

Analiza kosztu wykonania żelbetowych płyt fundamentowych w aspekcie warunków gruntowych

Analysis of the cost of making reinforced concrete foundation slabs in terms of ground conditions

dr hab. inż. Magdalena Rogalska, prof. uczelni (ORCID: 0000-0001-8408-3242), Politechnika Lubelska, prof. dr hab. inż. Zdzisław Hejducki (ORCID: 0000-0003-2958-0128), Politechnika Wroclawska

DOI 10.5604/01.3001.0016.2714

Streszczenie: Przeprowadzono analizę kosztu wykonania żelbetowych płyt fundamentowych posadowionych na terenie o prostych i złożonych warunkach gruntowych. Analizie obliczeniowej poddano płytę żelbetową o powierzchni 100 m². Obliczenia kosztów budowy płyt wykonano w 144 wariantach, przyjmując grubość płyty 25 i 30 cm, stopień zbrojenia 0,8 do 1,5% z gradacją co 0,1%, występowanie ostróg płyty (lub ich brak), cenę stali zbrojeniowej minimalną, średnią i maksymalną. Zastosowano stal zbrojeniową Ø12, Ø 14 i Ø16. W obliczeniach uwzględniono ceny usług geotechnicznych. Wyniki zestawiono w postaci wykresów i tabelarycznie.

Słowa kluczowe: koszt płyt fundamentowych, badania geotechniczne, stopień zbrojenia.

Abstract: An analysis of the cost of making reinforced concrete foundation slabs placed in an area with simple and complex soil conditions was carried out. A reinforced concrete slab with an area of 100 m² was subjected to computational analysis. Calculations of slab construction costs were made in 144 variants, assuming a slab thickness of 25 and 30 cm, a degree of reinforcement of 0.8 to 1.5% with a gradation of 0.1%, the presence of slab spurs, the minimum, average and maximal prices of steel. Reinforcing steel Ø12, Ø14 and Ø16 were used. The calculations take into account the prices of geotechnical services. The results were presented in the form of graphs and tables.

Keywords: cost of foundation slabs, geotechnical tests, degree of reinforcement.

1. Wprowadzenie

Grunt wysadzinowy powoduje wiele problemów już podczas wstępnych etapów budowy. Jeśli prace zostaną przeprowadzone nieprawidłowo, to może dojść do wysadzania fundamentów, co wiąże się z uszkodzeniem obiektu budowlanego. Koszt naprawy obiektów budowlanych może wielokrotnie przewyższać koszty poniesione na początku procesu inwestycyjnego na wykonanie badań geologicznych oraz projektów geotechnicznych. W artykule przedstawiono obliczenia mające na celu określenie różnicy kosztów wykonania płyt fundamentowych posadowionych na terenie o prostych i złożonych warunkach gruntowych. Pomimo, jak wykazano w obliczeniach, niewielkiej różnicy kosztów w etapie wstępnym budowy, nadal nie są wykonywane prawidłowe badania geologiczne podłoża, co skutkuje awariami i niejednokrotnie w sposób istotny generuje dodatkowe koszty na etapie użytkowania.

2. Badania geologiczno-inżynierskie

Właściwe wykonanie projektu budowlanego jest głównym czynnikiem determinującym pomyślne zakończenie

przedsięwzięcia inwestycyjno-budowlanego w zaplanowanym czasie i w zgodzie z prognozowanym budżetem. Integralną częścią projektu budowlanego jest projekt posadowienia budowli. Rzetelne wyniki badań geologiczno-inżynierskich stanowią podstawę do optymalizacji projektowania, zdefiniowania i oceny ryzyka geotechnicznego. Potencjalne geozagrożenia powinny być rozpoznane na etapie badań geologiczno-inżynierskich [3].

Badania geologiczne w Polsce wykonuje się w trzech etapach.

