

SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH UŻYTKOWALNOŚCI W ŚWIETLE WYMAGAŃ NORMY EUROKOD 7

Krzysztof Parylak

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W pracy przedstawiono ogólne zasady wymiarowania konstrukcji budowlanych w zakresie stanów granicznych użyteczności w ujęciu normy PN-EN 1997-1:2008 Eurocode 7. Przedstawiono także aspekty odmienności projektowania użyteczności obiektów w stosunku do obowiązujących do niedawna polskich norm geotechnicznych. Omówiono zasadnicze aspekty projektowania fundamentów bezpośrednich i fundamentów na palach, konstrukcji oporowych, filtracyjnej stateczności podłoża, warunków stateczności ogólnej oraz stateczności budowli ziemnych. Wykazano, że obowiązujące w normie Eurokod 7 zasady w sposobach projektowania w założeniach nie odbiegają od metod obliczeniowych stosowanych dotychczas w Polsce, jednakże w Eurokodzie 7 zaproponowano do obliczeń nowe, złożone i zwiększające bezpieczeństwo współczynniki bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: Eurokod 7, projektowanie fundamentów, stany graniczne, osiadanie, ściany oporowe

WSTĘP

Jednym z najistotniejszych w ostatnich latach normalizacyjnych wydarzeń w geotechnice jest wprowadzenie norm PN-EN 1997-1: 2008 Eurocode 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne i PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego, opracowanych przez grupę roboczą stowarzyszeń geotechnicznych 10 krajów Wspólnoty Europejskiej. Europejski Komitet Normalizacji powołał Komitet Techniczny CEN/TC250, w którego ramach za Eurokod 7 odpowiedzialnym był Podkomitet SC. W 1993 roku przyjął on prenormę ENV 1997-1:1994, którą w 1997 roku decyzją CEN/TC250 przyjęto jako normę EN 7, uznając, że projektowanie geotechniczne jest nietypowe i jest traktowane tak samo jak inne dziedziny projektowania budowlanego. Dalsze prace nad korektami i zastąpieniem prenormy

Adres do korespondencji – Corresponding author: Krzysztof Parylak, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Budownictwa, pl. Grunwaldzki 24, 50-375 Wrocław, e-mail: krzysztof.parylak@up.wroc.pl

EN 1997-1 trwały do 2003 roku, a została ona opublikowana w 2004 roku. Jednocześnie dopuszczono możliwość tworzenia załączników krajowych CEN, których zadaniem są uzupełnienia ujmujące niektóre uwarunkowania regionalne czy reguły stosowane w poszczególnych krajach Unii Europejskiej [Kłosiński i Rychlewski 2009]. Dają one możliwość dostosowania normy do krajowych warunków i dotychczasowej praktyki. Jednakże pomimo obligatoryjnego wymogu przestrzegania zasad określonych w Eurokodzie 7 wprowadzane w tym zakresie w niektórych krajach zmiany wykraczają z przestrzegania określonych zasad. Zagadnienia te omawiane były w licznych publikacjach, głównie z ośrodków IBDiM i ITB w Warszawie [Kłosiński 2006, Kotlicki 2009, Wysokiński 2009, Kłosiński i Pieczyrak 2009, Kłosiński i Rychlewski 2009, Kłosiński 2013a]. Zasadniczo do 2008 roku, ale także później, wprowadzano do niej kolejne poprawki [Frank 2007, Kłosiński i Pieczyrak 2009]. Przykładowo polski załącznik do polskiej edycji normy PN-EN 1997-1:2008 zawierał korekty błędów przeniesionych z angielskiej wersji EN, przy czym w zakresie niektórych rozdziałów nie są one jeszcze niekompletne [PKN 2009, 2010a, b]. Podejmowanie zatem na obecnym etapie próby oceny ujednoczenia metod obliczeniowych i trafności rozwiązań jest trudne także w zakresie geotechnicznych uwarunkowań stanów użyteczności obiektów budowlanych.

