

# Ceglany mur oporowy kontra żelbetowy zabezpieczający skarpe przed osuwaniem

dr inż. Elżbieta Grochowska, mgr inż. Anna Kucharczyk, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski

## 1. Wprowadzenie

Ściany oporowe są budowlami, które mają za zadanie utrzymanie w stanie statecznym uskoku naziomu gruntów rodzimych, a także nasypowych. Konstrukcje oporowe, jeśli zaliczyć do nich również podparte strome obwałowania ziemne i fortyfikacje, są to jedne z najstarszych konstrukcji inżynierskich w historii. Masywne ściany oporowe zwane są również ścianami grawitacyjnymi, gdyż ich zasada funkcjonowania opiera się głównie na bardzo dużym ciężarze własnym. Wykonywane były przez setki lat jako mury, potem również betonowe, a cały czas przez tysiące lat jako kamienne. Wiele z tych historycznych budowli przetrwało w dobrym stanie do czasów współczesnych.



**Rys. 1.** Fragment historycznego ceglanego muru oporowego w Jarosławiu według [3]

Fragment historycznego muru oporowego zbudowanego głównie z cegły na zaprawie cementowo-wapiennej pokazano na rysunku 1. Ponad 200-metrowej długości mur oporowy zabezpiecza skarpe wzgórz św. Mikołaja z XVII-wiecznym opactwem benedyktynek w Jarosławiu. Został wzmocniony skośnymi bezuskokowymi przyporami o różnych szerokościach, rozstawionymi nieregularnie. Lico muru jest surowe, nieotynkowane, w górnej strefie mur jest zaopatrzo-

ny w niewielkie otwory odwadniające, przeważnie na dwóch poziomach z płytką okapową u dołu w postaci cegły na płask, sporadycznie kamienia.

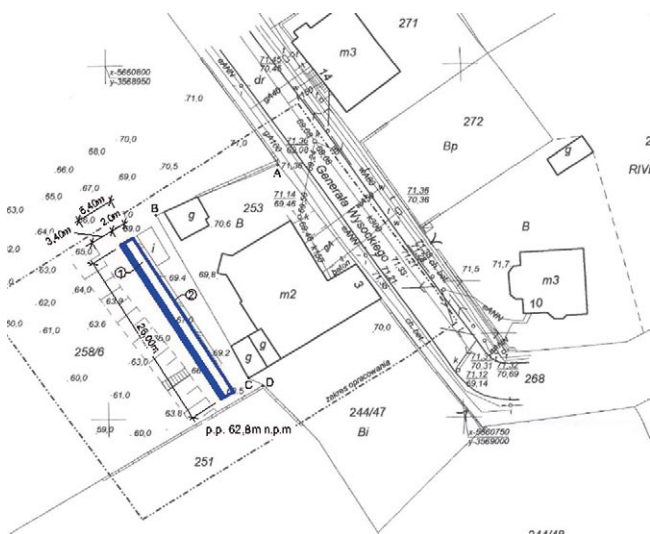
W zależności od rodzaju zalegającego gruntu należy stosować zabezpieczenia w postaci różnych typów ścian oporowych: masywne, masywne ze wspornikami odciążającymi, płytowo-kątowe, płytowo-żebrowe lub ściany specjalne. Ściany mogą być zaprojektowane jako żelbetowe, murowe oraz jako konstrukcje z gruntu zbrojonego.

W artykule opisano stan techniczny ceglanego muru oporowego wybudowanego w nieznanym okresie (należy przypuszczać, że przed 1939 rokiem) na ziemiach zachodnich województwa lubuskiego w miejscowości Gubin. Podano ponadto sposób naprawy/zabezpieczenia skarpy przed osuwaniem nowo zaprojektowanym murem żelbetowym. Mur ceglany pełnił przez dziesięciolecia swoje zadanie, zabezpieczał skarpe na terenie kaskadowym przed osunięciem. W wyniku zaniedbań mur z upływem lat uległ znacznej destrukcji. Powstałe uszkodzenia doprowadziły do stanu, który nie umożliwił jakiegokolwiek naprawy, lecz tylko ewentualne zdemontowanie i wybudowanie nowego obiektu zabezpieczającego skarpe przed osuwaniem.

