

POSADOWIENIE BUDYNKU SZKOLNEGO W UJĘCIU NORM: PN-59/B-03020, PN-81/B-03020 i PN-EN-1997-1

Jerzy SĘKOWSKI*, Magdalena GAWLIK

Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5/214, 44-100 Gliwice

Streszczenie: Poprawnie posadowiony obiekt wymaga spełnienia warunków nośności i użyteczności (naprężeń dopuszczalnych i dopuszczalnych osiadań). Rozwój wiedzy z zakresu szeroko pojętej geotechniki na przestrzeni ostatnich lat skutkował między innymi zmianami norm projektowania wspomnianych posadowień. W Polsce w ostatnich sześćdziesięciu latach było ich kilka. Różniła je filozofia projektowania a także procedury obliczeniowe. Od roku 2010 obowiązuje EUROKOD 7. Jego praktyczne wprowadzenie potrwa z pewnością jakiś czas, wypełniony dyskusją nawiązującą do norm obowiązujących dotychczas. W prezentowanym artykule podjęto taką próbę. Jej podstawą jest rozwiązanie odnoszące się do obiektu budowlanego posadowionego bezpośrednio zgodnie z normą PN-81/B-03020. W artykule porównano wymiary wybranych stóp i ławy fundamentowej budynku, zaprojektowanych według normy PN-81/B-03020 z obliczonymi według norm: PN-59/B-03020 i PN-EN-1997-1. Wyniki obliczeń nie różnią się istotnie. Mogłoby to oznaczać, że w przypadku niewielkich obiektów kubaturowych w obliczeniach inżynierskich analizowane normy dają podobne wyniki.

Słowa kluczowe: posadowienie bezpośrednie, projektowanie, norma, analiza.

1. Wprowadzenie

Sposób posadowienia obiektów oraz rodzaj przyjętych fundamentów a także ich wymiary uzależnione są zasadniczo od warunków gruntowo-wodnych podłoża i charakterystyki konstrukcyjnej obiektów. Poprawnie posadowiony obiekt wymaga spełnienia warunków nośności i użyteczności, a w ujęciu chronologicznie starszym – naprężeń dopuszczalnych i dopuszczalnych osiadań.

Rozwój wiedzy z zakresu geotechniki na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat przekłada się między innymi na zmiany w zakresie filozofii projektowania a także samego projektowania fundamentów. Potwierdzają to stosowne akty normatywne odnoszące się do fundamentów bezpośrednich i pośrednich a także różnych konstrukcji geotechnicznych. Od roku 2010 obowiązuje w kraju EUROKOD 7, reprezentujący pakiet norm odnoszących się do konstrukcji budowlanych. Proces „uczenia się” Eurokodu oraz praktycznego wdrożenia do praktyki projektowanej potrwa z pewnością jakiś czas, a towarzyszyć temu będą dyskusje i odniesienia do rozwiązań dotychczasowych. Te ostatnie mogą towarzyszyć ekspertom analizującym rozwiązania

istniejące w kontekście aktualnie obowiązujących wymagań Eurokodu 7.

W prezentowanym artykule podjęto taką próbę. Jakkolwiek jej podstawą jest pojedynczy obiekt budowlany to, zdaniem autorów, spostrzeżenia z przeprowadzonych obliczeń i analizy otrzymanych rozwiązań wydają się interesujące z inżynierskiego punktu widzenia.

2. Przegląd dotychczasowych norm krajowych

Jako pierwszą obowiązującą po II wojnie światowej w kraju wymieniają Wysokiński (2009), Wysokiński i in. (2011) normę z roku 1949 – PN/B-149 *Klasyfikacja gruntów ich bezpieczne obciążanie*, która zawierała wartości naprężeń dopuszczalnych dla określonych gruntów na stosunkowo ostrożnym poziomie. Norma z roku 1959, podobnie jak poprzednia, wykorzystywała naprężenia dopuszczalne podając te wartości dla różnych gruntów na poziomie 2 m (k_2), łącznie z propozycją ich przeliczenia na dowolnym poziomie posadowienia obiektu. Zawierała także propozycję, którą można by zaliczyć dzisiaj do stanów granicznych z deterministycznie zdefiniowanym współczynnikiem

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: jerzy.sekowski@polsl.pl

bezpieczeństwa. Normy: z roku 1981 i wcześniejsza z roku 1974, podobnie jak poprzednia typu nakazowego, była już normą stanów granicznych (stan nośności i użyteczności), wykorzystującą w obliczeniach projektowych parametry charakterystyczne i obliczeniowe. W Eurokodzie 7, wykorzystującym również filozofię stanów granicznych i teorię niezawodności, podstawą obliczeń są zasadniczo parametry określone w badaniach a projektant posiada większą swobodę w zakresie ich prowadzenia.

