

Geotechniczne rozwiązanie wzmocnienia skarpy osuwiskowej przez wykonanie ścian oporowych połączonych ze schodami w historycznej części miasta

The landslide slope fixing geotechnical solution by retaining walls erecting combined with stair descent in the city historical area

dr inż., doc. Sergey Ilnatov (ORCID: 0000-0002-5747-291X), asystent w Katedrze Geotechniki i Dróg, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej

DOI 10.5604/01.3001.0053.8498

Streszczenie: Artykuł dotyczy realizacji zintegrowanego rozwiązania architektoniczno-budowlanego i urbanistycznego wzmocnienia osuwiskowej skarpy, o wysokości ok. 27 m, zlokalizowanej na obszarze zabytkowym z XIV–XX wieku w centralnej części miasta Mohylew (Białoruś). Realizacja była prowadzona w skomplikowanych warunkach geotechnicznych, spowodowanych występowaniem gruntów nasypowych o miąższości ok. 15 m oraz początkowych zjawisk utraty stateczności skarpy. Wzmocnienie skarpy musiało spełniać wymagania zachowania architektoniczno-zabytkowego charakteru terenu, a w szczególności miało zapewnić możliwość ruchu pieszych między skrajnymi poziomami skarpy. Całość wykonano w konstrukcji wielopoziomowych ścian oporowych, połączonych z wielobiegowymi schodami.

Słowa kluczowe: nachylenie osuwiskowe, nośność, osiadanie, schody, obliczenia, deformacja, ściana oporowa.

Abstract: The article is devoted to the integrated architectural, construction and urban planning solution usage experience description in order to strengthen a landslide slope with a height difference of more than 27 meters. The landslide slope is located in the XIV–XX centuries existing historical territory in the central part of the city of Mogilev (Belarus). It was necessary to solve the problem not only of the slope strengthening but also of preserving the existing architectural ensemble of the territory, and to provide a pedestrian connection between the levels of the slope in difficult geological conditions, with the presence of 14.7 meters of bulk soils. This task was solved by constructing a system of multi-level retaining walls, combined with a multi-flight staircase descent.

Keywords: landslide slope, bearing capacity, settlement, stairs, calculation, deformation, retaining wall.

1. Wprowadzenie

Podczas eksploatacji istniejącego stromego zbocza znajdującego się w historycznym centrum Mohylewa (Białoruś) zaczęły pojawiać się pierwsze oznaki procesów osuwiskowych. Różnica wysokości istniejącej skarpy wynosi ponad 27 m i budują ją przepuszczalne grunty nasypowe (w tym do 30% odpadów budowlanych) o miąższości do 14,7 m, pod którymi występują grunty spoiste o małej wodoprzepuszczalności. Powstała konieczność wykonania wzmocnienia skarpy harmonijnie wpisującego się w istniejący teren. Zaproponowano i zrealizowano system wielopoziomowych ścian oporowych połączonych z biegami schodowymi. Znaczenie tego obiektu dla miasta Mohylew wynika z faktu, że przy stabilizacji zbocza konieczne było rozwiązywanie złożonych zadań urbanistycznych, przy założeniu zachowania w centralnej części miasta istniejącego historycznego terenu z XIV–XX wieku, graniczącego ze strefą ochronną warstwy kulturowej dawnego terytorium cerkwi św. Mikołaja (XVI–XVIII w.) wraz

z równoczesnym wykonaniem połączenia pieszego z terenu starego miasta z placu Ordzhonikidze (znajdującego się na wysokości 179,10 m n.p.m.) do parku miejskiego wzdłuż ulicy Bolshaya Grazhdanskaya (na wysokości 151,5 m n.p.m.).

2. Warunki geotechniczne

Miasto Mohylew znajduje się na granicy równin Orszańsko-Mohylewskiej i Środkowo-Berezińskiej. Terytorium miasta znajduje się w dorzeczu Orszy. Główną rzeką Mohylewa jest Dniepr, a jego dolina w obrębie miasta ma szerokość 3–5 km. W mieście rzeka płynie wolno i mocno meandruje. Średnia szerokość koryta wynosi 90 m, miejscami waha się od 70 do 150 m. Istniejąca skarpa o wysokości ok. 27 m w jej górnej części jest obciążona ruchem samochodowym na placu Ordzhonikidze.