- Etap I

Stanowi rozpoznanie w celu opracowania programu funkcjonalno-użytkowego, planu zagospodarowania przestrzennego, koncepcji projektowej. Wykorzystuje się dane archiwalne oraz wykonuje się kilka lub kilkanaście odwiertów badawczych (w zależności od wielkości i rodzaju budowli). Analizuje się mapy geologiczne i topograficzne. W przypadku niewielkich projektów budowlanych zazwyczaj jest to jedyny realizowany etap [2].

- Etap II

Obejmuje wykonanie prac terenowych, laboratoryjnych, kameralnych, opracowanie szeregu dokumentacji – niezbędnych do uzyskania pozwolenia na budowę.

Jest to najbardziej kosztowny etap badań i dlatego program badawczy często obejmuje minimum wymagane przez urzędy zatwierdzające dokumentację geologiczno-inżynierskie. Inwestor lub działające na jego zlecenie biuro projektowe chcą przeważnie otrzymać dokument najtańszy, rezygnując często z jakości, którą zazwyczaj determinuje liczba przeprowadzonych testów, ich rodzaj i dobór do warunków lokalnych oraz doświadczenie wykonującego badania.

• Etap III

Badania wykonywane są na zlecenie generalnego wykonawcy tuż przed przystąpieniem lub w trakcie trwania prac budowlanych. W przypadku stwierdzenia odmiennych od pierwotnie zakładanych warunków gruntowo-wodnych istnieje zwykle konieczność zmiany projektu posadowienia budowli. Związane jest to z dużymi opóźnieniami wykonania przedsięwzięcia inwestycyjno-budowlanego oraz zwykle znaczącym wzrostem kosztu wykonania.

Problem nieprawidłowych badań geologicznych nie jest specyficzny w odniesieniu do Polski. Występuje na całym świecie. Badania naukowców w Portugalii [6] wykazały, że klienci i wykonawcy są zgodni co do tego, że główne przyczyny przekroczenia kosztów wynikały z błędów projektowych (56% budów), bezpośrednich zmian zleconych przez klienta (55%) oraz odmiennych warunków na placu budowy ze względu na przeszkody geologiczne i geotechniczne (55%).

Problem analizowany był również przez naukowców z Tajwanu [8]. Zmiany projektowe występujące w projektach budowlanych często powodowały przekroczenie kosztów i czasu realizacji. Zarządzanie zmianą ocenili jako kluczowe zagadnienie w zarządzaniu projektem. Analiza wskazuje ponadto, że aby zapobiec zmianom w projekcie, z powodu niedostatecznych badań geologicznych, należy wzmocnić badania terenowe na etapie analizy wykonalności i planowania projektu dla przyszłych podobnych projektów.

Jedną z podstawowych niewiadomych w inżynierii geotechnicznej jest ryzyko napotkania niespodziewanego stanu geologicznego. Wynika to z faktu, że materiały geologiczne są często nieregularnie ułożone i bardzo zmienne pod względem właściwości materiałowych i masowych. Nieprowadzenie w przewidywaniu warunków gruntowych w miejscu budowy wynika na ogół z niedostatecznego rozpoznania geologicznego [1].

Warunki gruntowe na placu budowy stały się gorsze niż kiedykolwiek z powodu nadmiernego zaludnienia obszarów miejskich na całym świecie. Dobrej jakości materiały budowlane są cennym zasobem, który należy pozostawić następnym pokoleniom. Z tych powodów oraz ze względu na ograniczenia środowiskowe dotyczące robót publicznych w ostatnim dziesięcioleciu wzmacnianie podłoża staje się niezbędnym elementem projektów rozwoju infrastruktury zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się. Podstawowe zasady wzmacniania podłoża były niezmiennie od początku historii ludzkości. Praktyka jednak zmieniła się z czasem ze względu na rozwój nowych

materiałów, nowych maszyn, nowych technologii. Obecny stan wiedzy przedstawia zasady ulepszania gruntu i skupia się na najnowszym rozwoju takich tradycyjnych technologii, jak zagęszczanie, konsolidacja/odwadnianie i stabilizacja domieszkami [7].

