze swobodnym. Poziom zwierciadła wód podziemnych w rejonie badań ulega okresowym wahaniom i może być wyższy po obfitych i długotrwałych opadach atmosferycznych lub w okresie topnienia pokrywy śnieżnej, nawiązując do poziomu wody w rzece Rudawie.
- W zakładanym poziomie posadowienia ciągu pieszego stwierdzono grunty spójne (warstwa pyłów twardoplastycznych).
- Wykopy wykonane pod projektowany ciąg pieszy nie osiągną głębokości, na której stwierdzono grunty niespoiste. Grunty te, po odpowietrznej stronie wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy stwierdzono do głębokości 2,0 m ppt. Zwierciadło wód podziemnych stwierdzono około 1,6 m poniżej projektowanego dna wykopów.
- Sugeruje się wykonywanie wykopów w okresie niskich stanów wód podziemnych, odcinkami o niewielkiej długości oraz niezwłoczne ich zasypywanie.
- Nie stwierdzono niekorzystnych zjawisk i procesów destabilizujących podłoże gruntowe.
- Należy ściśle przestrzegać projektowanych rzędnych dna wykopów.
















- Powstałe wykopy po wykonaniu niezbędnych prac ziemnych należy starannie zasypać materiałem miejscowym lub innym materiałem spoistym słabo- lub nieprzepuszczalnym z ubiciem warstwami o miąższości nie przekraczającej 30 cm w celu niedopuszczenia do możliwości powstania uprzywilejowanej drogi filtracji w okresie wysokiego stanu wody rzeki Rudawy.
- W fazie wykonywania zasypów należy ściśle przestrzegać minimalnej wartości wskaźnika zagęszczenia materiału zasypowego $I_s > 0,95$. Szczególnie starannie należy dogęścić grunt na styku z projektowaną palisadą betonową. W miejscach tych wskaźnik zagęszczenia materiału zasypowego osiągnie wartość $I_s \geq 0,97$.
- Obliczenia stateczności wału przeciwpowodziowego dla wariantu I (stan obecny) wskazują, że wał jest stateczny z dużym zapasem ($FoS=2,69$). Potencjalna powierzchnia poślizgu obejmuje odpowietrzoną część wału. Wykonanie schodkowania wału i korytowania gruntu pod budowę ścieżki powoduje nieznaczne obniżenie wartości współczynnika stateczności. Wał pozostaje stateczny z dużym zapasem.
- Na etapie eksploatacji najniższą wartość współczynnika stateczności ($FoS=2,41$) uzyskano dla fragmentu ścieżki przy betonowej palisadzie. Ewentualna utrata stateczności w tym wariancie związana jest wyłącznie z parciem gruntu na murek oporowy. Potencjalna powierzchnia poślizgu obejmuje niewielki fragment ścieżki przylegający do murka oporowego i nie sięga konstrukcji wału. Konstrukcja wału i ścieżki pozostaje stateczna z dużym zapasem. Konstrukcja ścieżki stanowi przyporę do wału zwiększając jego stateczność.
- Wyniki obliczeń wskazują, że projektowana inwestycja praktycznie nie będzie miała żadnego wpływu na stateczność wału.
- Na etapie realizacji inwestycji, a także podczas jej eksploatacji nie będzie zagrożenia przebiciem hydraulicznym ponieważ wykopy ograniczone będą praktycznie do warstwy gleby, nie zmniejszy się więc miąższość warstwy izolacyjnej.
- Nie wystąpi ryzyko przesączania ani przebicia hydraulicznego wód z międzywału. Czas przesączania wody przez wał wynosi 10 dni. Nie spotyka się tak długo utrzymujących się wód powodziowych. Prędkość filtracji wody będzie znacznie niższa od prędkości krytycznej, nie dojdzie więc do procesów sufozyjnych.
- **Przy zachowaniu odpowiednich, wymienionych wyżej środków bezpieczeństwa roboty polegające na budowie ciągu pieszego przy ul. Brzegowej w Krakowie w rejonie wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy nie będą miały negatywnego wpływu na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego przy wystąpieniu wód powodziowych $Q_{0,5\%}$ i $Q_{1\%}$ w trakcie realizacji zamierzenia inwestycyjnego, a także w okresie jego eksploatacji.**