ZAKRES ZAGADNIENÍ OBEJMUJĄCYCH WYMIAROWANIE STANEM GRANICZNEJ UŻYTKOWALNOŚCI

Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7 obejmuje cztery sposoby wykazania, że nie zostaną przekroczone stany graniczne: przeprowadzenie obliczeń, stosowanie wymagań i przepisów, użycie modeli doświadczalnych i próbnych obciążeń oraz zastosowanie metod obserwacyjnych. Zatem podstawą projektowania jest sprawdzenie wszystkich granicznych przypadków zagrożenia projektowanej budowli awarią lub katastrofą, a więc stanów granicznych nośności dla każdej sytuacji projektowej oraz spodziewanych przemieszczeń, czyli stanów granicznej użyteczności. Ocenia się, że w praktyce osiadania budowli są powszechnie występującymi stanami granicznymi przydatności eksploatacyjnej. Jednakże wiadomo, że w przypadku podłoży skalistych, niespoistych gruntów zagęszczonych oraz gruntów spoistych w stanie twardoplastycznym i zwartym osiadania są nieznaczące.

W przyjętych w Eurokodzie 7 zasadach wykonywania obliczeń wymaga się uwzględnienia oddziaływań od budowli i oddziaływań geotechnicznych. Oddziaływania od budowli wynikają z obciążeń stałych i zmiennych, tj. od ciężaru własnego, obciążenia użytkowego oraz wiatru i śniegu. Oddziaływania geotechniczne to następstwa i zmiany, jakie mogą wystąpić w wyniku zjawisk i procesów zachodzących w podłożu w okresie eksploatacji. Mogą je stanowić: parcie gruntu i wody, ciężar gruntu, ciśnienie spływowe czy parcie gruntu spowodowane obciążeniem naziomu.

Nie uszczegółowiono należycie problemów związanych z prognozą oddziaływania na budowlę skutków zmian wilgotnościowych ekspansywnego podłoża, skutków oddziaływania obciążeń dynamicznych czy sposobów projektowania w przypadkach posadowienia budowli na gruntach wysadzinowych.

Nie przewidziano także rozwiązań wynikających z obciążeń i stanów sytuacji wyjątkowych, jak: następstwa powodzi w przypadku obiektów posadowionych na terenach zalewowych lub okresowo podtopionych, awarie drenaży skutkujące nawodnieniem podłoża oraz awarie sieci wodociągowych lub kanalizacyjnych. Należy jednak podkreślić, że w dotychczasowych polskich normach geotechnicznych zagadnienia te także traktowano jako odrębne i wymagające w projektowaniu dodatkowych analiz.

Można zatem stwierdzić, że norma Eurokod 7 dla wielu trudnych zagadnień fundamentowania wyznacza bardziej kierunki i filozofię projektowania, nie podając określonych sposobów przeprowadzania analiz i obliczeń.

Obliczeniowe oceny stanu użyteczności w normie Eurokod 7 obejmują podstawowe zagadnienia fundamentowania i dotyczą:

- fundamentów bezpośrednich (p. 6.6),
- fundamentów na palach (p. 7.5.2),
- konstrukcji oporowych i zakotwień (p. 9,8),
- warunków filtracyjnej stateczności podłoża (p. 10.3–10.5),
- warunków stateczności ogólnej (p. 11.6),
- stateczności budowli ziemnych (p. 12.6).

W poszczególnych tych zagadnieniach stopień uszczegółowienia wskazań czy zaleceń jest zróżnicowany – od na ogół wyczerpujących wskazań dotyczących projektowania fundamentów bezpośrednich po ogólnikowe potraktowanie tych zagadnień (np. wskazanie potrzeby warunków filtracyjnej stateczności podłoża, projektowania fundamentów na palach czy stateczności budowli ziemnych).