Wysokiński i in. (2011) bardzo szeroko przybliżają zasady Eurokodu 7, jak również praktyczny sposób jego stosowania przy projektowaniu fundamentów bezpośrednich i pośrednich oraz konstrukcji oporowych, a także w analizie stateczności skarp i zboczy

3. Przedstawienie problemu

Budynek szkolny, będący przedmiotem artykułu, został wykonany w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Podstawę do przyjętego posadowienia była obowiązująca wówczas norma PN-81/B-03020 *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*. Zachowały się: dokumentacja techniczna obiektu i opinia geotechniczna, zawierająca wyniki badań podłoża gruntowego i wartości parametrów geotechnicznych. Brak jest natomiast obliczeń fundamentów obiektu.

Sytuacja powyższa stanowiła punkt wyjścia dla szerszej analizy przyjętego posadowienia, której podstawą były akty wybrane normatywne obowiązujące w kraju po II wojnie światowej, to jest normy: PN-59/B-03020 *Grunty budowlane. Wytyczne wyznaczania dopuszczalnych obciążeń jednostkowych*, PN-81/B-03020 i PN-EN-1997-1 *Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne*.

Celem prezentowanego artykułu jest ocena, z punktu widzenia projektanta, posadowienia istniejącego budynku w ujęciu wspomnianych powyżej norm.

4. Charakterystyka obiektu i przyjętego posadowienia

Budynek szkolny to obiekt dwukondygnacyjny wysokości 7,5 m o ścianowym i płytowo-słupowym ustroju nośnym i wymiarach w rzucie: 19,85 m × 25,40 m. Posadowiono go bezpośrednio na ławach i stopach fundamentowych (rys. 1).

5. Warunki gruntowo-wodne

Teren zabudowy został rozpoznany do głębokości 5 m ppt. Badania laboratoryjne wiodących parametrów geotechnicznych wykonano zgodnie z obowiązującą wówczas normą PN-88/B-04481 *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu*, pozostałe ustalono metodą B.

Podłoże gruntowe do rozpoznanej głębokości budują utwory czwartorzędowe, reprezentowane przez grunty mało i średnio spoiste w stanie twardoplastycznym oraz w stanie plastycznym. Powierzchniowo cały teren pokrywa warstwa gleby (lokalnie nasypów) o miąższości do około 0,8 m. W podłożu do rozpoznanej wierceniami głębokości nie nawiercono wody gruntowej. Wyróżniono w nim, pomijając przypowierzchniowe nasypy i glebę, dwie warstwy geotechniczne, a mianowicie warstwę IIa – obejmującą grunty mało i średnio spoiste (pyły, gliny pylaste), w stanie twardoplastycznym ($I_L = 0,19$) oraz warstwę IIb – obejmującą podobne rodzajowo grunty, lecz w stanie plastycznym ($I_L = 0,36$). Te ostatnie mają niewielką miąższość (od 0,4 m do 1,1 m) i występują w części środkowej podłoża, przedzielając wspomniane powyżej grunty warstwy IIa.

W tablicy 1 zestawiono wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych przyjęte dla poszczególnych warstw metodą B z normy PN-81/B-03020 dla parametrów wiodących (IL) natomiast w tablicy 2 parametry obliczeniowe, wyznaczone dla $\gamma_m = 0,9$.

Na rysunku 2 przedstawiono wybrany przekrój geotechniczny, z najpłycej (2,0 m ppt.) występującą warstwą IIb.