## 2. Opis stanu istniejącego muru oporowego

Ceglany mur oporowy o długości ponad 25,0 m zabezpieczał skarpe zlokalizowaną w odległości ok. 7,50 m od budynku wielorodzinnego i ok. 3,30 m od budynków gospodarczych. Wysokość muru wynosiła 270,0 cm, a grubość 54,0 cm. Poniżej muru oporowego znajdowały się kolejne skarpy. Odległość krawędzi niższej skarpy od muru była zmienna i wynosiła 5,60 oraz 3,60 m.

Lokalizację istniejącego (2) i nowo projektowanego (1) muru oraz usytuowanie zabudowań pokazano na rysunku 2. Mur nie jest wciągnięty do rejestru zabytków, wobec tego przyjęto, że ze względów historycznych nie przedstawia żadnej wartości.



**Rys. 2.** Lokalizacja zaprojektowanego, żelbetowego muru oporowego w stosunku do istniejącego muru i zabudowań

Widok ceglaneanego muru oporowego wraz z budynkiem mieszkalnym pokazano na rysunkach 3 i 4.

Część cegieł w murze była poluzowana, a w części środkowej muru cegły całkowicie wypadły (rys. 4). W murze były zamontowane ceramiczne rurki drenarskie (rys. 6). Zadaniem tych rurek było odprowadzenie wody ze zdrenowanego terenu znajdującego się powyżej muru oporowego. Na murze, w miejscu rurek drenarskich nie było śladów wycieku wody,



**Rys. 3.** Widok budynku od strony muru oporowego



**Rys. 4.** Widok ceglaneanego muru oporowego

**Rys. 5.** Widok ceglaneanego muru oporowego i terenu za skarpg



zatem należało przyjąć, że system drenazowy został zniszczony i nie funkcjonował poprawnie, nie odprowadzał wody spoza muru na niżej położony teren. Woda gromadziła się przed murem i hydrostatycznie obciążała mur. Zbierająca się przed murem przez lata woda, wnikała w porowatą cegłę i przy niskiej temperaturze doprowadziło to do zniszczenia cegły i zaprawy.



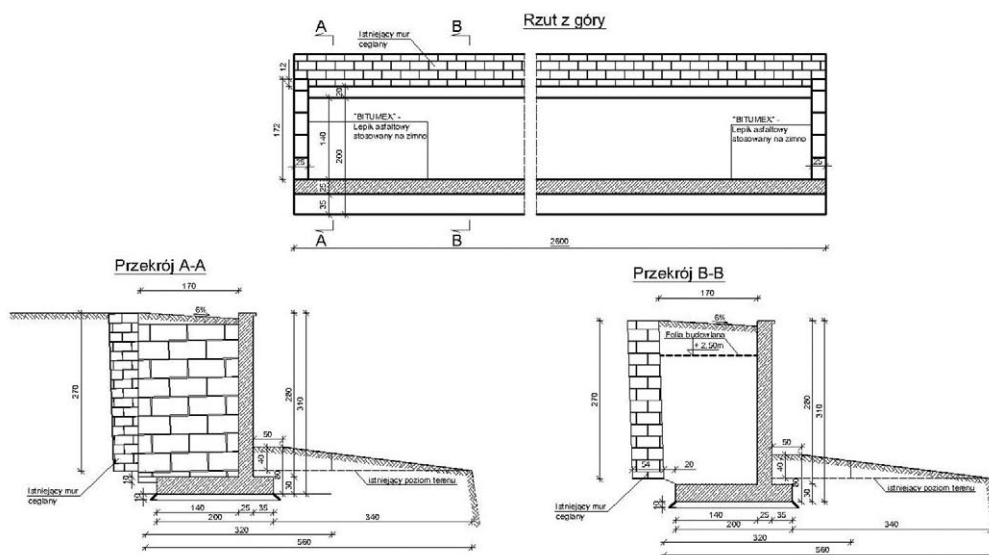
**Rys. 6.** Miejsce największego uszkodzenia muru

Górna krawędź muru była wykończona gzymsem, który również uległ zniszczeniu. W miejscu największego uszkodzenia (rys. 6) cegły zostały wręcz wypchnięte z muru i wypadły. Parcie gruntu ścięło spoiny między poszczególnymi warstwami cegieł. Mimo tak rozległych uszkodzeń skarpa nie została naruszona. W takim stanie technicznym ceglaneanego muru oporowego nie miał nośności, a niektóre fragmenty groziły wręcz zawaleniem.