1 Lokalizacja i numer
otworu hydrogeologicznego

Skala: 1 : 500

Nr zał.: 1



- | | | | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|---|---|
|  | - zakres 50-metrowej ochronnej wału |  | - projektowane obrzeże betonowe obniżone na $\pm 0\text{cm}$ |  | - projektowana barierka U-11a |  | - drzewa nie istniejące w terenie |
|  | - wał przeciwpowodziowy rzeki Rudawy |  | - projektowane obrzeże betonowe wyniesione na $+5\text{cm}$ |  | - projektowane rury dwudzielne osłonowe |  | - projektowana nawierzchnia ciągu pieszego - TerraWay |
|  | - oś projektowanego ciągu pieszego |  | - krawędź projektowanego pobocza |  | - projektowane słupki blokujące U-12c |  | - projektowane pobocze |
|  | - projektowany krawężnik betonowy wyniesiony na $+2\text{cm}$ |  | - projektowana palisada |  | - drzewa do wycinki | | |

Podziałka [m ppt]	Zwierciadło wody	Stratygrafia	Profil litologiczny	Głębokość [m]	Miaższość [m]	Opis litologiczny	Symbol gruntu	Wilgotność	Stan gruntu	Nr warstwy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0										
				0,3	0,3	Gleba	Gb	-	-	-
1					1,2	Pył, szary	II	mw	tpl	I a
				1,5						
				1,8	0,3	Gлина, brązowa	G	mw	tpl	I b
2	2,0			2,0	0,2	Gлина z częściami organicznymi, brunatna	G+H	w	pl	I c
					1,0	Piasek średni, szaro-brązowy	Ps	nw	szg	II b
3										
4										
5										
6										
7										

Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8 i 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie

Karta otworu hydrogeologicznego nr 1

Rzędna: 208,90 m npm

Skala: 1 : 50

Data: lipiec 2018

Opracował: mgr inż. Dariusz Szajowski

Nr zał.: 2.1

Podziałka [m ppt]	Zwierciadło wody	Stratygrafia	Profil litologiczny	Głębokość [m]	Miaższność [m]	Opis litologiczny	Symbol gruntu	Wilgotność	Stan gruntu	Nr warstwy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		Czwartorzęd		0,4	0,4	Gleba	Gb	-	-	-
				0,6	0,6	Pył, brązowo-szary	II	mw	tpl	I a
1				1,0	0,6	Żwir z wkładkami gliny próchnicznej, szaro-brązowy	Ż//GH	w	szg	II a
				1,6	0,8	Żwir, szaro-brązowy	Ż	nw	szg	II a
2				2,4	0,6	Piasek gruby, szaro-brązowy	Pr	nw	szg	II b
3				3,0						
4										
5										
6										
7										

Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8 i 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie