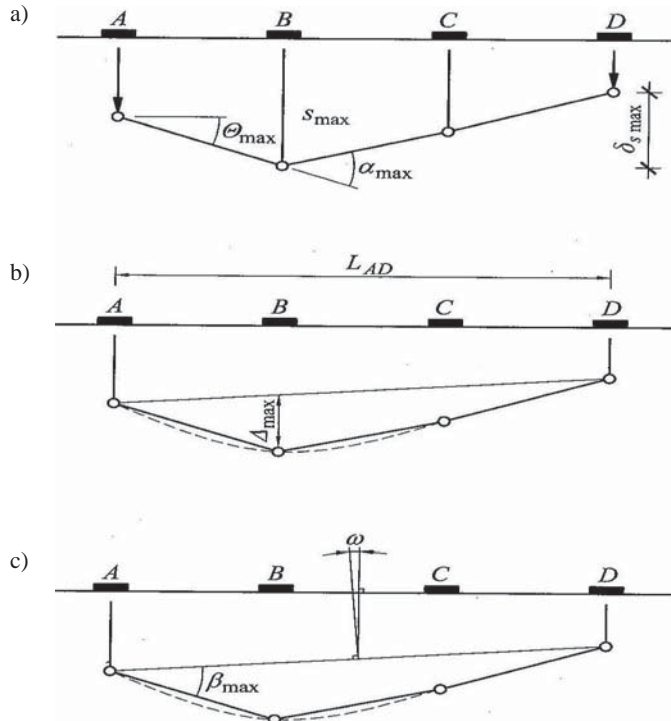
Jak wiadomo, podstawą wszystkich obliczeń geotechnicznych jest właściwy dobór parametrów obliczeniowych gruntów, którym poświęcona jest część 2 normy Eurokodu 7 i regulujący te procedury załącznik B, co na podstawie badań geotechnicznych powinno być decyzją ekspercką, która w dużym stopniu zależy od doświadczenia i wiedzy projektanta geotechnika.

ZASADY WYMIAROWANIA WYBRANYCH RODZAJÓW PROJEKTOWANIA

Podstawowe uwarunkowania sprawdzenia stanu użyteczności oparte są na sprawdzeniu spodziewanych osiadań (podobnie jak w normie PN/81/B-03020), które ze względu na złożone uwarunkowania zaleca się traktować jako przybliżone. Komplikują to m.in. możliwe zróżnicowania właściwości podłoża, co wymagało wydzielenia mechanizmów decydujących o zjawisku osiadań, które zdefiniowano także w załączniku F normy Eurokod 7, część 1, gdzie wydzielono:

- s_0 , osiadania natychmiastowe zależne od stopnia nasycenia; przy $S_r = 1$ w wyniku zmian postaciowych, a w gruntach częściowo nasyconych – także zmian objętościowych,
- s_1 , osiadania wynikające z procesów konsolidacji; mogą je stanowić osiadania spowodowane samozagęszczeniem gruntu, skutkami oddziaływania zmiennych poziomów wody czy działaniem obciążeń dynamicznych,
- s_2 , osiadania spowodowane pęczaniem podłoża.

Norma PN EN 1997-1:2008 uwzględnia dziesięć rodzajów stanów granicznej użyteczności, które mają zastosowanie w określonych przypadkach posadowienia: osiadania (s), różnice osiadań (δ_s), przechylenie budowli (ω), strzałkę wygięcia (Δ_{\max}), wskaźnik wygięcia (Δ/l), obrót (θ), względny obrót (β), odkształcenia kątowe (α_s), przemieszczenia poziome i amplitudę drgań (rys. 1)



Rys. 1. Składowe przemieszczeń fundamentów, w których powinno się uwzględnić osiadania: a – określenie osiadań, różnice osiadań i obrót budowli, b – określenie względnego ugięcia odchylenia, c – określenie przechylenia (ω) i przemieszczenia kąowego (β)

Fig. 1. The components of foundation movement, which should be considered settlement: a – finitions of settlement, differential settlement, b – definitions of relative deflection of deviation, c – definitions of relative rotation (ω) and tilt (β)

W załączniku krajowym [PN-EN 1997-1:2008/Ap2] z podanych rodzajów na potrzeby sprawdzania stanów granicznej użyteczności w budynkach za wystarczające uznano sprawdzenie przemieszczeń podanych w tabeli 1. Tym samym zachowano umowne rodzaje stanów przemieszczeń, jakie sprawdzano dotychczas zgodnie z normą PN/81/B-03020.

Tabela 1. Wartości granicznych przemieszczeń i odkształceń dla budynków

Table 1. Values of limited displacement and deformation of building

s_{\max} [mm]	θ_{\max} [rad]	Δ_{\max} [mm]	ω_{\max} [rad]
50	0,002	10	0,003

Sprawdzenie stanów granicznych użyteczności w podłożu budowli współdziałającym z konstrukcją przeprowadza się według generalnej zasady: $E_d \leq C_d$, tj. obliczeniowa wartość efektu oddziaływania powinna być mniejsza od wartości granicznej tego efektu.