### 3. Wytyczne wykonania nowego muru oporowego

W związku z dużymi kosztami związanymi z rozbiórką i wywozem gruzu z ceglaneanego muru oporowego podjęto decyzję o pozostawieniu zniszczonego muru i bezpośrednio przy nim zaprojektowaniu oraz wybudowaniu żelbetowego muru oporowego, np. z elementów prefabrykowanych. Przyjęcie takiego rozwiązania miało na celu ograniczenie prac budowlanych do minimum i zmniejszenie kosztów

**Rys. 7.** Widok z góry murów oporowych, ceglano i żelbetowego nowo projektowanego oraz przekroje, skrajny i środkowy



związanych z demontażem i wywozem gruzu z istniejącego muru. Po wykonaniu badań gruntu ustalono zaleganie w podłożu piasków gliniastych i piasków średnich.

Usytuowanie murów względem siebie pokazano na rysunku 7. Krawędzie boczne zaproponowano zamurować, a przestrzeń między murami wypełnić gruntem. Warstwy filtracyjne za murem oporowym zalecono wykonać z owiniętych w geowłókninę (filtr odwrotny) trzech warstw materiałów sypkich, takich jak piasek drobny, żwir oraz tłuczeń. Zalecono przeprowadzić przez mur oporowy rurę drenarską o średnicy  $\varnothing 100$  mm w odstępach co 2,0 m. Zastosowana geowłóknina powinna się charakteryzować odpornością na działanie wilgoci, środowiska agresywnego chemicznie i biologicznie oraz temperatury, powinna być bez przerw ciągliwością z dobrą szczepnością z gruntem, o charakterystyce zgodnej z aprobatą techniczną.

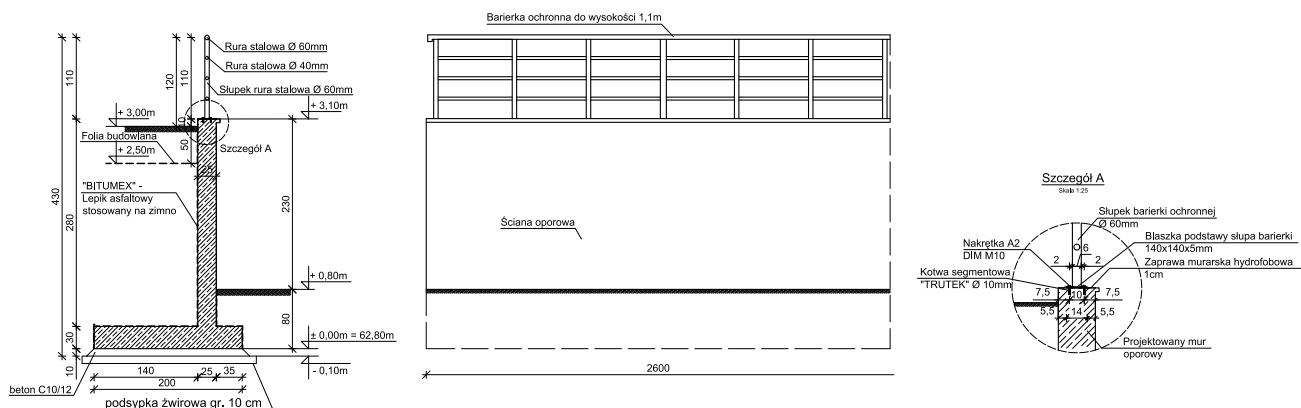
Izolację muru przewidziano z lepiku asfaltowego stosowanego na zimno np. Bitumex K na powierzchni muru do strony gruntu lub materiału zasypowego. Każda warstwa izolacji powinna tworzyć jednolitą,

ciągłą powłokę przylegającą do powierzchni muru. Występowanie złuszczeń, spękań, pęcherzy itd. wad oraz stosowanie uszkodzonych materiałów jest niedopuszczalne. Warstwa izolacji powinna być chroniona od uszkodzeń mechanicznych. Ponadto zalecono ułożenie styropianu grubości 2 cm lub folii kubełkowej od strony gruntu zasypowego w celu ochrony izolacji.

Zасыpywanie wykopu zalecono wykonać warstwami o grubości dostosowanej do przyjętej metody zagęszczenia gruntu, która to grubość nie powinna przekraczać:

- przy zagęszczeniu ręcznym i wałowaniu 20 cm,
- przy zagęszczeniu ubijakami mechanicznymi lub wibratorami 40 cm,
- przy stosowaniu ciężkich wibratorów lub ubijarek płytowych 60 cm.