Karta otworu hydrogeologicznego nr 2

Rzędna: 208,30 m npm

Skala: 1 : 50

Data: lipiec 2018

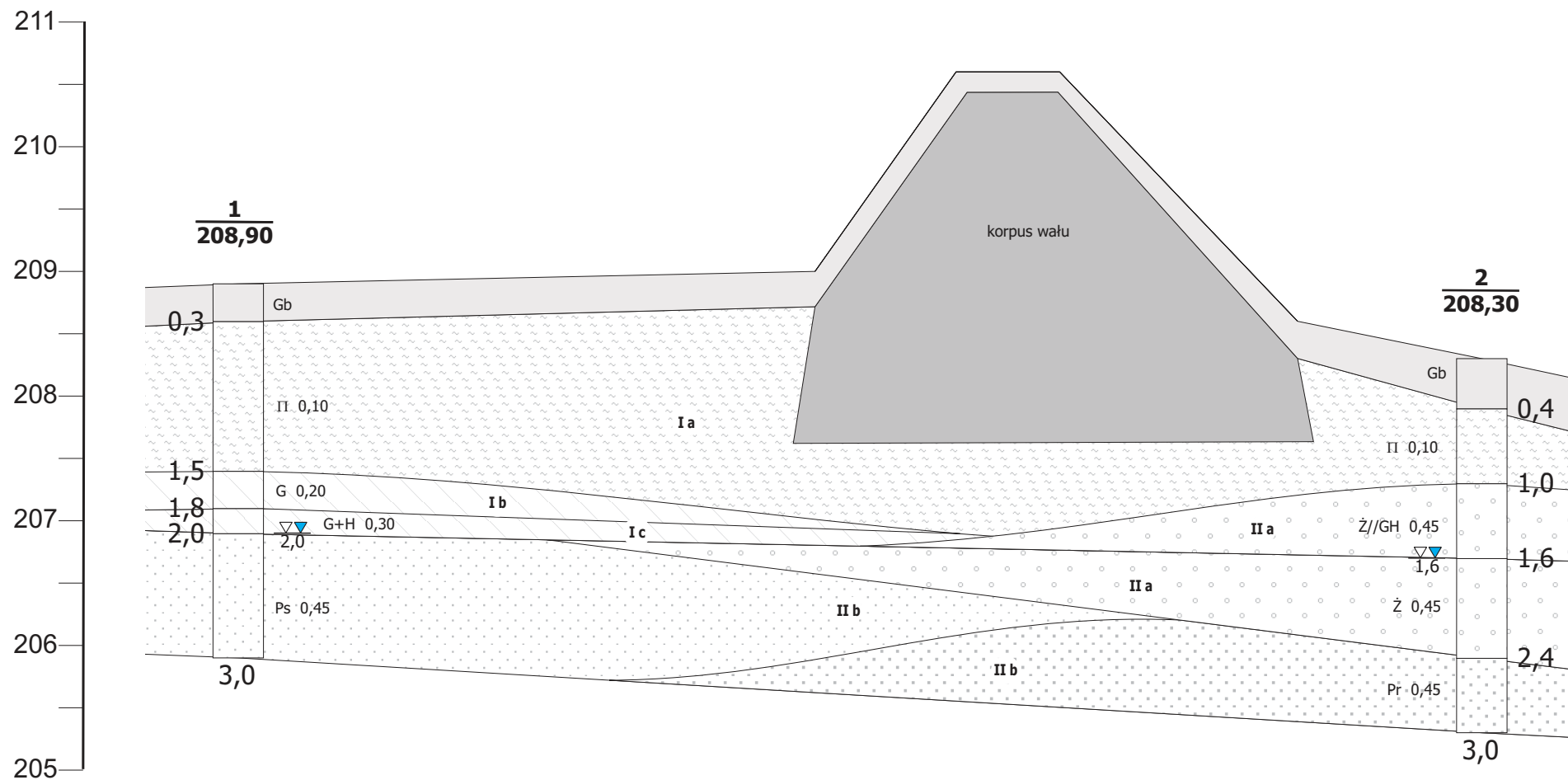
Opracował: mgr inż. Dariusz Szajowski

Nr zał.: 2.2

m npm

NE

SW



Gb -gleba
 II -pył
 G -głina
 GH -części organiczne
 Ps -głina próchniczna
 Pr -piasek średni
 Z -piasek gruby
 + -żwir
 // -domieszki
 // -przewarstwienia

1
208,90 -numer otworu hydrogeologicznego
 -rzędna [m npm]
 0,20 -stopień plastyczności I_L / stopień zagęszczenia I_D
I a -symbol warstwy geotechnicznej
 ▽ ▽ 1,6 -poziom zwierciadła wód podziemnych [m ppt]

Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8 i 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie

Przekrój hydrogeologiczny 1 - 2

Skala pozioma: 1 : 150

Skala pionowa: 1 : 50

Data: lipiec 2018

Opracował: mgr inż. Dariusz Szajowski

Nr zał.: 3

<p>Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8 i 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie</p>		
<p>Zestawienie charakterystycznych parametrów geotechnicznych</p>		
Data: lipiec 2018	Opracował: mgr inż. Dariusz Szajowski	Nr zał.: 4

Badania hydrogeologiczne wraz z opinią uwzględniającą wpływ robót na szczelność i stabilność wału przeciwpowodziowego rzeki Rudawy w związku z budową ciągu pieszego na działkach nr 246/3, 246/8 i 246/9 obr. 1 jedn. ewid. Krowodrza, dz. nr 191/1 obr. 7 jedn. ewid. Krowodrza oraz dz. nr 328/2, 342 obr. 48 jedn. ewid. Krowodrza przy ul. Brzegowej w Krakowie