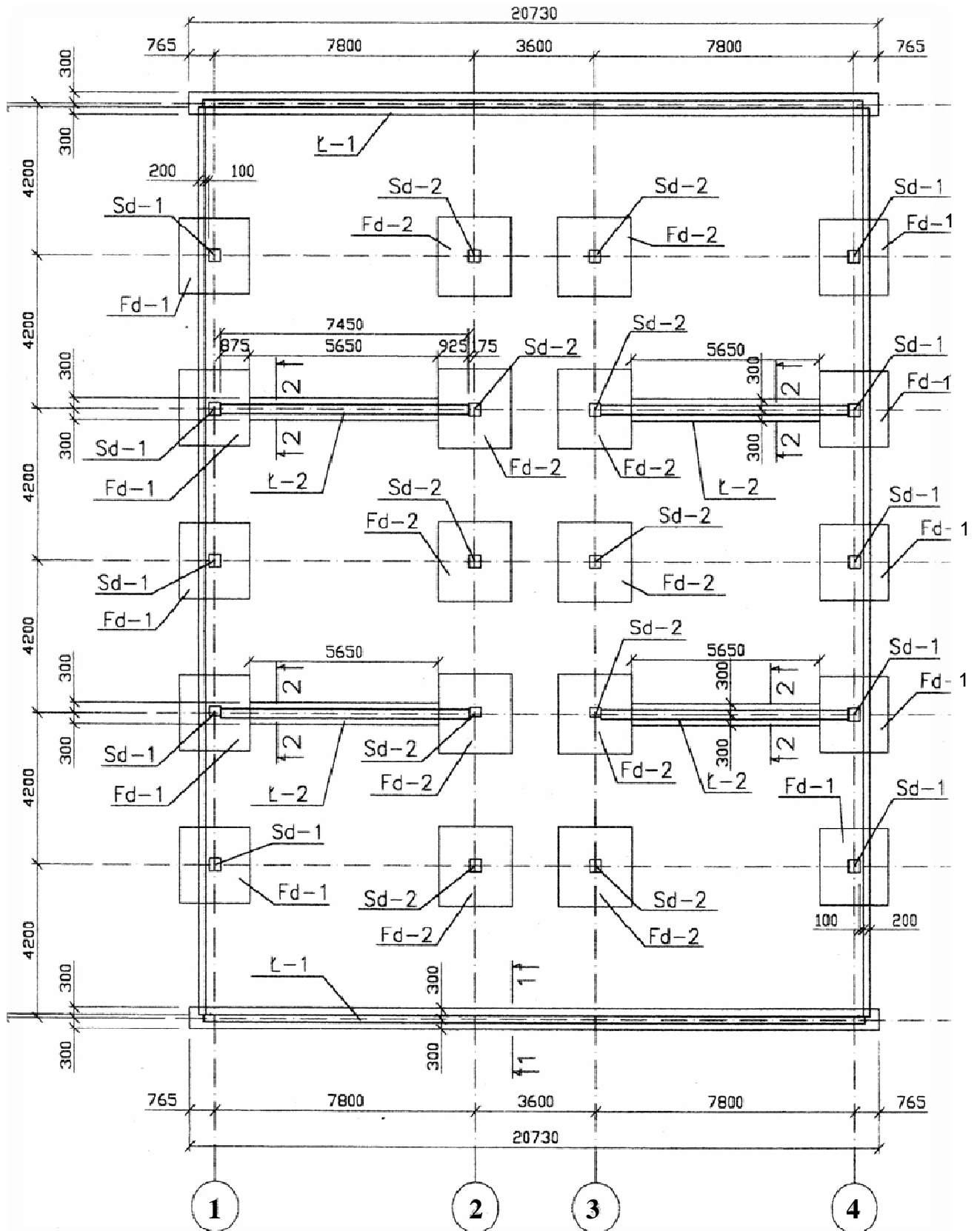
Tab. 1. Zestawienie parametrów charakterystycznych $X(n)$

Rodzaj gruntu	Stan gruntu	Ciężar objętościowy	Spójność	Kąt tarcia	Moduł ścisłości	Moduł ścisłości
	I_L	$\gamma^{(n)}$	$c_u^{(n)}$	wewnętrznego	$M_0^{(n)}$	$M^{(n)}$
	[1]	[kN/m ³]	[kPa]	$\phi_u^{(n)}$	[MPa]	[MPa]
II a	0,19	21,0	16,0	15,0	30,0	50,0
II b	0,36	20,0	13,0	12,5	21,0	35,0