Norma Eurokod 7 przyjmuje stosowane dotychczas metody, zakładające ważność teorii sprężystości przy założeniu jednoosiowych osiadań opartych na edometrycznych modułach ścisłości, lub metodę odkształceń trójosiowych opartych na modułach E i E_0 . Zasady obliczeń są zbliżone do zasad stosowanych w polskiej normie PN/81/B-03020, gdzie spodziewane osiadania dla każdej z wydzielonych warstw oblicza się, wykorzystując zależność:

$$s_{oi} = \frac{\delta_{zdi} \cdot h_i}{M_{0i}} + \lambda \frac{\delta_{zsi} \cdot h_i}{M_i} \quad (1)$$

Wielkością osiadań fundamentu jest suma osiadań poszczególnych warstw do głębokości, na której naprężenia dodatkowe stanowią 20% naprężeń pierwotnych.

EC 7 dopuszcza także obliczanie osiadań metodami uproszczonymi opartymi na podstawie badań polowych i korelacji między wynikami tych badań a osiadaniami. W załączniku F przedstawiono propozycję uproszczonej metody sprężystości, wyznaczając osiadania z zależności:

$$s = p \cdot b \cdot f / E_m \quad (2)$$

gdzie: p – nacisk fundamentu na grunt,

b – grubość warstwy,

f – współczynnik osiadania,

E_m – obliczeniowa wartość modułu sprężystości.

Daje ona jednak tylko orientacyjną ocenę spodziewanych osiadań. Jest to zalecane w przypadkach, gdy odkształcenie nie jest wymagane do sprawdzenia granicznego stanu użyteczności oraz gdy można wykorzystać doświadczenia podobnego podłoża, konstrukcji i metody wykonania.

W tym aspekcie pojawia się także problem odpowiedniego podejścia obliczeniowego. Podawane w literaturze oceny [Kłosiński 2013a], podsumowujące stan dotychczasowych działań, wskazują, że wymiarowanie fundamentów przeprowadzane na podstawie dotychczasowych norm okazało się przeważnie oszczędniejsze od obliczeń wykonywanych na podstawie Eurokodu 7. Na tym tle pojawił się problem zastosowania odpowiedniego podejścia obliczeniowego, a głównie rozkładu współczynników częściowych między oddziaływaniem budowli lub na budowlę, skutkiem tych oddziaływań, a także skutkiem właściwości i wytrzymałości materiałów. Pojawiły się zatem podejścia obliczeniowe różniące się sposobem stosowania współczynników częściowych. W zagadnieniach stanów użyteczności problematyka ta nie jest tak znacząca jak w stanach granicznych nośności. Z tego względu zagadnienia te, podobnie jak problem współczynników częściowych, nie są w normie analizowane.

W tym zakresie obecnie przeważa opinia, że spośród podejść zdefiniowanych jako DA1, DA2, DA3 i DA2* najbardziej odpowiednie jest podejście DA2*. W tym przypadku wszystkie obliczenia wykonuje się, przyjmując wartości charakterystyczne, gdyż przy

wprowadzaniu na etapie obliczeń parametrów obliczeniowych w wielu sytuacjach powodowałyby to dwukrotne przemnożenie przez współczynnik częściowy, co w efekcie prowadziłyby do nielogicznego zwiększenia współczynnika bezpieczeństwa. Rozwiązanie takie, stosowane od wielu lat w Polsce i Niemczech, upraszcza obliczenia w przypadku kombinacji wielu obciążeń [Vogt i in. 2006]. Zagadnienie to dotyczy na przykład dylematu, w jakich przypadkach należy zastosować współczynnik zwiększony przy określaniu gęstości objętościowej gruntu (np. w obliczeniach parć i odporów). Nieodpowiednie zwiększenie gęstości w zależności od sytuacji może powodować albo zwiększenie, albo zmniejszenie globalnego współczynnika bezpieczeństwa.

Norma EC 7, poza problematyką fundamentów bezpośrednich, dość ogólnikowo traktuje zagadnienia sprawdzenia stanu granicznego użyteczności w pozostałych wymienionych wcześniej zasadniczych przypadkach, tj. w projektowaniu fundamentów pałowych, zakotwień gruntowych, konstrukcji oporowych, stateczności ogólnej i budowli ziemnych.