Obliczenia stateczności wału przeciwpowodziowego

Data: lipiec 2018

Opracował: mgr inż. Dariusz Szajowski

Nr zał.: 5

Symbol warstwy geotechnicznej	Rodzaj gruntu	Symbol gruntu	Stan gruntu	Gęstość objętościowa $\rho^{(n)}$ [g/cm ³]	Stopień zagęszczenia $I_D^{(n)}$ [-]	Stopień plastyczności $I_L^{(n)}$ [-]	Kohezja $C_u^{(n)}$ [kPa]	Kąt tarcia wewnętrz- nego $\phi_u^{(n)}$ [°]	Moduł pierwotnego odkształcenia $E_0^{(n)}$ [MPa]	Edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej $M_0^{(n)}$ [MPa]
I a	Pył	Π	tpl	2,05	-	0,10	22,1	16,4	26,0	37,2
I b	Gлина	G	tpl	2,15	-	0,20	16,9	14,8	20,6	29,4
I c	Gлина z częściami organicznymi	G+H	pl	2,00	-	0,30	13,3	13,2	16,5	23,6
II a	Żwir z wkładkami gliny próchnicznej, żwir	Ž//GH, Ž	szg	2,00	0,45	-	-	38,1	128,7	143,0
II b	Piasek średni, piasek gruby	Ps , Pr	szg	2,00	0,45	-	-	32,7	73,2	86,7

JOB TITLE : Kąkolę ul. Bzeczowa - stan obecny

[10%]

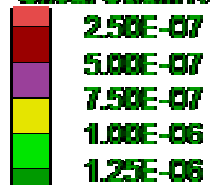
FLAC/SLOPE (Version 6.00)

LEGEND

24-Oct-18 12:33

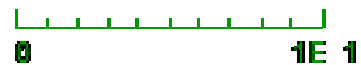
Factor of Safety 2.69

Shear Strain Rate Contours



Contour interval= $2.50E-07$
(zero contour omitted)