Podłoże skarpy stanowią następujące warstwy:

- grunty antropogeniczne (thIV) – mieszaniny piasku, gliny i pyłów piaszczystych z dodatkiem odpadów budowlanych

Tabela 1. Parametry fizyczno-mechaniczne gruntów

Nr	Grunt	ρ [g/cm ³]	c [kPa]	ω , [°]	E [MPa]	e	I_L	q_s [MPa]	f_c [MPa]
1	Nasypowy	1,86	14	28	-	0,68			
2	Gлина piaszczysta morenowa	2,12	17	25	12	0,43	0,00	2,1	53
3	Gлина piaszczysta morenowa wytrzymała	2,12	20	27	21	0,40	-0,03	4,1	99
4	Piasek drobny	1,87	1,6	31	18	0,67	-	7,1	80

i antropogenicznych do 30% oraz materii organicznej o całkowitej miąższości do 14,7 m;

- osady morenowe (gllsz), reprezentowane przez ility i gliny piaszczyste w stanie twaroplastycznym i plastycznym z wtrąceniami żwiru i pospółki, miejscami z przewarstwieniami nasączonych wodą piasków, o łącznej miąższości od 0,2 do 12,9 m.;
- osady fluwioglacjalne (flld-sz), reprezentowane przez wilgotny piasek drobny i piasek średni, o miąższości 0,8 – 10,5 m.

Podczas badań geotechnicznych w styczniu 2017 r. odkryto wody gruntowe międzywarstwowe oraz lokalne sączenia wody. Skarpa w okresie badań była stateczna, ale jej współczynnik stateczności wynosił jedynie 1,001 i jego wartość była zbyt mała (wymagany współczynnik stateczności 1,4 [5]).

Wzrost gęstości gruntu nasypowego z powodu dodatkowej wilgoci i spadek jego właściwości wytrzymałościowych prowadził w czasie jesienno-wiosennym do zmniejszenia stateczności zbocza. Czynnikiem, które spowodowały wystąpienie procesów osuwiskowych były:

- niekorzystne nachylenie stropu utworów morenowych i fluwioglacjalnych,
- duża i zróżnicowana miąższość gruntów nasypowych o różnym uziarnieniu;
- filtracja wody zalegającej w gruntach nasypowych na stropie gruntów rodzimych spoistych (dodatkowe ciśnienie spływowe).

3. Rozwiązania architektoniczne

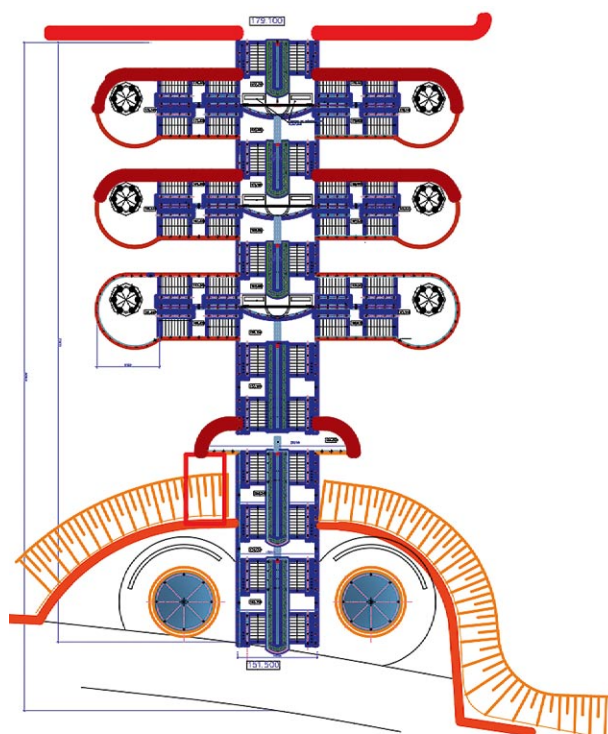
Jak wcześniej wspomniano, skarpa charakteryzuje się różnicą wysokości 27,6 m. W wyniku analizy stateczności istniejącego zbocza i jego warunków gruntowo-wodnych stwierdzono, że możliwa jest stabilizacja skarpy przez wypełnianie jej systemem ścian oporowych. Ze względu na to, że teren znajduje się w obrębie historycznej części miasta Mohilewa, zaproponowano uzupełnienie murów oporowych przez wielobiegowe monolityczne biegi schodowe. Usytuowanie schodów w sposób symetryczny harmonijnie wpisuje się w istniejącą rzeźbę terenu. Budownictwo wielobiegowych schodów, składających się z 22 biegów schodowych, umożliwiła

rozwiązanie następujących głównych zadań: wzmocnienie zbocza, zachowanie historycznej rzeźby terenu starego miasta i zorganizowanie zejścia do parku na ulicę Bolszaja Grażdanskaja z placu Ordżonikidze (rys. 1, 2).