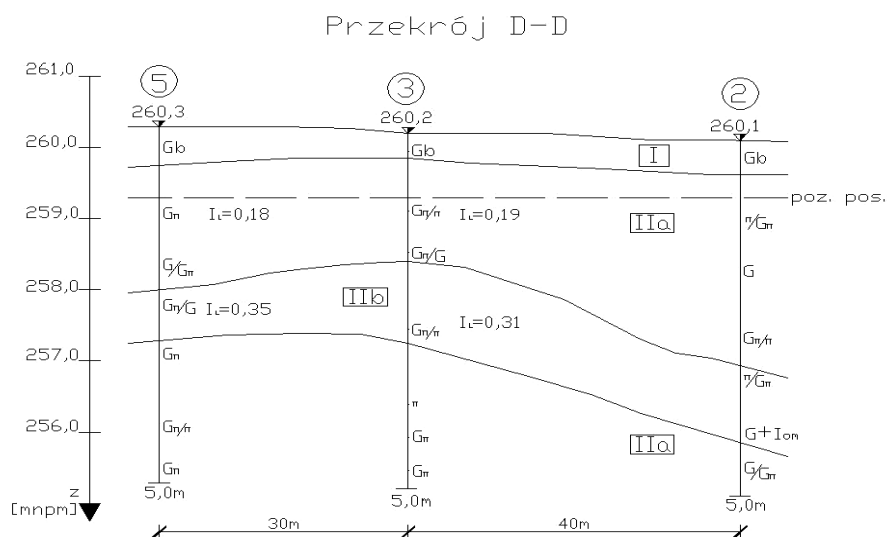
Tab. 2. Zestawienie parametrów obliczeniowych $X^{(r)} = X^{(n)} \cdot \gamma_m$

Rodzaj gruntu	Ciężar objętościowy	Spójność	Kąt tarcia	Współczynniki nośności *		
				N_D	N_C	N_B
	$\gamma^{(r)}$	$c_u^{(r)}$	wewnętrznego			
	[kN/m ³]	[kPa]	$\phi_u^{(r)}$	[1]	[1]	[1]
II a	18,9	14,4	13,5	3,43	10,09	0,44
II b	18,0	11,7	11,25	2,63	8,41	0,24

* współczynniki nośności (N_D , N_C , N_B) wyznaczone za PN-81/B-03020



Rys. 1. Rzut fundamentów



Rys. 2. Wybrany przekrój geotechniczny

Projektant posadził budynek szkolny bezpośrednio na poziomie $D = 1,0$ m ppt. Zaprojektowane fundamenty miały następujące wymiary:

- stopa skrajna $B \times L \times H = 1,2 \times 1,8 \times 0,4$ m,
- stopa środkowa $B \times L \times H = 1,4 \times 2,1 \times 0,4$ m,
- ława skrajna $B \times H = 0,6 \times 0,3$ m.

6. Przyjęte fundamenty w świetle norm krajowych

6.1. Założenia

Autorzy, wobec braku odpowiednich obliczeń, wykorzystując parametry geotechniczne zestawione w tablicy 1 i 2, sprawdzili (według normy PN-81/B-03020) przyjęte przez projektanta wymiary trzech wybranych fundamentów (ława skrajna, stopa skrajna i stopa środkowa – rysunek 2) a także obliczyli ich osiadania. Te same fundamenty zostały następnie zaprojektowane według PN-59/B-03020 i PN-EN-1997-1, dla obciążeń zestawionych według odpowiednio obowiązujących norm obciążeń: PN-60/B-02009 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia stałe i użytkowe* i PN-EN-1991-1-1 *Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach*, PN-EN-1991-1-3 *Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem*, PN-EN-1991-1-4 *Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru*. Warunek nośności (naprężeń dopuszczalnych)

sprawdzano dla poziomego posadowienia i stropu warstwy IIb, decydującej de facto o ich spełnieniu.

Dla uproszczenia, w nawiązaniu do fundamentów istniejących, przyjęto przekrój prostokątny dla ławy i stóp odpowiednio o wysokości 0,3 m i 0,4 m. Osiedlenia poszczególnych fundamentów określano metodą naprężeń do poziomu strefy aktywnej.

