

*Irena Bagińska\**

## ROZPOZNANIE I BADANIE PODŁOŻA GRUNTOWEGO METODAMI POLOWYMI W UJĘCIU EUROKODU 7

---

### 1. Wstęp

Począwszy od końca lat 70. poprzedniego stulecia państwa członkowskie Wspólnoty Europejskich Państw podjęły działania utworzenia zharmonizowanych specyfikacji technicznych regulujących produkty i usług budowlane. Pod koniec lat 80. XX w. wypracowany został Program Eurokodów Konstruktoryjnych mających statut Norm Europejskich (EN). W skład programu wchodzi dziesięć norm EN o numerach od 1990 do 1999. Obejmują one wszystkie procesy związane z budownictwem, poczynając od fazy przygotowawczej (studyjnej, rozpoznawczej) poprzez projektową do wykonawczej z podziałem na różne technologie materiałowe. Wszystkie państwa członkowskie UE oraz EFTA zobowiązały się do końca marca 2010 roku wdrożyć pełne teksty Eurokodów wraz ze zharmonizowanymi normami i wycofać wszystkie normy z nimi sprzeczne. Dopuszcza się jedynie, że wszystkie wdrażane normy europejskie mogą być poprzedzone krajową przedmową oraz mogą zawierać krajowe załączniki, będące jedynie nawiązaniem do treści Eurokodów.

### 2. Ogólna charakterystyka Eurokodu 7

Tematyka dotycząca geoinżynierii zawarta jest w normie o numerach EN 1997 potocznie zwanej Eurokodem 7 i nosi tytuł „Projektowanie geotechniczne”. Norma w swym zapisie przedstawia zbiór zasad i reguł stosowania. Zasady obejmują ogólne ustalenia, definicje oraz wymagania i ogólne modele analityczne. Natomiast reguły stosowania stanowią zbiór uznanych reguł, które można zastąpić regułami alternatywnymi, pod warunkiem, iż nie będą one sprzeczne z zasadami, od których nie ma żadnych odstępstw.

---

\* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

Eurokod 7 składa się z dwóch części mających statut Normy Polskiej [7, 8].

W pierwszej części (PN-EN 1997-1) zawarte są zasady ogólne dotyczące głównie projektowania obiektów geotechnicznych na podstawie dwóch stanów granicznych nośności i użyteczności. W maju 2008 roku wprowadzono ją w polskiej wersji językowej bez krajowych załączników. Normę tę należy rozpatrywać łącznie z normą PN-EN 1990 zwaną Eurokodem 0, który zawiera ogólne zasady projektowania konstrukcyjnego i podaje zasady określania obliczeniowych wartości oddziaływań [6]. W literaturze można już odnaleźć materiały nawiązujące swą treścią do Eurokodu 7 część 1 na przykład w odniesieniu do analizy oceny stateczności skarp i zboczy [2] oraz oceny nośności [1].

Drugą część (PN-EN 1997-2) stanowią zalecenia związane z rozpoznaniem i badaniem podłoża gruntowego zarówno metodami polowymi jak i laboratoryjnymi. Norma od kwietnia 2007 roku posiada statut Normy Polskiej funkcjonując w trzech oryginalnych wersjach językowych: angielskiej, francuskiej i niemieckiej. Obecnie trwają prace związane z „powszechną ankietyzacją” jej wersji polskiej wraz z Załącznikami Krajowymi.

### **3. Badania polowe w ujęciu Eurokodu 7**

W artykule skupiono się na przedstawieniu zapisów Eurokodu 7 dotyczących rozpoznania i badania podłoża gruntowego metodami polowymi.

Już w pierwszej części Eurokodu 7 jest wiele odwołań mówiących o badaniach polowych. W rozdziale zatytułowanym „Dane geotechniczne” znajdują się informacje o badaniach geotechnicznych i zakresie ustalania parametrów geotechnicznych. Wymienione są podstawowe parametry, konieczne do wyznaczenia w trakcie badań, zarówno fizyczne jak i mechaniczne. Wymieniono również podstawowe testy badań polowych, które jak sądzą autorzy uznali za najskuteczniejsze i najpowszechniejsze. Dla każdej z metod podano szczególne czynniki, które należy wziąć pod uwagę w trakcie prowadzenia poszczególnych badań oraz ich interpretacji dla zapewnienia poprawności przeprowadzonych badań.