Ogólnikowy charakter podejścia do prognozowania stanów użyteczności fundamentów na palach sprowadza się zasadniczo do ustaleń z próbnymi obciążeniami. W przypadku projektowania stanu granicznego użyteczności zakotwień gruntowych wskazania Eurokodu 7 także są dość skromne. Zaleca się traktować kotwę jako podporę sprężystą, przy czym rozróżnia się potrzebę odrębnego podejścia w projektowaniu kotew sprężonych i niesprężonych. W sytuacji obliczeniowej wskazana jest najbardziej niekorzystna sztywność kotwy. Zaleca się także brać pod uwagę wszystkie efekty odkształceń wywieranych przez fundament wskutek sił wynikających ze sprężenia kotwy. Norma nie przewiduje analiz przemieszczeń czy deformacji, wynikających z możliwości przekroczenia granicznej nośności zakotwienia.

Również w zakresie stanów użyteczności konstrukcji oporowych norma ogranicza się do ogólnikowych wskazań. Odwołuje się przy tym do niezdefiniowanych sytuacji obliczeniowych, w których przewidziano zmienności wynikające z warunków obciążenia, ze stanów wód gruntowych, działań erozyjnych w otoczeniu budowli czy zmiany w podłożu budowli. W zakresie projektowania zaleca się przede wszystkim, aby obliczeniowe wartości parcia gruntu uwzględniały dopuszczalne odkształcenia konstrukcji w stanie granicznym użyteczności. W tych przypadkach należy zwymiarować spodziewane przemieszczenia wynikające z warunków pojawienia się ekstremalnie niekorzystnych stanów.

Stany granicznej użyteczności warunków stateczności ogólnej, dotyczące głównie budowli ziemnych, warunkowane są potrzebami analiz i zaleceń obserwacji zmian warunków wodno-gruntowych, a także zjawisk i czynników determinujących stany podłoża. Także w tym przypadku norma nie wskazuje konkretnych sposobów rozwiązań.

W kontekście tak ogólnikowych wskazań niezwykle istotną staje się potrzeba dobrego zawodowego przygotowania projektantów, którzy nie mogą polegać na gotowych obliczeniowych wzorcach, ale w każdym z tych przypadków muszą wykazywać się szeroką wiedzą geotechniczną opartą głównie na mechanice gruntów.

TEMATYCZNE ARTYKUŁY KONFERENCYJNE

Wybrane zagadnienia dotyczące prognozowania stanów użyteczności zostały przedstawione w pracach: Fedorowicz i Kadela [2013], Popielski [2013], Rymsha [2013], Zaczek-Peplińska i inni [2013].

Model obliczeniowy układu konstrukcja warstwowa – podłoże gruntowe, zgodnie z EC7, przedstawiły w swej pracy Fedorowicz i Kadela i [2013]. Rozważania dotyczące odpowiedniości opisu zagadnienia kontaktowego między warstwą konstrukcji drogowej a jej podłożem w porównywanych aspektach podejścia praktycznego z wykorzystaniem związku liniowej sprężystości i z podejściem zgodnym z EC 7-1 wykorzystującym analizy numeryczne bazujące na badaniach *in situ* i w badaniach laboratoryjnych doprowadziły do interesujących ustaleń. Interesujące było powiązanie obliczeniowych analiz z wynikami przemieszczeń ε_x , ε_y i naprężeń σ_x w półsztywnej konstrukcji drogowej. Pozwoliło to m.in. na ustalenie, że przy realnych obciążeniach drogi można wydzielić dwie strefy wpływu obciążeń na zachowanie gruntu o zasięgu do około 1 m, gdzie następuje dogęszczenie gruntu i spowodowany tym wzrost sztywności podłoża. Wykazano, że poniżej tego poziomu – do około 2 m, spowodowane obciążeniami odkształcenia praktycznie zanikają. Wyniki pomiarów wykorzystano do próby odtworzenia tych zmian z zastosowanym modelem sprężystego (MCC) oraz modelu stanu krytycznego – zmodyfikowanego modelu Cam-Clay. Uzyskane przy obciążeniu nawierzchni pojazdem o ciężarze 35 t obliczeniowe zmiany pionowych przemieszczeń (ε_y) do głębokości 1,0 m i odniesione do rejestrowanych jako znaczących wartości pomierzonych ε_y wykazują dość wyraźne rozbieżności. Efektem tych analiz jest wskazanie na potrzebę tworzenia do prognoz odkształcalności podłoży dróg modeli obliczeniowych, w których mogą zostać określone funkcje kryterialne osiągające wartości ustalone.