6.2. Posadowienie bezpośrednie w ujęciu normy PN-81/B-03020

Warunek nośności (I SG) sprawdzano porównując opór obliczeniowy podłoża gruntowego (Q_{fnB}) z obciążeniem obliczeniowym (Q_r) w poziomie posadowienia i w poziomie stropu warstwy podścielającej dla fundamentu odpowiednio o szerokości B i szerokości zastępczej B' . Dla poszczególnych fundamentów określony został stopień wykorzystania nośności podłoża gruntowego

6.3. Posadowienie bezpośrednie w ujęciu normy PN-59/B-03020

Wymiary poszczególnych fundamentów dobrano metodą II, odczytując z tablicy 2 normy PN-59/B-03020 wartości naprężeń dopuszczalnych na poziomie 2 m (k_2) dla kolejnych gruntów a następnie sprawdzając warunki normowe w poziomie posadowienia i stropie warstwy podścielającej.

Parametry geotechniczne dla potrzeb stosownych obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zestawienie parametrów charakterystycznych

Rodzaj gruntu	Stan gruntu Sp [1]	Ciężar objętościowy γ_0 [kN/m ³]	Spójność c [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego φ [°]	Moduł ściśliwości E' [MPa]	Moduł ściśliwości E'' [MPa]
II a	0,19	21,0	16,0	15,0	30,0	50,0
II b	0,36	20,0	13,0	12,5	21,0	35,0

6.4. Posadowienie bezpośrednie w ujęciu normy PN-EN-1997-1 (Eurokod 7)

Wymiarowanie fundamentu wykonano zgodnie z założeniami podejścia obliczeniowego 2* według kombinacji A1 + M1 + R2.

Współczynniki częściowe do sprawdzenia stanów granicznych nośności odczytano z normy PN-EN-1997-1, załącznik A. Nośność obliczeniową wyznaczono dla warunków gruntowych z odpływem.

Parametry geotechniczne przyjęte do obliczeń zestawiono w tabeli 4 (parametry charakterystyczne) oraz w tabeli 5 (parametry obliczeniowe).

Współczynniki częściowe: γ_g , γ_c , γ_ϕ przyjęto z tablicy A4 za PN-EN-1997-1 równe 1,0

Obciążenia zestawiono zgodnie z normą PN-EN-1991-1 i PN-EN-1991-1-4. Kombinacje wykonano w programie Autodesk Robot Structural Analysis 2011 Professional.

Zdefiniowano 4 typy obciążenia: ciężar własny (obciążenia stropu), ciężar użytkowy, obciążenie wiatrem i śniegiem (obciążenia zmienne). Wykonane zostały 2 kombinacje obciążeń: kombinacja SGN (do sprawdzenia nośności fundamentu i wyliczenia zbrojenia) oraz SGU (do sprawdzenia stanu granicznego użytkowania).

6.5. Zestawienie otrzymanych wyników

Wyniki, obejmujące wymiary fundamentów ($B \times L$) i ich powierzchnię (A) oraz procent wykorzystanej nośności (naprężeń dopuszczalnych) a także osiadania poszczególnych fundamentów, otrzymane z obliczeń przeprowadzonych zgodnie z normami: PN-59/B-03020, PN-81/B-03020 oraz PN-EN-1997-1 zestawiono w tablicach 6, 7 i 8.

Tab. 4. Zestawienie parametrów charakterystycznych

Rodzaj gruntu	Stan gruntu I_L [1]	Ciężar objętościowy γ_k [kN/m ³]	Spójność c_k [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ_k [°]	Moduł ściśliwości M_0 [MPa]	Moduł ściśliwości M [MPa]
II a	0,19	21,0	16,0	15,0	30,0	50,0
II b	0,36	20,0	13,0	12,5	21,0	35,0

Tab. 5. Zestawienie parametrów obliczeniowych

Parametry	γ_d kN/m ³	ϕ_d [°]	c_d kPa
II a	21	15	16
II b	20	12,5	13

Tab. 6. Zestawienie wyników dla stopy skrajnej

Kategoria	PN-59/B-03020	PN-81/B-03020	PN-EN 1997-1
Wymiary fundamentu [m]	$B \times L = 1,4 \times 2,1$ $h_f = 0,4$	$B \times L = 1,2 \times 1,8$ $H = 0,4$	$B \times L = 1,3 \times 2,0$ $d_f = 0,4$
Wykorzystanie nośności [%]	99,6	88	98,5
Osiadania [mm]	$s = 5,96$	$s = 5,94$	$s = 4,84$