Norma PN-EN 1997-1 zaleca, aby dokumentacja badań podłoża gruntowego stanowiła część składową projektu geotechnicznego. Przytoczono propozycję przedstawienia wyznaczonych danych geotechnicznych. Dokumentacja między innymi powinna zawierać zbiór sprawozdań sporządzanych w trakcie przeprowadzania poszczególnych badań. Norma przytacza ich szczegółowy zakres, zarówno co do treści jak i formy. Każde ze sprawozdań powinno zawierać ocenę danych geotechnicznych, gdzie zestawione zostaną wyprowadzone wartości parametrów geotechnicznych oraz przegląd badań wraz z komentarzem mówiącym o wszelkich niedociągnięciach i błędach w trakcie prowadzenia badań. Komentarz ma za zadanie pomóc projektantowi w późniejszej ostrożnej interpretacji wyników oraz oszacowaniu wartości charakterystycznych.

Norma PN-EN 1997-2 w całości poświęcona jest rozpoznaniu i badaniu podłoża gruntowego.

Składa się z sześciu rozdziałów oraz 24 załączników informacyjnych i jest przeznaczona do stosowania łącznego z PN-EN 1997-1, ponieważ uzupełnia ją o wiedzę dotyczącą [8]:

- planowania badań podłoża i opracowania dokumentacji badań;
- ogólnych wymagań dla niektórych powszechnie stosowanych badań laboratoryjnych i polowych;
- interpretacji i oszacowania wyników badań;
- wprowadzanie wartości parametrów i współczynników geotechnicznych.

Norma PN-EN 1997-2 jest spójna z normą PN-B-02479:1998 Geotechnika — Dokumentowanie geotechniczne [3], gdzie zostały zdefiniowane trzy kategorie geotechniczne oraz podstawy opracowania programu badawczego podłoża gruntowego wraz z dokumentacją.

W odpowiednich miejscach normy PN-EN 1997-2 pojawiają się powołania normatywnie innych norm EN ISO.

Pojawiają się odwołania do norm PN-EN ISO 14688 część 1 i część 2 dotyczącej badań geotechnicznych polegających na oznaczeniu i klasyfikowaniu gruntów [9, 10] oraz w normie PN-EN ISO 14689-1 podobnie dla skał [11]. Normy wprowadzają nowe terminy i definicje dotyczące gruntów i skał. Regulują procedury oznaczania i opisu gruntów.

Odwołania do normy PN-EN ISO 22475-1 dotyczącej pobierania próbek gruntu oraz pomiaru wód gruntowych [12] dokładnie precyzuje sposoby pobierania i przechowywania próbek gruntowych przeznaczonych do badań laboratoryjnych.

Największą grupę norm EN ISO, na które powołuje się Eurokod 7 stanowią normy EN ISO 22476 części od 1 do 13. Każda z części dotyczy indywidualnie konkretnej polowej metody badawczej poczynając od sondowań statycznych i dynamicznych poprzez badania dylatometryczne, presjometryczne oraz próbne obciążenia. W chwili obecnej spośród tej dużej grupy norm tylko dwie uzyskały statut Normy Polskiej. Jest to norma PN-EN ISO 22476-2 dotycząca sondowania dynamicznego [13] oraz norma PN-EN ISO 22476-3 dotycząca sondowania sondą cylindryczną [14]. Praktycznie bez tych odwołań norma PN EN 1997-2 nie byłaby w stanie objąć w swych ramach pełnej tematyki związanej z badaniem i rozpoznaniem podłoża gruntowego, dlatego należy je traktować jako nierozzerwalne części Eurokodu.

Norma PN-EN 1997-2 przewiduje etapowanie rozpoznania podłoża. Mówi o badaniach wstępnych, badaniach docelowych, służących do celów projektowych oraz kontrolnych i monitoringowych. W pracy przytoczono schemat etapowania powyższych prac wraz z zaproponowanymi polowymi metodami badawczymi dla poszczególnych etapów (tab. 1 i 2). Zapis ten jest odmienny od dotychczasowych przepisów obowiązujących w Polsce, mówiących o etapie studium projektowego, projektu budowlanego oraz projektu wykonawczego.