Związane z problematyką osiadań zagadnienia małych odkształceń analizowane są także w pracy Popielskiego [2013]. Poruszony problem poprawnego doboru modułów ściśliwości do obliczania spodziewanych osiadań, szczególnie trudny w przypadku głębokiego posadowienia wykopów, przedstawiono na bazie analiz wykonanych na potrzeby realizacji głębokich posadowień w centrum Warszawy. Dokonano tu w 8 przypadkach modeli numerycznych ich kalibracji na podstawie danych z analizy wstecznej i w 5 przypadkach weryfikacji sztywności gruntu za pomocą pomiarów sejsmicznych. W pracy przedstawiono interesujący przegląd metod określania modułów ściśliwości przyjmowanych do obliczania spodziewanych osiadań, przytaczając w analizie dotychczasowych ustaleń zarówno podejście polskiej normy PN/75/B-04481, jak i ustalenia sztywności gruntu (E) uzyskane różnymi metodami. W ocenie adaptacji modułów ściśliwości uzyskanych na podstawie badań laboratoryjnych i porównawczych próbnych obciążeń oraz wskazując na zmiany właściwości pobieranych i przygotowywanych do badań próbek, autor nawiązał do rozwiązań proponowanych w normie PN/75/B-04481, w której do przyjmowanych badań modułów edometrycznych (M i M_0) wprowadzono współczynniki poprawkowe χ_p , χ_w , χ' , χ'' . Wartości tych współczynników, w zależności od wartości uzyskanych modułów, zwiększały ich obliczeniowe wartości nawet ponad 5-krotnie. W drugim przypadku przytoczone wyniki ustaleń modułu ściśliwości gruntu (E) wskazują na duże zmieniające się wraz z głębokością ich rozbieżności. W konkluzji tych rozwiązań autor zauważa, że zmienność modułów ściśliwości jest duża, a stosowana norma

PN-81/B-03020 nie uwzględnia wpływu naprężeń wynikających z nadkładu gruntu. Na podstawie zastosowanych, a niezdefiniowanych w pracy obliczeniowych modeli numerycznych, zastosowanych do danych pozyskanych z budowy głęboko posadowionych obiektów, uzyskał on współczynniki n , zwiększające wartości modułów E w zakresie wartości podanych w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości modułów odkształcenia (E [MPa]) i współczynników zwiększających [Popielski 2013]

Table 2. Values of Young's moduli (E [MPa]) and amplification factors [Popielski 2013]

Rodzaj gruntu Type of soil	I_D	E [MPa] według PN-81/B-03020	Współczynnik n – Factor n		
			< 5 m ^a	5–15 m ^a	> 15 m ^a
Żwir, pospółka	≈ 0,8	200	1,0	1,5	2,0
Gravel, sand-gravel mix	≈ 0,5	140			
Piaski grube i średnie	≈ 0,8	130	1,5	2,0	3,0
Coarse and medium sands	≈ 0,5	80			
Piaski drobne i pylaste	≈ 0,8	75	2,0	3,0	4,0–5,0
Fine and dusty sands	≈ 0,5	50			
I_L					
Gliny zwałowe szare	≈ 0	A 70	3,0–5,0	5,0–6,0	b
Boulder clay gray					
Hy plioceńskie	≈ 0	D 26	b	4,0–8,0	8,0–16,0 (max 22)
Clay					

^aPoniżej dna wykopu – Below the bottom of the excavation.

^bAutor nie przeprowadzał weryfikacji modeli numerycznych GPOB, w których dane grunty znajdują się na tak określonych głębokościach – Author did not carry out the verification of numerical models in which the soils are located as specified depths.