Generalnie prace przy budowie murów oporowych i kształtowaniu krajobrazu

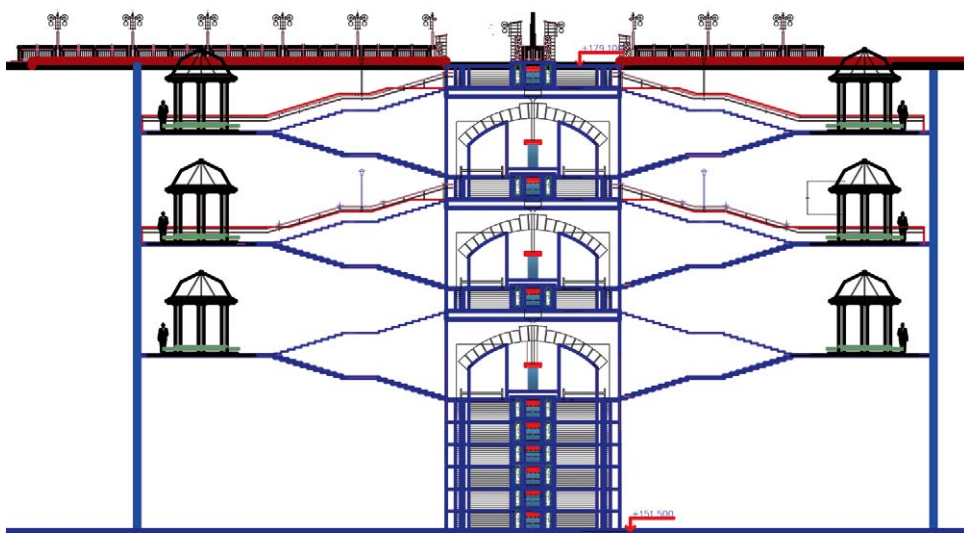
prowadzono na obszarze 1,3 ha (rys. 1, 2).

Przed rozpoczęciem zejścia po schodach z Placu Ordżonikidze zorganizowano strefę wejściową wraz z ogrodzeniem. Zejście po schodach rozpoczyna się biegiem prostym, a następnie biegi schodów rozchodzą się symetrycznie od osi centralnej w lewo i w prawo, a przy biegach przewidziano platformy widokowe z altanami przeznaczone do odpoczynku i rekreacji. Całość kończą biegi proste wchodzące na najniższy poziom do ulicy Bolshaya Grazhdanskaya. Na platformach pośrednich (wysokość + 172,500; 165,900; 159,300 m n.p.m.), wzdłuż centralnej osi schodów rozmieszczone są również grotty. U podnóża skarpy po obu stronach osi schodów rozmieszczone są podesty z okrągłymi fontanami i ławkami. Głównym centrum kompozycyjnym jest centralna oś schodów z kaskadową fontanną wzdłuż stopni 1200x360 (h) mm z zagospodarowanym całorocznym kłombem, który zaczyna się od podestu wejściowego i kończy się u podnóża schodów.



Rys. 1. Architektoniczny plan obiektu

Rys. 2. Widok obiektu z poziomu 151,10 m n.p.m.



4. Decyzja konstruktywna

Konstrukcje ścian oporowych i połączona z nimi klatka schodowa wykonane są w technologii monolitycznej.

Skarpę ustabilizowano wzdłuż ciągów schodów oraz przy platformach widokowych w osiach 1-5/„K” – „Г” za pomocą monolitycznych żelbetowych ścian oporowych o grubości