Norma PN-EN 1997-2 dopuszcza łączenie dwóch pierwszych etapów badawczych w czasie. Jednocześnie podaje jako zasadę konieczność przeprowadzenia „wizji lokalnej” przed sprecyzowaniem programu badań, a nawet sporządzenie z niej notatki odnoszącej się w swym zapisie do informacji pozyskanych z istniejącej dokumentacji.

Program badań należy zaplanować na podstawie wstępnego oszacowania stopnia złożoności warunków geotechnicznych oraz rodzaju projektowanego obiektu, czyli kategorii geotechnicznej [3].

TABELA 1

**Wybór polowych metod badania podłoża w kolejnych etapach rozpoznania [8]**

Badania wstępne		Badania do celów projektowych		Badania kontrolne	
START Studia istniejących map topograficznych, geologicznych i hydro-geologicznych. Interpretacja zdjęć lotniczych. Archiwa. Wizja lokalna	Grunt drobnoziarnisty CPT, SS, DP lub SPT, PMT, GW, pobieranie prób	Wstępny wybór metody posadowienia	Fundamenty palowe SS, CPT, GW, SPT, DP, FVT, PMT, pobieranie prób	Ostateczny wybór metody posadowienia. Projekt wykonawczy	Fundamenty palowe. Próbne obciążenia pali. Osiadania
			Fundamenty palowe SS, CPT, GW, SPT, DP, FVT, PMT, pobieranie prób		Fundamenty bezpośrednie. Sprawdzenie sztywności (CPT). Osiadania
	Grunt drobnoziarnisty CPT, SS, DP lub SPT, PMT, GW, pobieranie prób	Wstępny wybór metody posadowienia	Fundamenty palowe SS, CPT, GW, SPT, DP, FVT, PMT, pobieranie prób	Ostateczny wybór metody posadowienia. Projekt wykonawczy	Fundamenty palowe. Próbne obciążenia pali. Osiadania
			Fundamenty palowe SS, CPT, GW, SPT, DP, FVT, PMT, pobieranie prób		Fundamenty bezpośrednie. Sprawdzenie sztywności (CPT). Osiadania

TABELA 2

**Objaśnienie skrótów użytych w tabeli 1**

Skrót	Pełna nazwa badania polowego
DP	badanie sondą dynamiczną
SS	badanie sondą statyczną wciskaną lub wkręcaną
CPT(U)	badanie sondą statyczną wciskaną (z pomiarem ciśnienia porowego)
SPT	badanie sondą z końcówką cylindryczną
PMT	badanie presjometryczne
DMT	badanie dylatometyczne
FVT	badanie sondą obrotową
GW	pomiar wody gruntowej

W trakcie prowadzenia badań zawsze należy liczyć się koniecznością poszerzenia zakresu planowanych badań w wyniku nieprzewidzianego wzrostu złożoności warunków geotechnicznych, bądź zmiany wstępnej koncepcji sposobu posadowienia.

Norma PN-EN 1997-2 bardzo precyzyjnie zaleca minimalną liczbę oraz minimalny rozstaw, koniecznych do rozpoznania podłoża gruntowego, otworów badawczych. W Załączniku B podaje minimalne głębokości, które uzależnione są od sposobu oraz poziomu posadowienia, ale także położenia poziomu wody gruntowej względem projektowanego poziomu posadowienia. Norma nakazuje w trakcie badań polowych, niezależnie od metod bezpośredniego rozpoznania, np. sondowania statycznego, wykonywanie przynajmniej jednego odwiertu lub szybiku służącego weryfikacji przeprowadzonego rozpoznania *in situ*.

Wszystkie badania polowe oraz laboratoryjne objęte normą PN-EN 1997-2 wymienione są w Załączniku (informacyjnym) A. Z pośród 11 wymienionych badań polowych aż 6 stanowią badania różnymi typami sond zarówno statycznych jak i dynamicznych.