Prowadzone są prace naukowe mające na celu udoskonalenie i automatyzację kontroli jakości badań geologicznych i geotechnicznych, np. metodą transformacji modelu geologicznego CRM [9].

Z doświadczenia [5] wynika, że główne nieprawidłowości obserwowane w dokumentowaniu to:

- ograniczanie zakresu badań geologiczno-inżynierskich oraz badań podłoża gruntowego;
- wykonywanie dokumentacji geologiczno-inżynierskich wyłącznie na podstawie danych archiwalnych z dokumentacji badań podłoża;
- niska jakość wierceń;
- nieprzestrzeganie zasad dotyczących pomiarów hydrogeologicznych oraz lokalizacji punktów dokumentacyjnych;
- ograniczanie zakresu badań laboratoryjnych do cech fizycznych;
- niewłaściwe dobieranie metod badań do warunków gruntowych;
- wyznaczanie parametrów fizyczno-mechanicznych na podstawie normy PN-B-03020;
- obniżenie poziomu wiedzy geologicznej, doświadczenia i umiejętności geologów – dokumentatorów;
- powszechne powielanie treści, co wpływa na obniżanie jakości dokumentacji oraz rozwiązań interpretacyjnych;
- brak wpływu dokumentatora na zakres i metodykę wykonywania badań geologiczno-inżynierskich.

W piśmiennictwie polskim i zagranicznym znajdujemy doskonałe opracowania zasad prowadzenia i dokumentowania badań geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych [10]. Doskonale opracowane normy:

- PN-EN 1997 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne;
- do badań identyfikacyjnych: PN-EN ISO 14689 Oznaczenie i klasyfikowanie skał (2 części), PN-EN ISO 14688 Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów (3 części);
- do badań laboratoryjnych: PKN-CEN ISO/TS 17892 Badania laboratoryjne gruntów (12 części);
- do badań polowych: PN-EN ISO 22476 Badania polowe (13 części), EN ISO 22477 Badania konstrukcji geotechnicznych (7 części), PN-EN ISO 22475 Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych (3 części), PN-EN ISO 22282 Badania hydrogeologiczne (6 części) powinny zapewnić bezpieczeństwo finansowe inwestora i wyeliminowanie błędów projektowych związanych z niewłaściwymi badaniami podłoża. Przykładowe awarie budynków związane z nieprawidłowymi badaniami geotechnicznymi przedstawiono na rysunkach 1–4.

Naprawa obiektów budowlanych po awariach związanych z niewłaściwą oceną podłoża gruntowego jest bardzo



Rys. 1. Zamek Książąt Pomorskich (<https://www.ppoz.pl/czytelnia/rozpoznawanie-zagrozen/Unikatowa-katastrofa-/idn:1817>)



Rys. 3. Odszpajanie belek nadprożowych – budynek szkolny w województwie lubelskim

kosztowna. Dotyczy zwykle: konieczności wzmocnienia podłoża, remontu elementów budynku, które uległy uszkodzeniu, zamówienia projektu remontu, zawieszenia użytkownika. Inwestor ponosi ogromne straty, zwłaszcza jeśli obiekt



Rys. 2. Budynek mieszkalny w Stargardzie (<https://szczecin.wyborcza.pl/szczecin/7,34939,28445840>)



Rys. 4. Destrukcja okładziny cokołów – budynek szkolny w województwie lubelskim

został wybudowany z kredytu bankowego, przy założeniu uzyskiwania dochodów z jego użytkowania.