Zagęszczenie gruntu przy zasypywaniu warstw odwadniających powinno odbywać się ręcznie do wysokości około 30 cm powyżej warstwy odwadniającej. Zасыpywanie muru oporowego należało wykonać najpierw od strony istniejącego ceglano muru. Odwodnienie powierzchni miało zabezpieczać przed



**Rys. 8.** Widok i przekrój projektowanego muru oporowego

powstaniem obszarów bezodpływowych. Spadek powierzchni terenu powyżej muru zalecono wykonać co najmniej 1%, a w pasie o szerokości 1,5 m przylegającym do muru – co najmniej 3%. Pod płytą fundamentową zalecono wykonać warstwę z betonu C10/12 o grubości 10 cm.

Pozostawienie muru ceglanego wymusiło zabezpieczenie go, gdyż w takim stanie nie można go było pozostawić. Zalecono uzupełnienie brakujących cegieł, a poluzowane cegły oraz brak spoin zarzucić zaprawą betonową. Podczas wykonywania robót związanych z nowym murem oporowym należało stary mur ceglany podpierać odcinkowo.

## 4. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

### 4.1. Parametry przyjęte do projektowania

Mur oporowy zaprojektowano przy wykorzystaniu oprogramowania komputerowego Autodesk Expert. Podczas projektowania przyjęto:

- beton: klasa B 37,  $f_{ck} = 30,00$  (MN/m<sup>2</sup>), ciężar objętościowy  $\gamma = 24,00$  (kN/m<sup>3</sup>),
- stal: klasa A – III,  $f_{yk} = 410,00$  (MN/m<sup>2</sup>).

Obliczenia przeprowadzono zgodnie z normami: PN-B-03264(2002) [7] oraz PN-83/B-03010 [8].

Wymiarowanie muru przeprowadzono ze względu na (przyjmując współczynnik korekcyjny  $m$  o wartościach):

- nośność,  $m = 0,900$ ,
- poślizg,  $m = 0,950$ ,
- obrót,  $m = 0,800$ .

Weryfikacja muru ze względu na:

- osiadanie średnie:  $S_{dop} = 5,00$  cm,
- różnicę osiadań:  $DS_{dop} = 5,00$  cm.

### 4.2. Grunt

Oznaczenie parametrów geotechnicznych metodą: B.

**Naziom:** głębokość gruntu za ścianą  $H_o = 300,00$  cm.

Tabela 1. Grunty za ścianą

Lp.	Nazwa gruntu	Poziom [cm]	Miąższość [cm]	Typ konsolidacji	Typ wilgotności	$I_p/I_L$
1	Piasek gliniasty	80,00	80,00	B	–	0,102
2	Piasek średni	300,00	220,00	–	mało wilgotne	0,200

Tabela 2. Parametry gruntu

Lp.	Spójność [kN/m <sup>2</sup> ]	Kąt tarcia [Deg]	Ciężar obj. [kN/m <sup>3</sup> ]	M [MN/m <sup>2</sup> ]	Mo [MN/m <sup>2</sup> ]
1	35,40	20,10	21,50	63,50	47,62
2	0,00	31,13	16,50	61,54	55,38

Tabela 3. Grunty przed ścianą

Lp.	Nazwa gruntu	Poziom [cm]	Miąższość [cm]	Typ konsolidacji	Typ wilgotności	$I_p/I_L$
1	Piasek gliniasty	80,00	80,00	B	–	0,102

Tabela 4. Parametry gruntu

Lp.	Spójność [kN/m <sup>2</sup> ]	Kąt tarcia [Deg]	Ciężar obj. [kN/m <sup>3</sup> ]	M [MN/m <sup>2</sup> ]	Mo [MN/m <sup>2</sup> ]
1	35,40	20,10	21,50	63,50	47,62

**Zestawienie obciążeń:** obciążenie równomiernie rozłożone

stała  $x_1 = 0,00$  (m)  $x_2 = 1,40$  (m)  $P = 5,00$  kN/m<sup>2</sup>

### 4.3. Wyniki obliczeń geotechnicznych

Parcie i odpór gruntu: graniczne.

Współczynniki parć i odporów granicznych i spoczynkowych dla gruntów:

- średni kąt nachylenia naziomu  $\varepsilon = 0,00$  Deg,
- kąt nachylenia ściany  $\beta = 0,00$  Deg.