Eurokod 7 w części 2 zawiera ogólny opis dziewięciu powszechnie stosowanych badań polowych. Dla każdego z badań nakreślony został cel ich przeprowadzania oraz szczególne wymagania, na które należy zwrócić uwagę w trakcie prowadzenia prac badawczych. Szczegółowe zalecenia dla każdej z metod przekazano poprzez powołania normatywne na normy EN-ISO 22476 części od 1 do 13 odpowiednio dla poszczególnej metody badawczej. Eurokod zaleca, aby posługując się normami EN-ISO 22476 przeprowadzać ocenę poprawności wyników badań, które bądź bezpośrednio bądź po zastosowaniu odpowiednich korelacji posłużą wyznaczeniu poszukiwanych wartości parametrów geotechnicznych. W Załącznikach (informacyjnych) od D do K Eurokod osobno dla każdej z metod przytacza przykładowe korelacje pomiędzy wielkościami pomierzonymi, a wyprowadzonymi.

Przykładowo dla badań sondą dynamiczną wartością pomierzoną jest liczba uderzeń ( $N_k$ ) potrzebna do wbicia stożkowej końcówki sondy na wymaganą głębokość penetracji dostosowaną do odpowiedniego typu sondy dynamicznej, czyli masy młota i wysokości spadania młota. Natomiast wielkością wyprowadzoną może być np. wyznaczony na podstawie przytoczonych przez normę korelacji stopień zagęszczenia gruntu niespoistego ( $I_D$ ). Dotychczasowa krajowa norma PN-B-04452 w Załączniku D podaje korelacje, dzięki którym możliwe jest na podstawie liczby uderzeń ( $N_k$ ) określenie stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych ( $I_D$ ). Dodatkowo jest mowa o różnych innych zależnościach korelacyjnych, do których określenia przydatna jest wartość jednostkowego dynamicznego oporu sondowania, ale tychże korelacji nie przytacza.

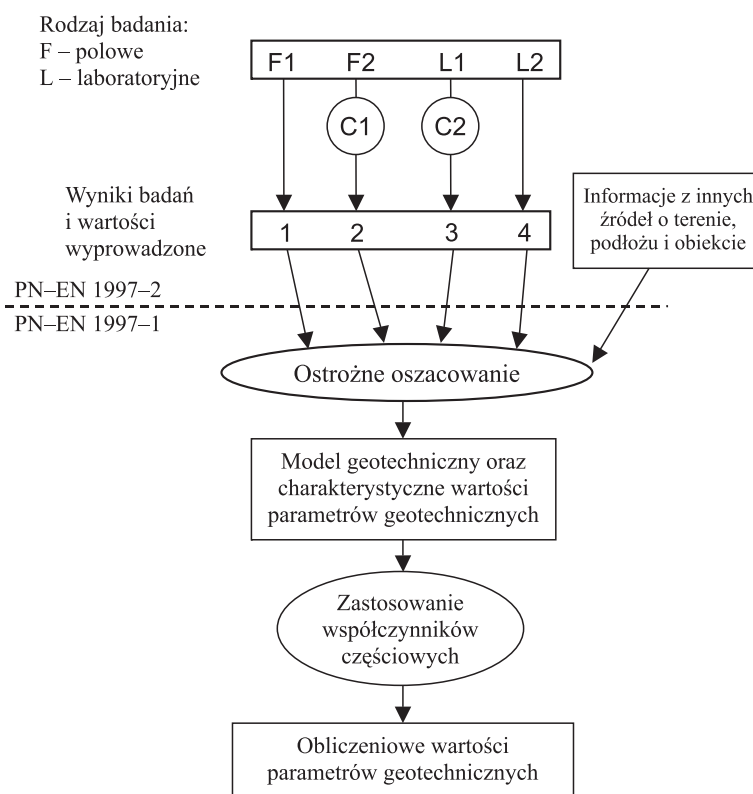
Znacznie więcej informacji zawiera Załącznik G Eurokodu 7 część 2 oraz norma PN-EN ISO 22476-2 poświęcona w całości sondowaniu dynamicznemu. Mamy tu oprócz odmiennego zapis korelacji pomiędzy liczbą uderzeń ( $N_k$ ), a stopniem zagęszczenia ( $I_D$ ), korelację pomiędzy efektywnym kątem tarcia wewnętrznego a stopniem zagęszczenia wyznaczonym z badania sondą dynamiczną. Ponadto przytoczona jest zależność edometrycznego modułu ścisłości od naprężeń pionowych i współczynników sztywności określanych przy pomocy sondowania dynamicznego.