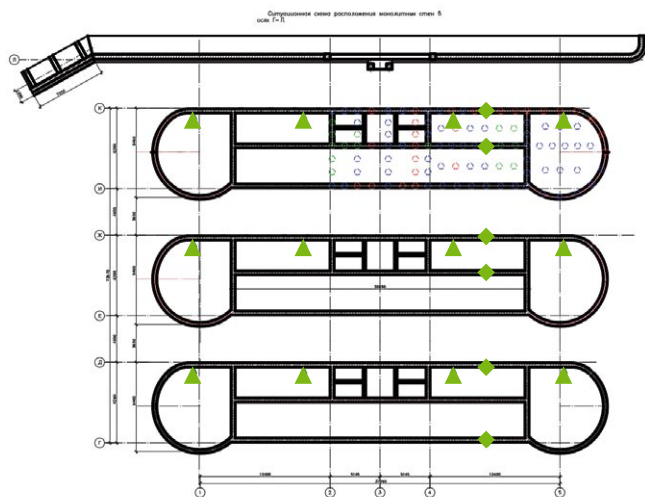
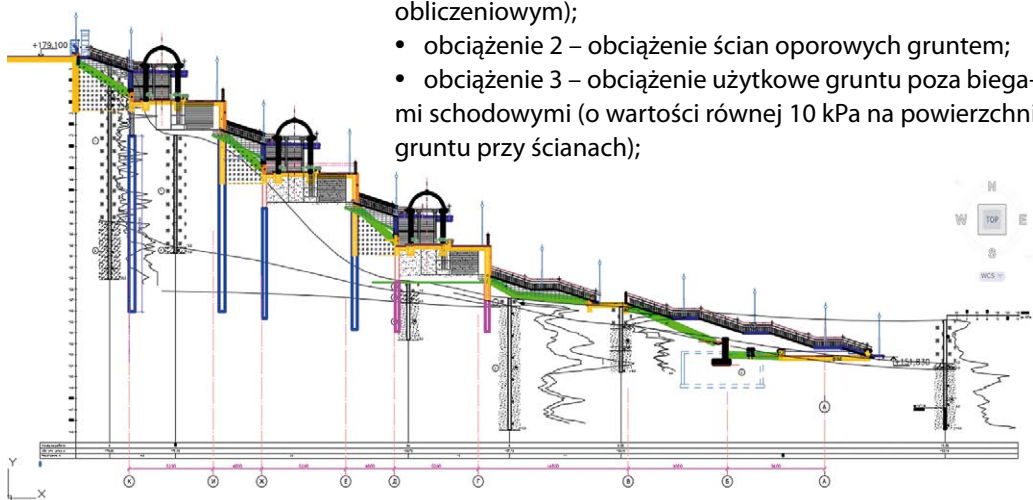
400 mm na fundamentach palowych. Pale wiercone o średnicach 426, 530 i 630 mm są sztywno połączone z monolitycznym rusztem żelbetowym. Maksymalna miąższość słabych gruntów niespoistych wynosiła 11,6 m. Podstawy pali oparte są na glinach piaszczystych morenowych (Nr 2 i Nr 3) i na piasku drobnym (Nr 4).

Wysokość ścian oporowych wzdłuż osi „K”, „Ж”, „Д” wynosi 4,35-5,81 m, a wysokość w przypadku osi „E”, „Г” jest równa 1,63-4,21 m. Hydroizolację pionową ścian od strony gruntu wykonano przez malowanie masą bitumiczno-polimerową w dwóch warstwach o łącznej grubości co najmniej 4 mm. Zasypkę za ścianami wykonano z zastosowaniem piasków średnio- lub gruboziarnistych wraz z ich zagęszczeniem. Konstrukcje zejścia po schodach w osiach „Г”-„А” od poziomu +159.300 m n.p.m. do poziomu. +151,740 m n.p.m. posadowiono bezpośrednio na zagęszczonej poduszce z piasku.

5. Obliczenia

W celu sprawdzenia stateczności zaprojektowanych murów oporowych przeprowadzono obliczenia w programach MicroFe, Lira i SCad opartych na metodzie elementów skończonych. Program pozwolił na określenie współczynnika stateczności skarpy, przemieszczeń konstrukcji i skarpy oraz sił wewnętrznych w elementach pozwalających na dobór zbrojenia w konstrukcjach. Przy wyborze kombinacji