3. Studium przypadku

Analizie obliczeniowej poddano hipotetyczny budynek posadowiony na płycie żelbetowej o powierzchni 100 m². Obliczenia kosztów budowy płyt wykonano

Tabela 1. Zestawienie średnich cen usług geotechnicznych

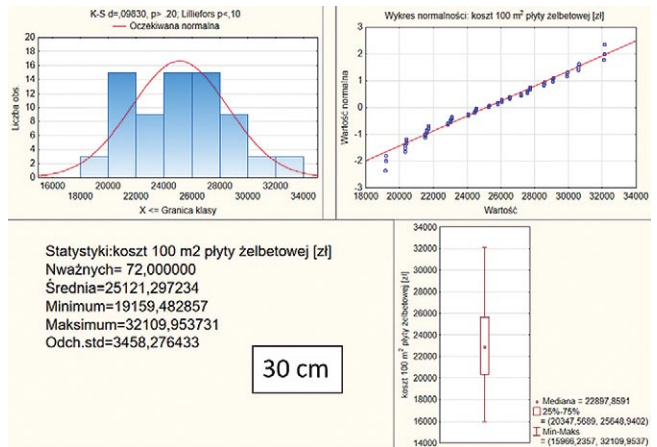
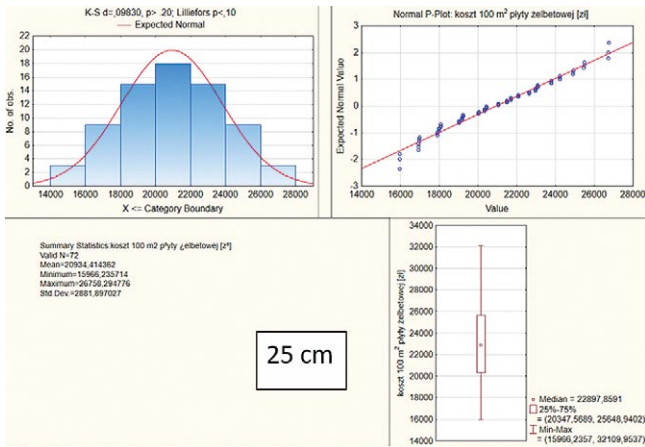
Lp	Nazwa usługi	Cena [zł]
1	Opinia geotechniczna pod dom niepodpiwniczony – 3 odwierty nieorurowane w gruncie w obrysie planowanego budynku, sondowanie	1800,00
2	Opinia geotechniczna pod dom niepodpiwniczony – 2 odwierty nieorurowane w gruncie w obrysie planowanego budynku, sondowanie	1500,00
3	Opinia określająca możliwości wykonania przydomowej oczyszczalni ścieków	1250,00
4	Opinia hydrogeologiczna na potrzeby wydania warunków zabudowy	3000,00
5	Projekt geotechniczny	od 2500,00
6	Badania geofizyczne georadarem	5800,00 za dzień
7	Opinia geotechniczna pod dom podpiwniczony – 3 odwierty nieorurowane w gruncie w obrysie planowanego budynku, sondowanie	2250,00

Tabela 2. Zestawienie pozycji kosztorysowych wykorzystywanych do wyceny żelbetowych płyt fundamentowych