Tabela 5. Grunty za ścianą

Lp.	Nazwa gruntu	Poziom [cm]	Kąt tarcia [Deg]	$K_a$	$K_o$	$K_p$
1.	Piasek gliniasty	80,00	20,10	0,445	0,656	2,425
2.	Piasek średni	300,00	31,13	0,288	0,483	4,436

Uogólnione przemieszczenia graniczne:

- odpór 0,126,
- parcie 0,012.

Tabela 6. Grunty przed ścianą

Lp.	Nazwa gruntu	Poziom [cm]	Kąt tarcia [Deg]	$K_a$	$K_o$	$K_p$
1.	Piasek gliniasty	80,00	20,10	0,445	0,656	2,425

Uogólnione przemieszczenia graniczne:

- odpór 0,132,
- parcie 0,013.

Tabela 7. Przypadki proste obciążenia

Lp.	Przypadek	x [m]	y [m]	Px [kN/m]	Py [kN/m]	Opis
1.	CM	0,72	0,25	0,00	-31,20	Ciężar własny muru oporowego
2.	GP	0,18	0,27	4,81	-3,20	Parcie od gruntu przed ścianą
3.	GZ	1,27	0,85	-26,82	-71,75	Parcie od gruntu za ścianą
4.	a1	1,11	2,10	-2,32	-5,05	Obciążenie stałe

**Nośność**

Rodzaj podłoża pod stopą: jednorodne.

Kombinacja wymiarująca:

$$1,000 \cdot CM + 0,850 \cdot GP + 1,200 \cdot GZ + 1,000 \cdot a1.$$

Zredukowane obciążenie wymiarujące:

$$N = -125,06 \text{ kN/m}, M_y = -55,92 \text{ kNm}, F_x = -30,42 \text{ kN/m}.$$

Zastępczy wymiar stopy:  $A = 169,84 \text{ cm}$ .

Współczynnik nośności oraz wpływu nachylenia obciążenia:

- $N_b = 1,054, i_b = 0,301,$
- $N_c = 13,173, i_c = 0,506,$
- $N_d = 5,302, i_d = 0,574.$

Graniczny opór podłoża gruntowego:

$$Q_f = 458,19 \text{ kN/m}.$$

Współczynnik bezpieczeństwa:

$$Q_f m / N_r = 3,297 > 1,000.$$

**Osiadanie**

Rodzaj podłoża pod fundamentem: jednorodne.

Kombinacja wymiarująca:

$$1,000 \cdot CM + 1,000 \cdot GP + 1,000 \cdot GZ + 1,000 \cdot a1.$$

Zredukowane obciążenie wymiarujące:

$$N = -111,19 \text{ kN/m}, M_y = -47,38 \text{ kNm}, \mu = -24,33 \text{ kN/m}.$$

Obciążenie charakterystyczne, jednostkowe od obciążeń całkowitych:  $q = 0,06 \text{ MN/m}^2$ .

Mięszkość podłoża gruntowego aktywnie osiadającego:  $z = 200,00 \text{ cm}$ .

Naprężenie na poziomie z:

- dodatkowe:  $szd = 0,01 \text{ MN/m}^2,$
- wywołane ciężarem gruntu:  $szg = 0,04 \text{ MN/m}^2.$

$$\text{Osiadanie: } S = 0,10 \text{ cm} < S_{dop} = 5,00 \text{ cm}.$$

**Obrót**

Kombinacja wymiarująca:

$$1,000 \cdot CM + 0,850 \cdot GP + 1,200 \cdot GZ + 1,000 \cdot a1.$$

Zredukowane obciążenie wymiarujące:

$$N = -125,06 \text{ kN/m}, M_y = -55,92 \text{ kNm}, F_x = -30,42 \text{ kN/m}.$$