Rys. 4. Przekrój podłużny obiektu z warunkami geotechnicznymi

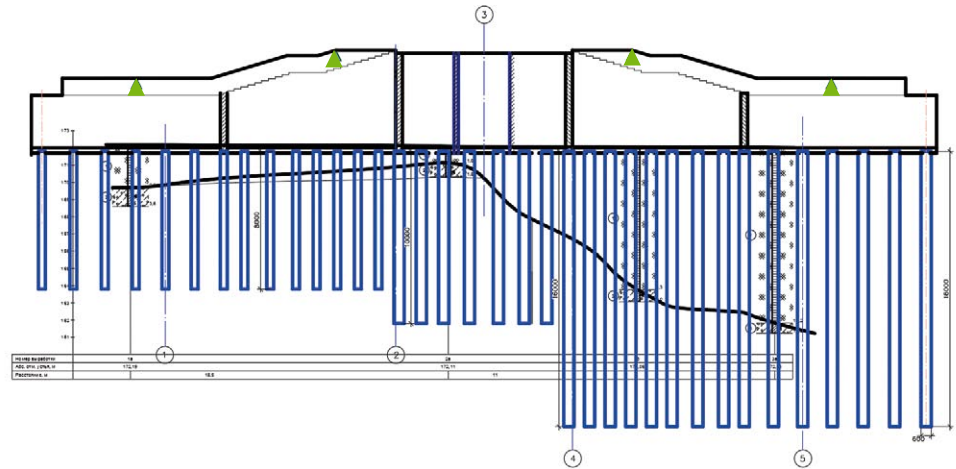


Rys. 3. Rozmieszczenie ścian oporowych i pali (▲ – punkty monitoringu geodezyjnego; ◆ – badane pale)

obliczeniowych uwzględniono następujące przypadki obciążeń:

- obciążenie 1 – ciężar własny konstrukcji żelbetowych (obciążenie stałe, automatycznie stosowane w programie obliczeniowym);
- obciążenie 2 – obciążenie ścian oporowych gruntem;
- obciążenie 3 – obciążenie użytkowe gruntu poza biegami schodowymi (o wartości równej 10 kPa na powierzchni gruntu przy ścianach);

Rys. 5. Ściana oporowa górna na poziomie 171,80 m n.p.m. na przekroju geotechnicznym (▲ – punkty monitoringu geodezyjnego)



- obciążenie 4 – obciążenie użytkowe podestaw i biegów schodowych (o wartości równej 10 kPa);
 - obciążenie 5 – obciążenie temperaturą o wartości +25°C;
 - obciążenie 6 – obciążenie temperaturą o wartości -25°C.
- Obliczenia służą do wyznaczenia przemieszczeń węzłowych, sił wewnętrznych w elementach oraz wyznaczenia obszarów zbrojenia podłużnego i poprzecznego elementów zejścia schodów.
- Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 7.

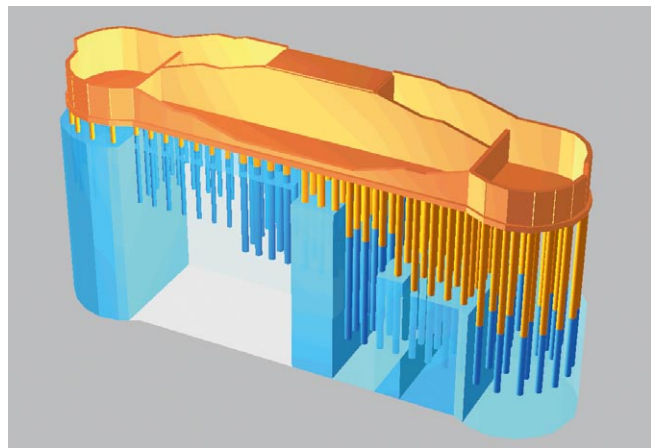
6. Realizacja inwestycji

Budowę obiektu prowadzono od dołu do góry w następującej kolejności:

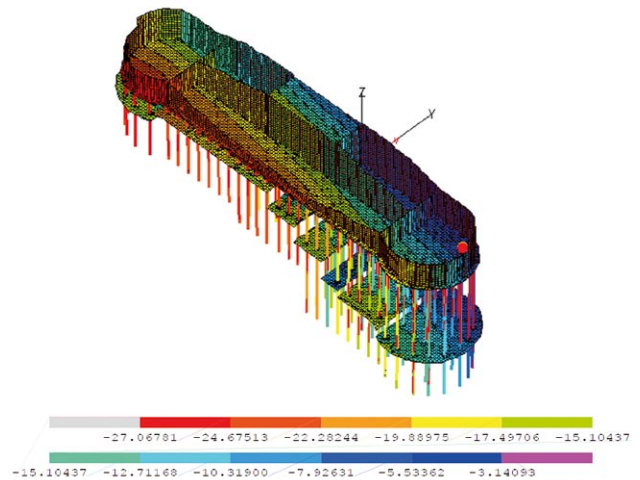
- wykonanie z poziomu 165,90 m n.p.m. rzędu tymczasowych ścianek szczelnych Larsena o długości 12,0 m zabezpieczających prace związane z wykonaniem dolnej kondygnacji ścian oporowych na poziomie 158,6 m n.p.m.;
- wykonanie wykopów, pali i rusztów na poziomie 158,6 m n.p.m.;
- betonowanie konstrukcji żelbetowych schodów (ściany oporowe, dno, grot, zjazdy itp.);