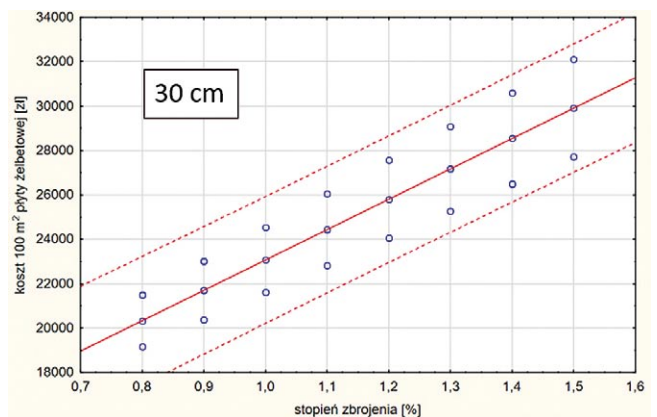
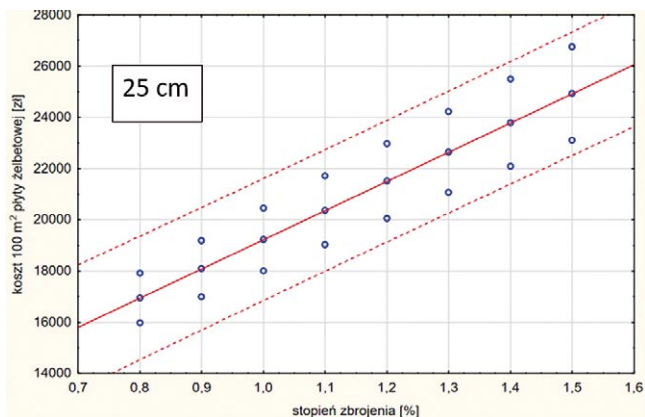
Lp	Pozycja kosztorysowa	Opisy	Nakłady	Koszty z narzutami
1	KNR 2-01 0207-02	Roboty ziemne wykonywane koparkami podsiębiernymi o pojemności łyżki 1,20 m ³ w gruncie kat. III z transportem urobku samochodami samowyladowczymi na odległość do 1 km	7,7 m ³	175,58 zł
2	KNR-W-2-02 0205-01	Płyty fundamentowe żelbetowe z zastosowaniem pompy do betonu	30 m ³	9381,30 zł
			25 m ³	7817,75 zł
3	KNR 2-02 0290-02	Przygotowanie i montaż zbrojenia elementów budynków i budowli – pręty zbrojone o średnicy 8–14 mm – z pominięciem kosztu stali zbrojeniowej	Zgodnie ze stopniem zbrojenia	2,54 zł/kg zbrojenia

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
średnica pręta zbrojeniowego [mm]	średnica pręta zbrojeniowego [mm]	powierzchnia przekroju pręta [cm ²]	stopień zbrojenia [%]	v5/100	liczba sztuk w m ² płyty	waga 1 mb pręta [kg]	waga pręta zbrojeniowego na 100 m ² płyty	waga pręta zbrojeniowego na 100 m ² płyty	cena stali zbrojeniowej [zł/kg]	Cena zbrojenia na 10C m ² płyty
F12	1,13	3000	0,8	0,008	21,2303381	0,888	18,065177	1885,02177	5,16	9731,85133
F12	1,13	3000	0,9	0,009	23,830053	0,888	21,2170991	2121,70991	5,16	10948,1327
F12	1,13	3000	1	0,01	26,5486726	0,888	23,5752212	2357,52212	5,16	12164,8142
F12	1,13	3000	1,1	0,011	29,2035398	0,888	25,9227434	2592,27434	5,16	13381,2954
F12	1,13	3000	1,2	0,012	31,8584071	0,888	28,2692655	2826,92655	5,16	14597,77
F12	1,13	3000	1,3	0,013	34,5132743	0,888	30,6147876	3061,47876	5,16	15814,2506
F12	1,13	3000	1,4	0,014	37,1681416	0,888	33,0053097	3300,53097	5,16	17030,7302
F12	1,13	3000	1,5	0,015	39,8230088	0,888	35,3508319	3535,08319	5,16	18247,2112
F12	1,54	3000	0,8	0,008	15,5844156	1,21	18,8571429	1885,71429	5,16	9730,2857
F12	1,54	3000	0,9	0,009	17,5346725	1,21	21,2142857	2121,42857	5,16	10946,5714
F12	1,54	3000	1	0,01	19,4849294	1,21	23,5714286	2357,14286	5,16	12162,8571
F12	1,54	3000	1,1	0,011	21,4351714	1,21	25,9285714	2592,85714	5,16	13379,1429
F12	1,54	3000	1,2	0,012	23,3766234	1,21	28,2857143	2828,57143	5,16	14595,4286
F12	1,54	3000	1,3	0,013	25,3249753	1,21	30,6428571	3064,28571	5,16	15811,7143
F12	1,54	3000	1,4	0,014	27,2772773	1,21	33	3300	5,16	17028
F12	1,54	3000	1,5	0,015	29,2297792	1,21	35,3571429	3535,71429	5,16	18244,2857
F16	2,01	3000	0,8	0,008	11,9402983	1,58	18,8696716	1886,96716	5,16	9734,6802
F16	2,01	3000	0,9	0,009	13,4323558	1,58	21,2238096	2122,38096	5,16	10951,5228
F16	2,01	3000	1	0,01	14,9237731	1,58	23,5820896	2358,20896	5,16	12168,3583
F16	2,01	3000	1,1	0,011	16,4179104	1,58	25,9402985	2594,02985	5,16	13385,194
F16	2,01	3000	1,2	0,012	17,9104476	1,58	28,2925075	2829,25075	5,16	14602,0299
F16	2,01	3000	1,3	0,013	19,4029251	1,58	30,6507164	3065,07164	5,16	15818,8652
F16	2,01	3000	1,4	0,014	20,8954224	1,58	33,0149254	3301,49254	5,16	17035,7012
F16	2,01	3000	1,5	0,015	22,3889097	1,58	35,3731343	3537,31343	5,16	18252,5372