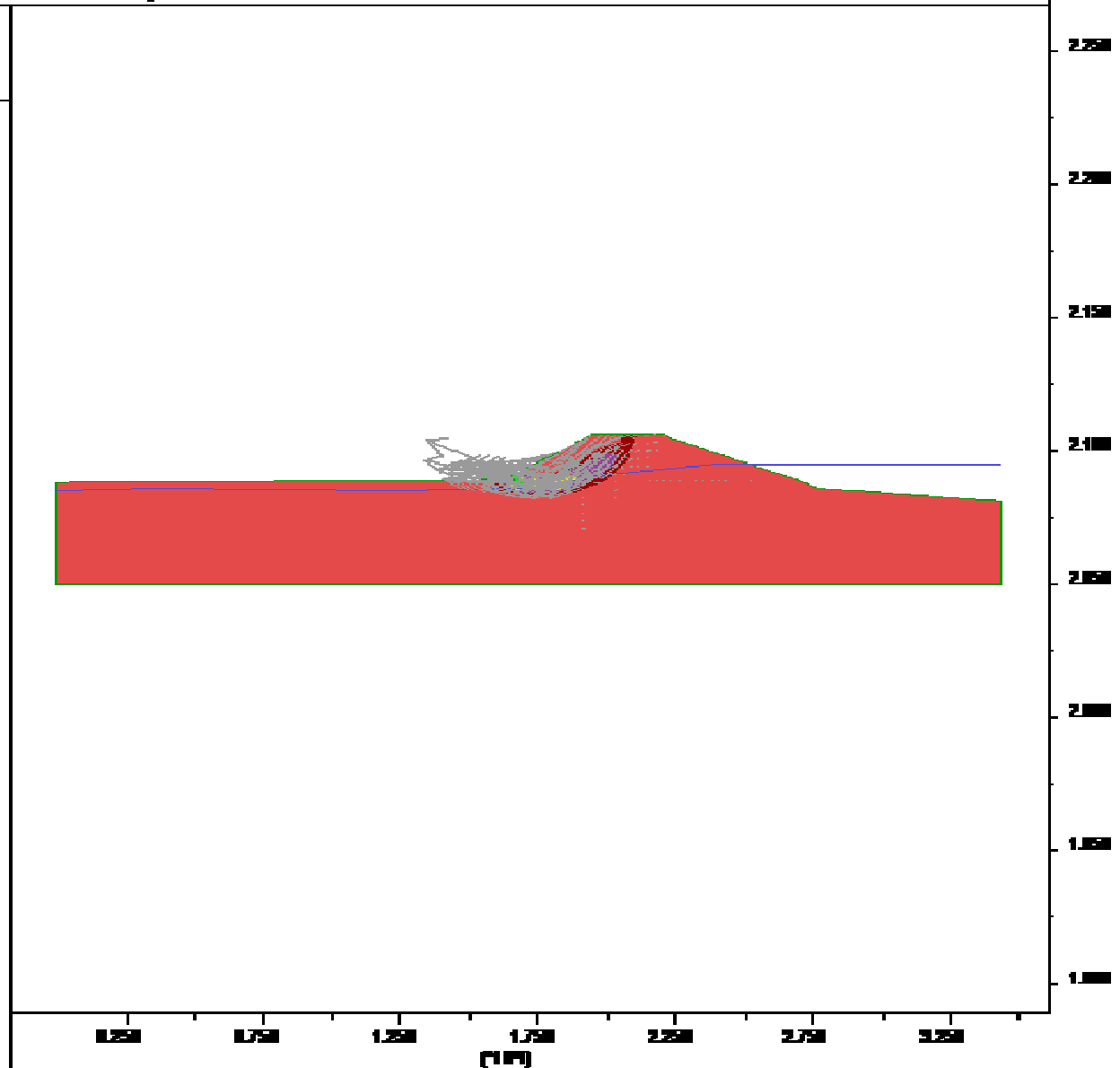
Boundary plot



Water Table

Velocity vectors

max vector = $1.263E-06$



JOB TITLE : Kaskow, ul. Bzeczowa - etap budowy

[10%]

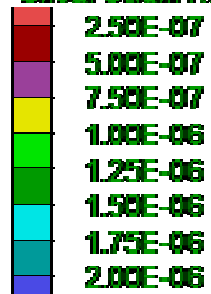
FLAC/SLOPE (Version 6.00)

LEGEND

24-Oct-18 12:48

Factor of Safety 2.63

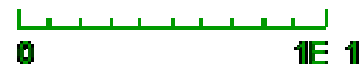
Shear Strain Rate Contours



Contour interval= 2.50E-07

(zero contour omitted)