Moment obracający:  $M_o = 32,38 \text{ kNm}.$

Moment zapobiegający obrotowi fundamentu:

$$M_{uf} = 138,58 \text{ kNm}.$$

Współczynnik bezpieczeństwa:

$$M_{uf} m / M_o = 3,424 > 1,000.$$

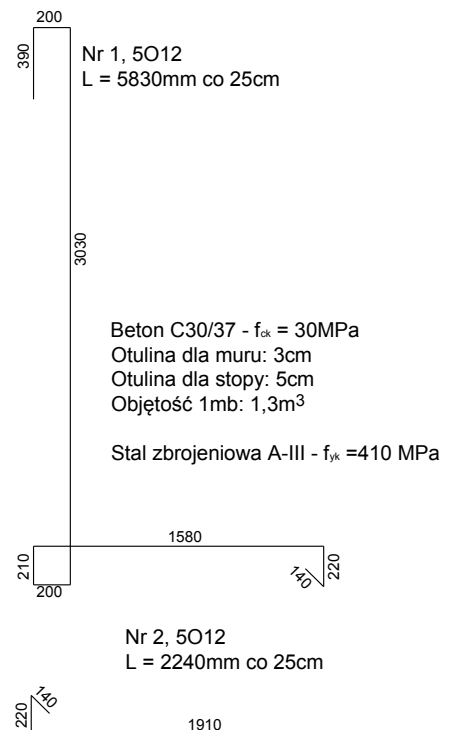
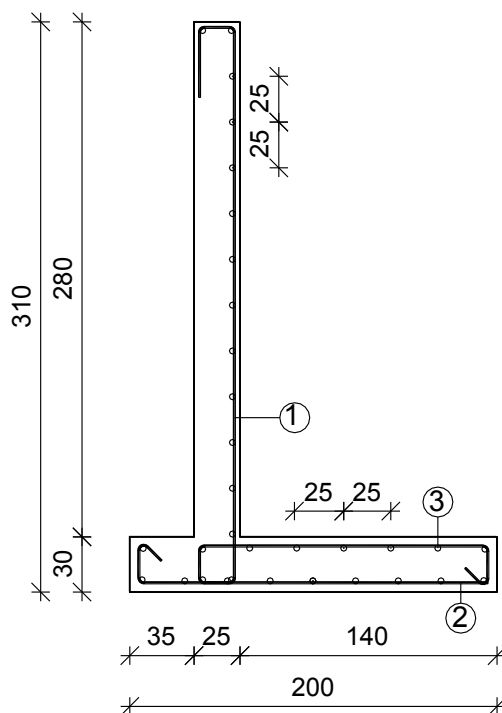
**Poślizg**

Kombinacja wymiarująca:

$$1,000 \cdot CM + 0,850 \cdot GP + 1,200 \cdot GZ + 1,000 \cdot a1.$$

Zredukowane obciążenie wymiarujące:

Rys. 9. Geometria i zbrojenie zaprojektowanego muru oporowego



$N = -125,06 \text{ kN/m}$ ,  $M_y = -55,92 \text{ kNm}$ ,  $F_x = -30,42 \text{ kN/m}$ .

Zastępczy wymiar stopy:  $A = 200,00 \text{ cm}$ .

Współczynnik tarcia gruntu (na poziomie posadowienia):  $\mu = 0,287$ .

Współczynnik redukcji spójności gruntu

$\xi = 100,000\%$ .

Spójność:  $C = 0,00 \text{ kN/m}^2$ .

Wartość siły poślizgu:  $Q_{tr} = 30,42 \text{ kN/m}$ .

Wartość siły zapobiegającej poślizgowi muru:

$Q_{tr} = N \cdot \mu + C \cdot A$ :

• w poziomie posadowienia:  $Q_{tr} = 35,87 \text{ kN/m}$ .

Współczynnik bezpieczeństwa:

$Q_{tr,m}/Q_{tr} = 1,120 > 1,000$ .

### Kąty obrotu

Rodzaj podłoża pod fundamentem: jednorodne.

Kombinacja wymiarująca:

$1,000 \cdot CM + 1,000 \cdot GP + 1,000 \cdot GZ + 1,000 \cdot a1$ .

Zredukowane obciążenie wymiarujące:

$N = -111,19 \text{ kN/m}$ ,  $M_y = -47,38 \text{ kNm}$ ,  $F_x = -24,33 \text{ kN/m}$ .

Maksymalne jednostkowe naprężenia charakterystyczne od obciążeń całkowitych:  $q_{max} = 0,08 \text{ MN/m}^2$ .

Minimalne jednostkowe naprężenia charakterystyczne od obciążeń całkowitych:  $q_{min} = 0,03 \text{ MN/m}^2$ .

Kąt obrotu:  $\rho = 0,04 \text{ Deg}$ .

Współrzędne punktu obrotu ściany:

$X = 302,61 \text{ cm}$ ,  $Z = 0,00 \text{ cm}$ .