Tabela 2. Wyniki obliczeń obciążenia pali

Rozmiar pali	N [kH]	Qt [kN]	Qs [kN]	Mt [kH·m]	Ms [kH·m]
Górna platforma na 171,8					
CB 1	-276,7	68,34	-114,05	-147,57	102,16
	-74,71	50,52	165,68	191,23	81,87
CB 2	-458,92	-65,24	-112,15	-144,9	-108,2
	-304,93	-65,78	186,21	247,28	-100,46
CB 3	-324,89	590,96	583,23	876,15	863,52
	-261,04	-48,43	240,76	445,44	113,68
CB 4	-267,59	36,57	409,0	-490,65	142,95
	-573,81	7,88	101,8	365,76	51,36
Środkowa platforma na 165,2					
CB 5	218,41	28,45	437,14	-825,84	-76,57
	100,77	45,64	337,8	-510,84	85,86
CB 6	-566,22	25,83	332,41	-530,5	-96,35
	-473,0	17,24	248,66	-4040,36	-49,43
CB 7	-254,99	48,51	295,75	-428,68	-95,49
	-157,67	38,31	213,82	304,3	-76,1
Dolna platforma na 158,6					
CB 8	196,57	25,61	393,43	-743,26	-68,91
	-235,37	19,58	284,58	369,7	41,9



Rys. 6. 3D model projektowej górnej konstrukcji oporowej i schodów



Rys. 7. Pionowe deformacji górnej konstrukcji oporowej i schodów górnej konstrukcji oporowej i schodów

- wykonanie z poziomu 172,50 m n.p.m. rzędu tymczasowych ścianek szczelnych Larsena o długości 12,0 m do wykonania środkowej kondygnacji murów oporowych do poziomu 165,20 m n.p.m.;
- wykonanie wykopów, pali i rusztów na poziomie 165,20 m n.p.m.;
- betonowanie konstrukcji żelbetowych zejścia schodów (ściany oporowe, dno, grot, zjazdy itp.);



Rys. 8. Wykonanie ścian oporowych i schodów (a – zdjęcie z 08.06.2017; b – zdjęcie z 01.09.2017)

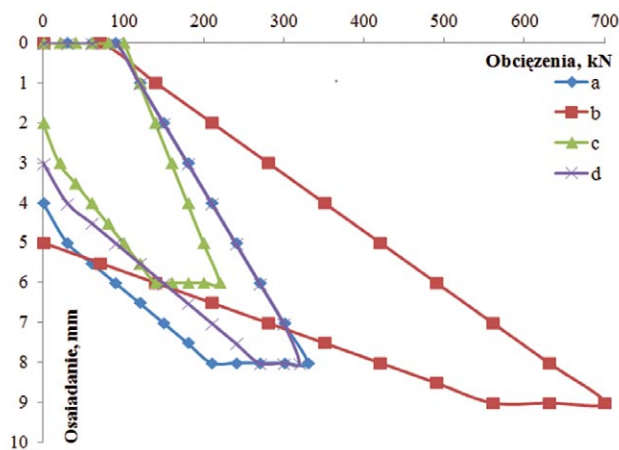
- wyciąganie grodzic na poziomie 165,90 m n.p.m. i przeniesienie na poziom górny 178,86 m n.p.m.;
- wykonanie wykopu i pali na poziomie 171,80 m n.p.m.;
- betonowanie konstrukcji żelbetonowych zejścia schodów (ściany oporowe, dno, groty, zjazdy itp.);
- usunięcie grodzic stalowych z poziomów 172,50 m n.p.m. i 178,86 m n.p.m.;
- wykonywanie prac wykończeniowych, małej architektury, itp.

7. Badania terenowe

W celu kontroli założeń projektowych, zapewnienia bezpieczeństwa prac budowlano-montażowych oraz samej eksploatacji zejścia schodowego przewidziano następujące elementy monitoringu geotechnicznego:

- badania pali wierconych w postaci próbnych obciążeń,
- monitoring geodezyjny przemieszczeń poziomych i pionowych ścian oporowych.