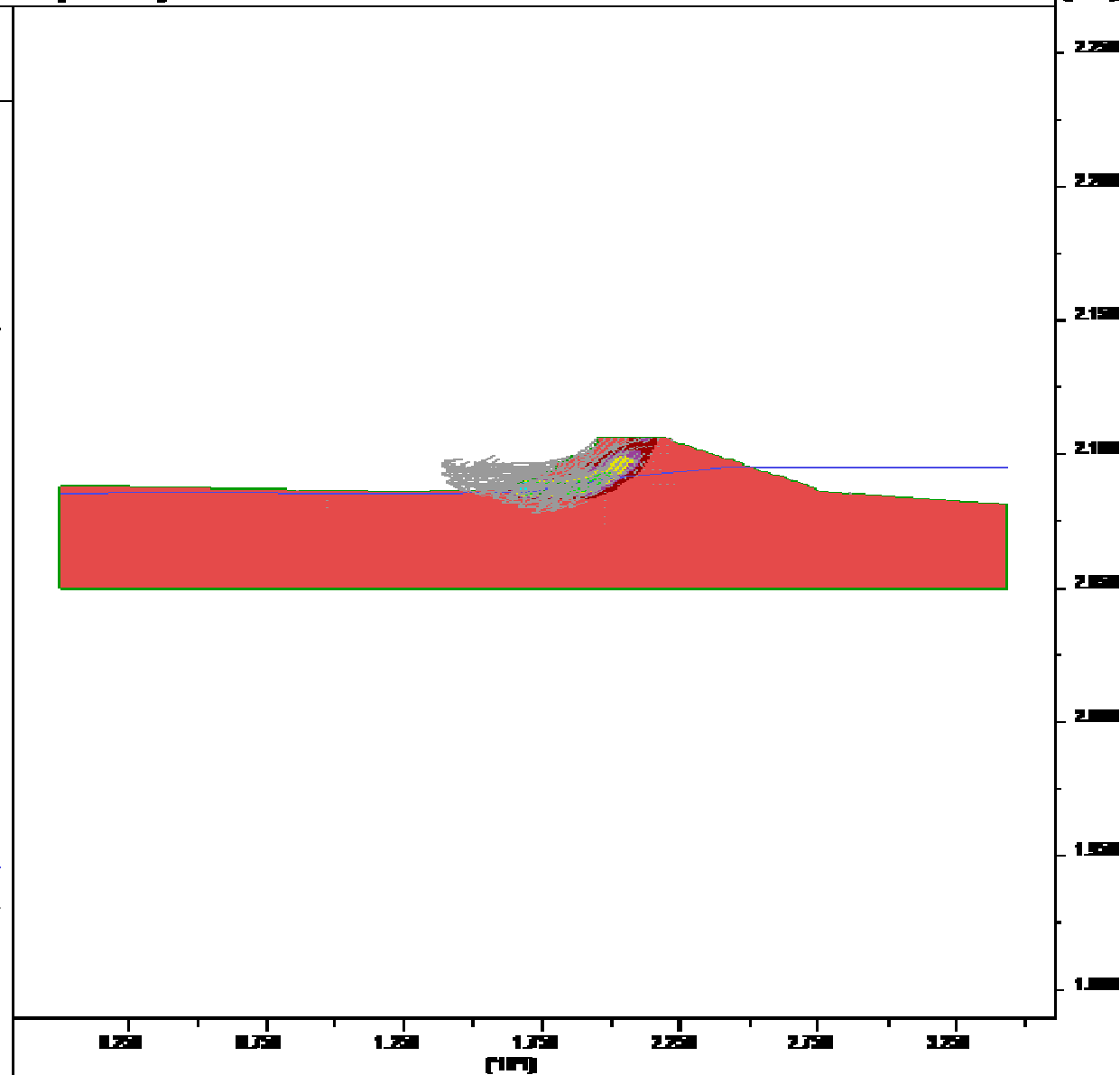
Boundary plot



Water Table

Velocity vectors

max vector = 1.640E-06



JOB TITLE : Kiahw ul. Buzegowa - etap eksploatacji

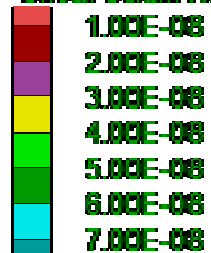
FLAC/SLOPE (Version 6.00)

LEGEND

24-Oct-18 12:56

Factor of Safety 2.41

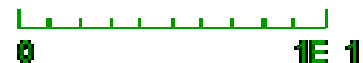
Shear Strain Rate Contours



Contour interval= 1.00E-08

(zero contour omitted)

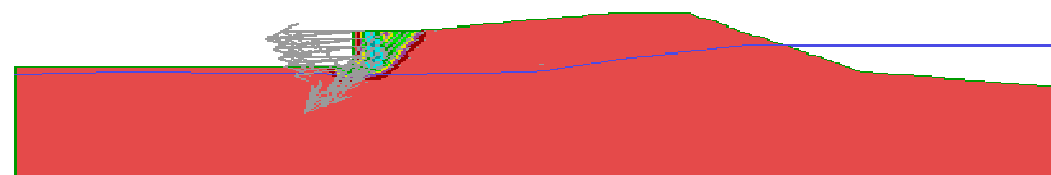
Boundary plot



Water Table

Velocity vectors

max vector = 9.00E-08



1.25 0.75 1.25 1.75 2.25 2.75 3.25

(m)

(m)