Podane ustalenia stanowią potwierdzenie, że wyznaczone na podstawie zastosowanych modeli wartości modułów odkształcenia stanowią nawet wielokrotność wartości podanych w normie PN-81/B-03020. Oceny te wydają się być niepokojące, gdyż nie znajdują odpowiedniego potwierdzenia w praktyce i nie pokrywają się ustaleniami normy PN-EN 1997-2. W załączniku Q tej normy określa się, że analizy wsteczne mogą być wiarygodne, ale wiele czynników, jak redystrybucja obciążeń, uwarstwienia podłoża czy wpływ czasu, są trudne do wzięcia pod uwagę. Z tego względu dla gruntów niespoistych w PN-EN1997-2 wskazane są badania polowe, w tym sondowania lub ich kombinacja z badaniami laboratoryjnymi, a dla gruntów spoistych i organicznych najbardziej wiarygodne są badania laboratoryjne. Również zastosowania praktyczne wskazują, że fundamenty wymiarowane od 30 lat zgodnie z PN-81/B-03020 nie wykazują utraty stateczności w wyniku przekroczenia granicznej nośności, a występującymi zniszczeniami są skutki nierównomiernych osiadań. Wskazuje to, że przyjmowane z normy wartości modułów ścisłości w stosunku do rzeczywistości są zawyżone.

W zakresie zagadnień skutków zagęszczenia zasyпки zalecenia normy PN EN 1997-1 są bardzo lakoniczne, jedynie ograniczają się do stwierdzenia potrzeby uwzględnienia dodatkowego parcia wywołanego przez układanie zasyпки i sposób jej zagęszczania. Tym samym, nie podając szczegółowych zasad i procedur projektowania, obligują do określenia dodatkowego parcia gruntu powstającego przy warstwowym zagęszczeniu zasyпки,

do wyznaczenia strefy nadciśnienia wytworzonego w górnej części ściany przy przejściu maszyny oraz do doboru odpowiedniej technologii układania i zagęszczania zasyпки, zapewniając minimalizowanie dodatkowego parcia fazowych odkształceń ściany.

Autorskie rozwinięcie tych zagadnień zostało podjęte w artykule Rymczy [2013], omawiającym zasady wyznaczania współczynnika parcia spoczynkowego gruntu (K_0) przy warstwowym zagęszczeniu zasyпки. W pracy na tle klasycznych modeli rozkładu parć analizuje się przypadek wzbudzonego przez zagęszczającą maszynę parcia gruntu, jakie działa na nieulegającą przemieszczeniu sztywną ścianę oporową. W zagadnieniu tym autor proponuje wydzielenie 3 stref gruntu: H_I – strefę odporną dla zasyпки prekonsolidowanej mechanicznie, H_{II} – strefę przejściową przy rezydualnym współczynniku parcia $K_{II} = K_{0oc}$, H_{III} – strefę zasyпки normalnie skonsolidowanej. Rozważając te zagadnienia w aspekcie parć gruntów normalnie konsolidowanych i przekonsolidowanych, autor wykazał, że w strefie I, przy przesuwającym się obciążeniu (q) na poszczególnych głębokościach, wzbudzone są naprężenia poziome (σ_h). Przy obciążeniu naziomu po wjeździe maszyny zagęszczającej następuje pełne obciążenie pionowe warunkujące stan naprężeń v_v , oraz częściowa dekompresja boczna, przy której naprężenie pionowe zmniejsza się do wartości $\sigma_v K_I$, gdzie K_I jest współczynnikiem odporu wzbudzonego na skutek zagęszczenia zasyпки. W strefie II występowały fazowe zmiany naprężeń po ułożeniu i zagęszczeniu warstwy 1. Fazowe zmiany naprężeń na większych głębokościach w cyklu obciążenie – odciążenie podano na rysunku 3 [Rymczy 2013], a ścieżka naprężeń EF i PF odwzorowuje przyrost naprężeń poziomych w spągu warstwy nr 4 spowodowanych obciążającym nadkładem. W strefie III przy dalszej nadbudowie naziomu przesuwające się obciążenie powierzchniowe (q), powodujące zagęszczenie górnych warstw nadkładu, nie ma wpływu na stan naprężeń w gruncie występującym poniżej głębokości H_{II} .

Problematyka oddziaływania prac tunelowych i wykonywania głębokich wykopów na przyległe sąsiednie obiekty budowlane została przedstawiona w pracy Zaczek-Pepińskiej i innych [2013]. Prezentowane wyniki pomiarów geodezyjnych przemieszczeń prowadzonych metodą skaningu laserowego kilku obiektów budowlanych na terenach zalegających w strefie oddziaływania budowy linii metra w Warszawie wykazały, że ekstremalne osiadania osiągały wartości rzędu 7, a nawet 12 mm. Jednakże z geotechnicznego punktu widzenia trudno przyjąć interpretację wyników wskazujących, że w obrębie wykonywania tych prac (poza przypadkami wynikającymi z odprężenia dna głębokich wykopów) w sąsiedztwie robót podziemnych w znacznych odległościach od miejsca robót następowały wypiętrzenia powierzchni terenu rzędu 1–2 mm.