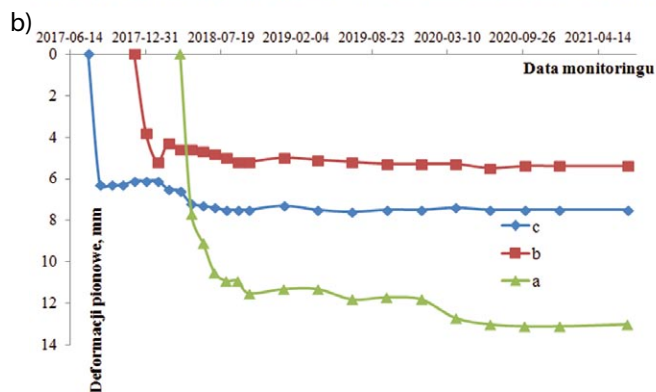
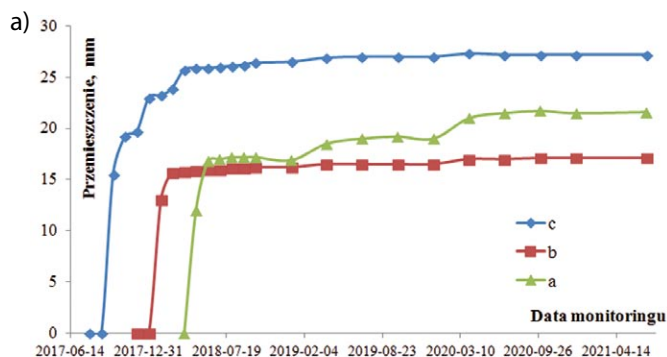
W wyniku badań pali stwierdzono, że ich osiadania nie przekraczają 1,0 cm, czyli mniej niż dopuszczalna wartość 1,6 cm, co wskazuje, że nośność pali na obciążenie pionowe jest wystarczająca.



Rys. 9. Wyniki badań terenowych pali (a – pal $\Phi 426$ mm, $L=10,0$ m na poziomie 171,80 m n.p.m.; b – pal $\Phi 630$ mm, $L=16,0$ m na poziomie 171,80 m n.p.m.; c – pal $\Phi 530$ mm, $L=10,0$ m na poziomie 165,20 m n.p.m.; d – pal $\Phi 426$ mm, $L=10,0$ m na poziomie 165,20 m n.p.m.)

Tabela 3. Wyniki obliczeń deformacji ścian oporowych i ich monitoringu

Konstrukcja	Przemieszczenia obliczeniowe [mm]			Przemieszczenia polowe (do lipca 2021 r.) [mm]	
	X	Y	Z	Y	Z
Górna platforma na poziomie 171,8 m n.p.m.	10,06	68,87	27,06	21,6	13,0
Środkowa platforma na poziomie 165,2 m n.p.m.	7,63	80,46	22,57	17,1	5,4



Rys. 10. Wyniki monitoringu geodezyjnego pali (A – przemieszczenia poziome, B – przemieszczenia pionowe; a – górna platforma na poziomie 171,8 m n.p.m., b – środkowa platforma na poziomie 165,2 m n.p.m., c – dolna platforma na poziomie 158,6 m n.p.m.)

Monitoring przemieszczeń murów oporowych był prowadzony do lipca 2021 r. Wyniki obliczeń i porównanie z danymi eksperymentalnymi przedstawiono w tabeli 3.

8. Podsumowanie

Wyniki obliczeń układu „schody – ściana oporowa – pale – podłoże gruntowe” zostały potwierdzone wynikami badań polowych pali wierconych w postaci próbnego pionowego obciążenia oraz monitoringiem geodezyjnym przemieszczeń poziomych i pionowych monolitycznych ścian oporowych, co wskazuje na możliwość dalszej bezpiecznej eksploatacji wzniesionej konstrukcji.


Tym samym kompleksowe wsparcie naukowo-techniczne opracowania rozwiązań projektowych oraz realizacji prac budowlano-montażowych zapewniających stateczność skarpy osuwiskowej pozwoliło na opracowanie ekonomicznych i bezpiecznych rozwiązań, które zostały szybko wdrożone, a eksperymentalne badania terenowe potwierdziły poprawność założeń teoretycznych i modeli obliczeniowych.

Otwarcie obiektu odbyło się 28 września 2018 r. Łącznie prace nad zagospodarowaniem terenu trwały prawie 4 lata.