Rys. 5. Fragment arkusza kalkulacyjnego w programie STATISTICA StatSoft



Rys. 6. Statystyki podstawowe kosztu zbrojenia płyt fundamentowych o grubości 25 i 30 cm, zbrojenia prętami zbrojeniowymi Ø12, Ø14 i Ø6 oraz cenach minimalnych, średnich i maksymalnych stali zbrojeniowej



Rys. 7. Wykresy zależności kosztu zbrojenia 100 m² płyty żelbetowej w zależności od stopnia zbrojenia i ceny prętów zbrojeniowych, ceny stali: minimalna, średnia i maksymalna, w odniesieniu do grubości płyty fundamentowej 25 i 30 cm

Rys. 8. Graficzne zestawienie kosztów zbrojenia płyt żelbetowych o grubości 25 i 30 cm w aspektach: stopnia zbrojenia, średnicy prętów zbrojeniowych i ceny stali zbrojeniowej

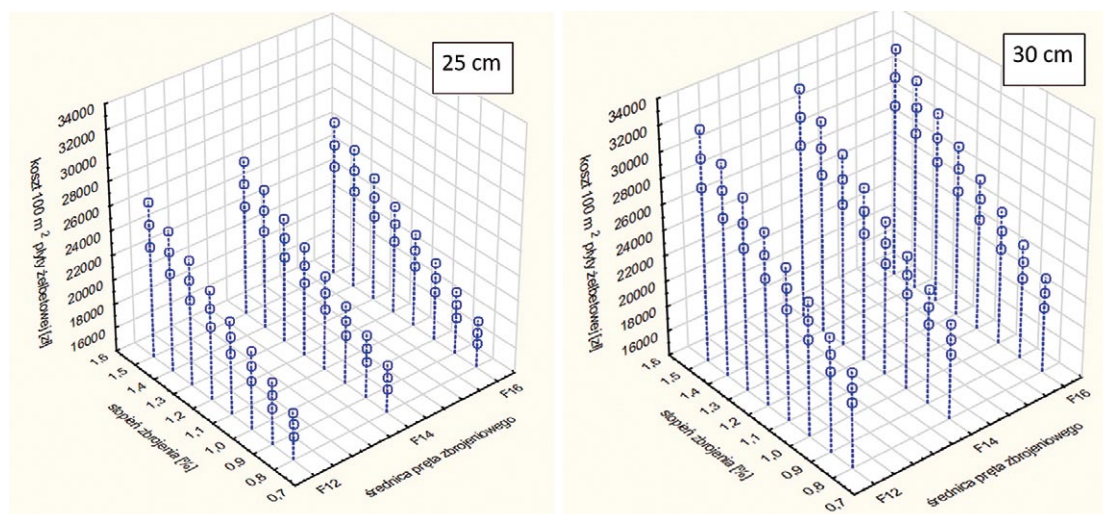


Tabela 3. Zestawienie kosztów minimalnych i maksymalnych badań geotechnicznych i geologicznych oraz budowy płyt fundamentowych żelbetowych o powierzchni 100 m²