2.25

2.25

2.15

2.10

2.05

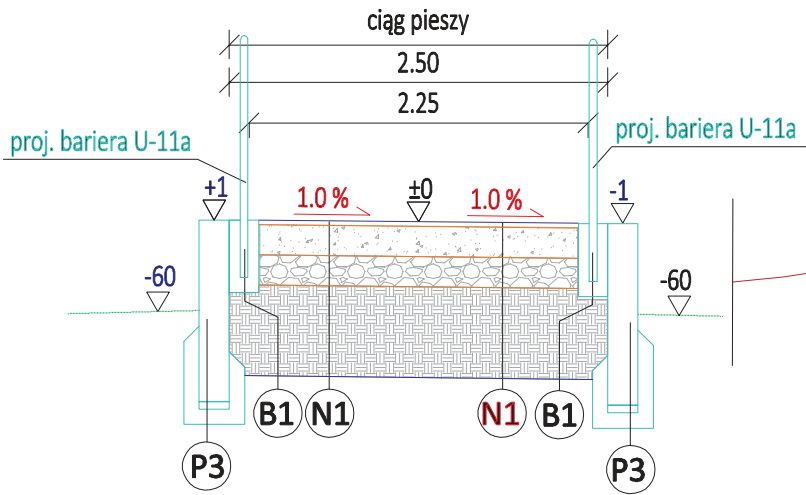
2.00

1.95

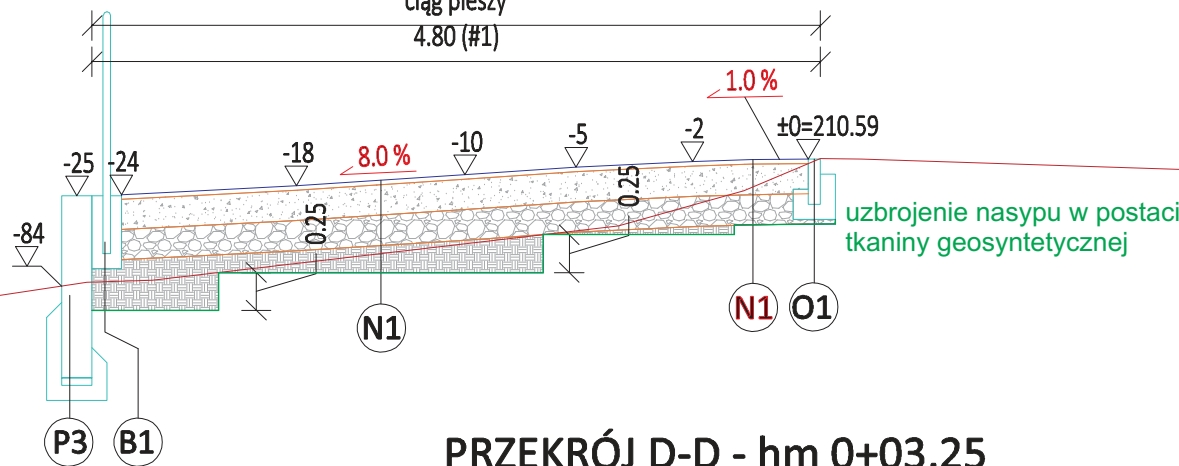
1.90

Załącznik nr 2 - przekroje normalne w skali 1: 50, szczegóły w skali 1:10, 1:20

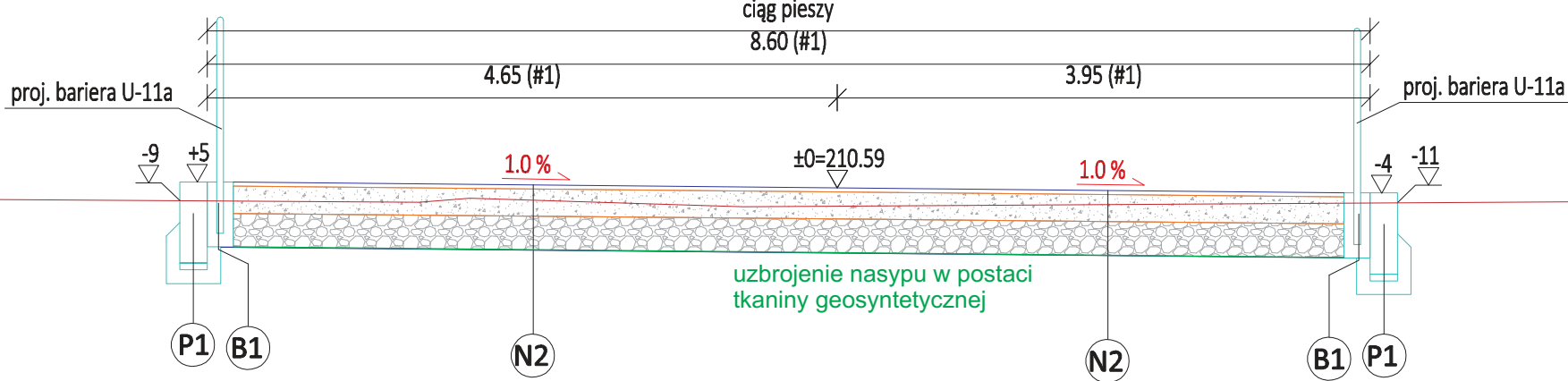
PRZEKROJE NORMALNE (skala 1:50)
PRZEKROJ A-A