Artykuł został zaprezentowany na XIX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Materiały i technologie energooszczędne. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym”, Częstochowa 16–18.11.2022 r.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Grunty. Metody polevykh ispytaniy svajami (STB 2242-2011). M-vo arkhitektury i stroitel'stva, Minsk. 2011
- [2] Ignatov S. V., Adnarogaya A. V., Programmnyye komplekсы dlya sozdaniya geotekhnicheskoy modeli osnovaniya zdaniy/Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii/Belorus – Ros. un-t, Mogilev, 2018
- [3] Ignatov S. V., Ukrepleniye opolznevoogo sklona v istoricheskoy zastroyke g. Mogileva/Materialy IV nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu BliZHTa-BelGUTa/BelGUT, Gomel, 2018
- [4] Inzhenernaya zashchita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov (SP 2.03.01-2020). RUP «Stroytekhnorm», Minsk, 2020
- [5] Osnovaniya i fundamenti zdaniy i sooruzheniy. Geotekhnicheskaya rekonstruktsiya. Pravila provedeniya (TKP 45-5.01-235-2011). M-vo arkhitektury i stroitel'stva, Minsk, 2011
- [6] Proektnyye resheniya i raschet elementov lestnichnogo spuska po obyektu №60.17-01 Ustroystvo lestnichnogo spuska i fontana s ploshchadi Ordzhonikidze na ulitsu Bol'shaya Grazhdanskaya v g. Mogileve, OAO Institut Mogilevgrazhdanproyekt, Mogilev, 2017
- [7] Werkhozin A. V. Samusenko S. P., Nikiforov, Problemy inzhenerno-tekhnicheskikh issledovaniy, Sankt Peterburg, 2013
- [8] Zakrevskiy K. Ye., Geologicheskoye 3D modelirovaniye. izd. OOO IPTS Maska, Moskva, 2009



V KONFERENCJA

OBIEKTY BUDOWLANE NA TERENACH GÓRNICZYCH

współpraca merytoryczna: INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ, Warszawa ul. Filtrowa 1
www.pzibt.katowice.pl e-mail: biuro@pzibt.katowice.pl tel. 322 538 638

POLSKI ZWIĄZEK INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA ODDZIAŁ KATOWICE
zaprasza


PROJEKTANTÓW, WYKONAWCÓW, RZECZOZNAWCÓW I INSPEKTORÓW NADZORU

na Konferencję Naukowo-Techniczną

OBIEKTY BUDOWLANE NA TERENACH GÓRNICZYCH

**PRAKTYCZNE PODEJŚCIE DO ZAGADNIENIŃ ZWIĄZANYCH Z ISTNIEJĄCYMI I PROJEKTOWANYMI OBIEKTAMI
NA TERENACH GÓRNICZYCH I POGÓRNICZYCH**

która odbędzie się w dniach 26 ÷ 27 października 2023 roku
w Siemianowickim Centrum Kultury - Park Tradycji
oraz na platformie e-learningowej



Konferencja będzie miała charakter zawodowego szkolenia spełniającego oczekiwania samorządu zawodowego inżynierów budownictwa dotyczące stałego podnoszenia kwalifikacji zawodowych. Do prowadzenia wykładów wzbogaconych przykładami obliczeniowymi zaprosiliśmy grono specjalistów z tej dziedziny, prezentujących aktualne podejście do powyższej problematyki.

W trakcie wykładów będą poruszane tematy dotyczące budownictwa na terenach górniczych i pogórnicych Górnego i Dolnego Śląska, Lubelskiego Zagłębia Górniczego oraz Lubiąskiego Zagłębia Górniczego.

Celem konferencji jest poszerzenie wiedzy, wymiana doświadczeń oraz integracja projektantów konstrukcji budownictwa ogólnego i przemysłowego, wykonawców, rzeczoznawców i kadry naukowo-technicznej.

Informacje i rejestracja elektroniczna na naszej stronie
www.pzibt.katowice.pl

PROGRAM KONFERENCJI OBEJMUJE:

1. Wykłady zamówione u autorów z przykładami obliczeń o tematyce:
 - aktualne przepisy prawne oraz źródła informacji,
 - prognozy górnicze jako podstawa do projektowania,
 - przydatność terenów górniczych do zabudowy,
 - projektowanie obiektów z uwagi na deformacje terenu oraz wstrząsy górnicze,
 - wytyczne do projektowania obiektów,
 - błędy projektowe i wykonawcze,
 - bezpieczeństwo obiektów w kontekście rejestracji zdarzeń
2. Panel dyskusyjny, na którym będzie możliwość zadawania pytań autorom wykładów.
3. Prezentacje firm produkujących i oferujących materiały dla budownictwa na terenach górniczych.