Współczynnik bezpieczeństwa:  $39,369 > 1,000$ .

## 5. Podsumowanie

Istniejący mur oporowy był w tak złym stanie technicznym, że nie można było określić jego rzeczywistej nośności. Zaproponowano pozostawienie istniejącego muru i zaprojektowanie oraz wybudowanie nowego w odpowiedniej odległości od istniejącej budowli, w celu zabezpieczenia skarpy przed osuwaniem. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano dla żelbetowego muru oporowego, ale dopuszczono wykonanie prefabrykowanego muru oporowego o zaprojektowanych parametrach, w celu ograniczenia prac budowlanych do minimum, co zostało zrealizowane.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Mińczyk J., Grochowska E., Kucharczyk A., Hamudi K., Ekspertyza oceny stanu technicznego i podanie wytycznych naprawy ściany oporowej znajdującej się przy ul. Wysockiego 3 w Gubinie, Zielona Góra, 2016
- [2] Mińczyk J., Grochowska E., Kucharczyk A., Hamudi K., Projekt muru oporowego przy ul. Wysockiego w Gubinie na działce nr 258/6, Zielona Góra, 2017
- [3] Hołyszko K., Błahuta D., Botwina N., Iłowski H., Niemiec D., Ekspertyza stanu technicznego muru ceglanego, 2012
- [4] Cios I., Garwacka-Piórkowska S., Projektowanie fundamentów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003
- [5] Obrycki M., Pisarczyk S., Wybrane zagadnienia z fundamentowania. Przykłady obliczeń, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005
- [6] Kalkulator do wymiarowania elementów stalowych i żelbetowych Auto-desk EXPERT
- [7] PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone
- [8] PN-83/B-03010" Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie

## Nowoczesne technologie w budownictwie IV Konferencja Łódzkiej OIIB

31 marca–1 kwietnia 2022 roku w Łodzi odbędzie się IV Konferencja Naukowo-Techniczna pt. „Nowoczesne technologie w budownictwie – wybrane zagadnienia”, której pomysłodawcą i organizatorem jest Łódzka Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa.

■ Podczas konferencji zostaną poruszone między innymi takie zagadnienia, jak: nowoczesne metody oceny rusztowań budowlanych w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa ich użytkownikom; ślad węglowy jako miara wpływu wyrobów i obiektów budowlanych na środowisko; reelektrofikacja i głęboka termomodernizacja skuteczną i efektywną ekonomicznie metodą zmniejszenia śladu węglowego budynków mieszkalnych na obszarach podmiejskich; algorytm wyboru obiektów i rozwiązań opartych na OZE, uwzględniający wyzwania masowej termomodernizacji miejskich zasobów mieszkaniowych; technologie cyfrowe w zarządzaniu inwestycją budowlaną; deklaracje środowiskowe wyrobów budowlanych; druk 3D kompozytów betonowych; niestandardowe wzmocnienia stalowych konstrukcji przestrzennych.

■ Wśród wykładowców konferencji są: prof. dr hab. inż. Ewa Błażk-Borowa, prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, prof. dr hab. inż. Dariusz Gawin, dr inż. Robert Geryło, prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina, dr hab. inż. Jacek Szafran, prof. PŁ, prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata.



Honorowemu Komitetowi Naukowemu konferencji przewodniczy prof. dr hab. Dariusz Gawin, a Komitet Organizacyjny pracuje pod przewodnictwem dr. hab. inż. Jacka Szera, prof. PŁ – p.o. przewodniczącego Rady ŁOIIB.

■ Patronat Honorowy objęły: Ministerstwo Infrastruktury, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Polska Izba Inżynierów Budownictwa oraz Politechnika Łódzka. „Przegląd Budowlany” jest patronem medialnym tego wydarzenia.

■ Konferencja rozpocznie się w czwartek 31 marca w Instytucie Europejskim (ul. Piotrkowska 262/264), a następnego dnia obrady będą się odbywać w Teatrze Muzycznym (ul. Północna 47/51).

■ Szczegółowe informacje o konferencji są dostępne na stronie: [www.lod.piib.org.pl](http://www.lod.piib.org.pl). Zgłoszenia uczestnictwa należy przelać do 11 marca br. na adres: e-mail: [konferencja@loiib.pl](mailto:konferencja@loiib.pl).