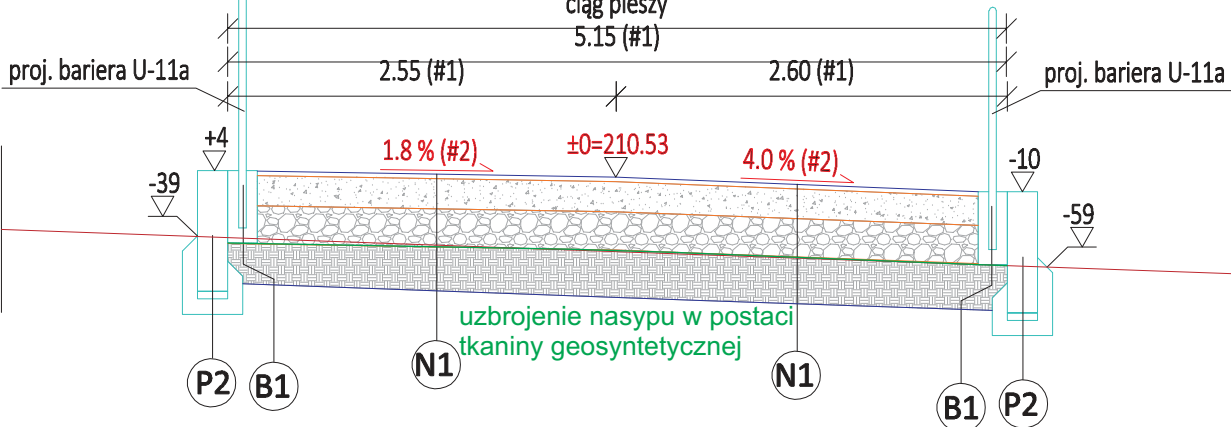
PRZEKRÓJ G-G



PRZEKRÓJ D-D - hm 0+03.25

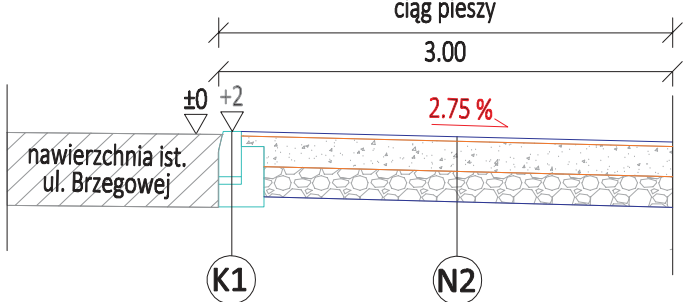


PRZEKRÓJ E-E - hm 0+04.65



(#1) - szerokość zmienna
(#2) - spadek zmienny

PRZEKROJ C-C



PROJEKTOWANE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI (KR1/G4)

KONSTRUKCJA N1 (CIĄG PIESZY)	
3 cm	Warstwa ścierna- nawierzchnia wodoprzepuszczalna TerraWay
20 cm	Podbudowa zasadnicza z piasku stabilizowanego mechanicznie 0/2 mm
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego kamiennego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5mm
0-60 cm	Warstwa mrozochłonna z kruszywa łamanego kamiennego stabilizowanego mechanicznie 0/63mm
43-103 cm	RAZEM
KONSTRUKCJA N2 (CIĄG PIESZY)	
3 cm	Warstwa ścierna- nawierzchnia wodoprzepuszczalna TerraWay
20 cm	Podbudowa zasadnicza z piasku stabilizowanego mechanicznie 0/2 mm
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego kamiennego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5mm
43 cm	RAZEM
KONSTRUKCJA N3 (POBOCZE)	
15 cm	Warstwa z kruszywa łamanego kamiennego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5mm
15 cm	RAZEM

PRZEKROJ F-F - hm 0+06.40