Składniki kosztu	Koszt minimalny	Koszt maksymalny
	Warunki gruntowe proste	Grunt wysadzinowy
Badania geologiczne	1800 zł	7000 zł
Stopień zbrojenia	0,8%	1,5%
	15 966 zł	32 109 zł
Grubość płyty fundamentowej	25 cm	30 cm
	7817 zł	9772 zł
Występowanie ostróg płyty + roboty ziemne	NIE	TAK
	-	2880,00 zł
RAZEM	25 583zł	51 761 zł

Obliczenia wykonano w programie STATISTICA StatSoft. Fragment arkusza kalkulacyjnego przedstawiono na rysunku 5. Wyniki obliczeń – na rysunkach 6–8.

4. Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy wynika, że różnica kosztu 1 m² żelbetowej płyty fundamentowej wraz z badaniami geologicznymi, maksymalnie wynosi 261,78 zł, przyjmując najniższy koszt 255,83 zł/m² w odniesieniu do płyty o grubości 25 cm, o stopniu zbrojenia 0,8% posadowionych na terenie o prostych warunkach gruntowych oraz 517,61 zł w odniesieniu do płyty o grubości 25 cm, o stopniu zbrojenia 0,8% posadowionych na terenie o złożonych warunkach gruntowych. Szczegółowe zestawienie zaprezentowano w tabeli 3. Różnica kosztu badań geologicznych wynosi 5200 zł. Kwota ta, chociaż niewielka w odniesieniu do budowy obiektu budowlanego, stanowi skuteczną zaporę w podejmowaniu przez inwestorów pełnych badań geologicznych. Również wizja wzniesienia płyty fundamentowej o wyższych parametrach wytrzymałościowych powoduje rezygnację z przeprowadzenia właściwych badań gruntu. Jest to oczywiście nieprawidłowe i często prowadzi do generowania bardzo wysokich kosztów działań naprawczych w okresie budowy lub eksploatacji obiektu budowlanego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fookes P. G., Baynes F. J., Hutchinson J. N., Total Geological History: A Model Approach To The Anticipation, Observation And Understanding Of Site Conditions, Paper presented at the ISRM International Symposium, Melbourne, Australia, listopad 2000
- [2] Grela M., O konieczności profesjonalnego wykonywania badań, Inżynieria i Budownictwo 11/2013, str. 578–579
- [3] Grela M., Tarczyński K., Problemy projektowania i wykonywania badań geologiczno-inżynierskich w Polsce, Przegląd Geologiczny, tom 62, 10(2)2014
- [4] Kłosiński B., Perspektywy zmian Eurokodu 7: Projektowanie geotechniczne, Inżynieria i Budownictwo 3/2017
- [5] Majer E., Sokołowska M., Frankowski Z., Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2018
- [6] Moura H. M. P., Teixeira J. M. C., Pires B., Dealing with cost and time in the Portuguese construction industry, CIB World Building Congress, Cape Town, South Africa, 2007 – Construction for development: proceedings of the CIB World Building Congress 2007 (S.l.: CIB, 2007)
- [7] Terashi M., Juran I., Ground Improvement – State Of The Art. Paper presented at the ISRM International Symposium, Melbourne, Australia, listopad 2000
- [8] Ting-ya H., Wen-lon Cheng, Statistical analysis of causes for design change in highway construction on Taiwan, International Journal of Project Management, tom 23, 7, październik 2005, str. 554–563, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108370>
- [9] Wu H., Zhao Y., Zhang D., Automatic control method of construction quality of geological survey in geotechnical engineering. Arab J Geosci 13, 836 (2020), <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05809-6>
- [10] Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T., Projektowanie według Eurokodów, ITB 2011, ISBN: 978-83-249-4831-4