PIŚMIENNICTWO

- Fedorowicz L., Kadela M., 2013. Model obliczeniowy układu konstrukcja warstwowa – podłoże gruntowe zgodnie z EC7. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura* 12 (3), 17–26.
- Frank R., 2007. Eurokod 7 „Projektowanie geotechniczne” – prezentacja założeń. *Inżynieria i Budownictwo* 7–8, 355–360.
- Kłosiński B., 2006. Perspektywy wdrażania eurokodów geotechnicznych. *Inżynieria i Budownictwo* 6, 318–322.
- Kłosiński B., 2013a. Wdrażanie w Polsce i przyszłość Eurokodu 7 „Projektowanie geotechniczne”. *Inżynieria i Budownictwo* 13, 124–127.

- Kłosiński B., 2013b, Projektowanie pali na podstawie normy PN-EN-1997 „Projektowanie geotechniczne”. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji „Geotechnika”, Wisła, I, 247–278.
- Kłosiński B., Pieczyrak J., 2009. Norma EN Eurokod 7 „Projektowanie geotechniczne”. Inżynieria Morska i Geotechnika 3, 168–180.
- Kłosiński B., Rychlewski P., 2009. Charakterystyka europejskich nowych norm geotechnicznych. XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji „Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych”, Wisła, I, 163–204.
- Kotlicki W., 2009. Projektowanie posadowień bezpośrednich wg EC-7. XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji „Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych”, Wisła, I, 205–247.
- PN/75/B-04481 Grunty budowlane. Badania laboratoryjne.
- PN/81/B-03020 Bezpośrednie posadowienie fundamentów. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN EN 1997-2:2009 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PKN, 2009. Poprawka do Polskiej Normy PN-EN 1997-1:2008/AC.
- PKN, 2010a. Poprawka do Polskiej Normy PN-EN 1997-1:2008/AP1.
- PKN, 2010b. Poprawka do Polskiej Normy PN-EN 1997-1:2008/AP2.
- Popielski P., 2013. Weryfikacja parametrów podłoża na podstawie wykonanej analizy wstecz przy realizacji głębokich posadowień w Warszawie. Acta Scientiarum Polonorum, Architectura 12 (2), 91–100.
- Puła O., 2012. Projektowanie posadowień fundamentów bezpośrednich wg Eurokodu. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.
- Rymsza B., 2013. Współczynnik parcia spoczynkowego gruntu przy warstwowym zagęszczeniu zasypki. Acta Scientiarum Polonorum, Architectura 12 (3), 85–97.
- Vogt N., Schuppener B., Weissenbach A., Gajewska B., Kłosiński B., 2006. Podejścia obliczeniowe stosowane w Niemczech w projektowaniu geotechnicznym według Eurokodu 7-1. Inżynieria i Budownictwo 6, 326–330.
- Wysokiński L., 2009. Projektowanie geotechniczne od klasyfikacji gruntów do monitoringu obiektu według norm europejskich. XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji „Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych”, Wisła, I, 291–318.
- Zaczek-Pelplinska J., Pasik M., Popielski P., 2013. Geodezyjny monitoring obiektów w rejonie oddziaływania budowy tuneli i głębokich wykopów – doświadczenia i wnioski. Acta Scientiarum Polonorum, Architectura 12 (2), 17–22.

SERVICEABILITY LIMIT STATE DESIGN IN RESPECT TO EUROCODE 7 REQUIREMENT

Abstract. The paper presents essential principals for the design of geotechnical construction in range accordance PN-EN 1997:2008 Eurocode 7-1. The design aspects of serviceability limit state in comparison with polish geotechnical standards were presented. The design aspects of spread foundations, pile foundations, retaining structures, embankment and slopes and influence of filtration phenomena were discussed. Generally principals of design geotechnical construction in Polish Standards was similar to principals EC 7, however proposed in EC 7 new more complicated coefficients of stability and increasing safety of design.

Key words: Eurocode 7, limited state of foundation, settlement, retaining wall