Tab. 7. Zestawienie wyników dla stopy środkowej

Kategoria	PN-59/B-03020	PN-81/B-03020	PN-EN 1997-1
Wymiary fundamentu [m]	$B \times L = 1,6 \times 2,4$ $h_f = 0,4$	$B \times L = 1,4 \times 2,1$ $H = 0,4$	$B \times L = 1,6 \times 2,4$ $d_f = 0,5$
Wykorzystanie nośności [%]	96,0	92,0	99,0
Osiadania [mm]	$s = 6,76$	$s = 7,42$	$s = 6,00$

Tab. 8. Zestawienie wyników dla ławy fundamentowej

Kategoria	PN-59/B-03020	PN-81/B-03020	PN-EN 1997-1
Wymiary fundamentu [m]	B = 0,6 h _f = 0,3	B = 0,6 H = 0,3	B = 0,7 d _f = 0,3
Wykorzystanie nośności [%]	45,0	31,0	69,5
Osiadania [mm]	s = 2,06	s = 1,79	s = 2,28

7. Podsumowanie

Obowiązujące w kraju na przestrzeni minionych lat normy projektowania fundamentów bezpośrednich: PN-59/B-03020, PN-81/B-03020, zastąpiono w roku 2010 normą PN-EN-1997-1 (Eurokod 7). Normy powyższe różni między innymi filozofia podejścia do obliczeń. Pierwsza z nich (PN-59/B-03020) opierała się na wyznaczaniu naprężeń dopuszczalnych w gruncie oraz sprawdzeniu wielkości spodziewanych osiadań. Norma PN-81/B-03020 (rozwiniecie normy PN-74/B-03020) wprowadziła stany graniczne: stan graniczny nośności oraz stan graniczny użyteczności. Norma PN-EN-1997-1, opiera się również na sprawdzeniu stanów granicznych, według jednej z czterech metod projektowych oraz jednego

z trzech podejść obliczeniowych. Norma ta, podając ogólne zasady projektowania, odsyła projektanta do załączników krajowych oraz innych przepisów szczegółowych.

Uzyskane z obliczeń wymiary stóp skrajnych oscylują w granicach: 1,2-1,4 × 1,8-2,1 m, stóp środkowych 1,4-1,6 × 2,1-2,4 m oraz ławy 0,6-0,7 m, a osiadania fundamentów różniły się nieznacznie (około 0,3-0,5 mm). Można zatem uznać, że w przypadku analizowanego obiektu kubaturowego, zaliczonego do I kategorii geotechnicznej, wymiary fundamentów jakie uzyskano przy zbliżonym poziomie wykorzystania nośności podłoża i porównywalnych osiadaniach były podobne, jakkolwiek norma PN-81/B-03020 wydaje się być nieco „odważniejsza” od pozostałych

Literatura

- Wysokiński L. (2009). Projektowanie geotechniczne. Od klasyfikacji gruntów do monitoringu obiektu według norm europejskich. *Geoinżynieria*, 2/2009, 26-46.
- Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T. (2011). Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Poradnik. *ITB*, Warszawa.

SCHOOL BUILDING FOUNDATION ACCORDING TO POLISH STANDARDS: PN-59/B-03020, PN-81/B-03020 AND PN-EN-1997-1

Abstract: A correctly founded structure needs to meet the ultimate limit states and the serviceability limit states (the limit states of allowed stress and allowed settlements). The knowledge on broadly defined geotechnics has developed, recently. Changes in design standards for the mentioned foundations were one of its consequences. In the last sixty years, the standards changed few times in Poland. Not only their philosophy was different, but also the calculation procedure. Since 2010, the Eurocode 7 has been currently applicable. In practice, its introduction will certainly take some time and the discussion concerning the former standards will take place. The presented paper is an attempt to take part in that discussion. It is based on the solution adopted for a structure with shallow foundation according to the PN-81/B-03020 standard. The paper presents the comparison between sizes of chosen pad foundations, as well as the strip foundation of the building, designed according to the PN-81/B-03020 standard and calculated according to the PN-59/B-03020 and PN-EN-1997-1 standards. There is no significant difference between the results. It may mean that, in the case of small buildings, the analysed standards give similar results in engineering calculations.