W normie PN-EN ISO 22476-2 dodatkowo podane są przykładowe interpretacje mogące być pomocne w interpretacji rzeczywistych pomiarów. Reasumując w nowych nor-

mach otrzymujemy znacznie więcej zapisów, którymi możemy się posilkować ostatecznie określając z badań wartości parametrów wyrowadzonych.

#### 4. Określenie parametrów geotechnicznych

Wszystkie działania związane z rozpoznaniem podłoża gruntowego mają ostatecznie doprowadzić do określenia obliczeniowych wartości parametrów geotechnicznych koniecznych do przeprowadzenia obliczeń projektowych posadawianego obiektu. Zgodnie z zapisami PN-EN 1997-2 proces wyboru wprowadzanych do projektowania parametrów geotechnicznych należy podzielić na trzy etapy (rys. 1).



**Rys. 1.** Schemat wyrowadzania z wyników badań obliczeniowych wartości parametrów geotechnicznych

Pierwszym etapem jest zebranie wyników badań polowych (na rys. 1: F1, F2), bądź laboratoryjnych (L1, L2), które posłużą pozyskaniu wartości wyrowadzonych parametrów geotechnicznych (1, 2, 3, 4) na podstawie teorii, korelacji (C1, C2) albo doświadczenia (F1, L2).

Drugim etapem jest określenie wartości charakterystycznych, które należy ostrożnie oszacować na podstawie wartości pomierzonych i wyznaczonych, posiłkując się informacjami z innych źródeł o terenie, podłożu i obiekcie. Zgodnie bowiem z definicją zamieszczoną w Eurokodzie 7: *Charakterystyczną wartość parametru geotechnicznego należy wybrać jako ostrożne oszacowanie wartości decydującej o wystąpieniu stanu granicznego* [7]. Projektant otrzymując dokumentację geotechniczną sam dokonuje wyboru charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych. Wybierając najniekorzystniejsze wartości kieruje się bezpieczeństwem obiektu. Bowiem jak mówi norma: *Wartości charakterystyczne mogą być wartościami mniejszymi od wartości najbardziej prawdopodobnych (dolnymi), albo wartościami od nich większymi (górnymi), w zależności od tego, które są bardziej niekorzystne* [7].

Ostatnim etapem jest wyprowadzenie z wartości charakterystycznych wartości obliczeniowych parametrów geotechnicznych na podstawie oceny bezpośredniej lub wzoru

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (1)$$

We wzorze (1)  $X_d$  to wartość obliczeniowa parametru geotechnicznego,  $X_k$  wartość charakterystyczna parametru geotechnicznego, a  $\gamma_M$  to współczynnik częściowy do parametru geotechnicznego uwzględniający niepewność modelu obliczeniowego. Wartości współczynników częściowych wahają się od 1,0 do 1,4 i podane są w Załączniku (informacyjnym) A normy PN-EN 1997-1. O zastosowanej w obliczeniach konkretnej wartości współczynnika decyduje rodzaj sprawdzanego stanu granicznego (równowagi, nośności, wyparcia) oraz rodzaj parametru gruntu.

Jak pokazano na rysunku (rys. 1) reguły postępowania dla pierwszego etapu dostarcza część 2 Eurokodu 7 inaczej PN-EN 1997-2 [8]. Natomiast reguły postępowania dla dwóch pozostałych etapów zawarte są w części 1 Eurokodu 7 inaczej PN-EN 1997-1 [7].

## 5. Wnioski

W Polsce stosowanie norm jest dobrowolne. Mimo to niejednokrotnie wiele przepisów prawnych powołuje się na ich zapisy. Między innymi takie odwołania można odnaleźć w ministerialnym rozporządzeniu dotyczącym warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Innym aktem prawnym jest prawo budowlane, które w swych zapisach zobowiązuje uczestników procesu budowlanego do respektowania polskich norm.

W chwili obecnej normy PN (własne, krajowe) oraz PN-EN (Eurokody) mogą być stosowane alternatywnie. Po roku 2010 zgodnie z decyzją Komisji Europejskiej obowiązującymi powinny pozostać jedynie Eurokody oraz normy z nimi zharmonizowane.

Dotychczasowa krajowa norma PN [5] regulująca zasady badań polowych zostanie wycofana. W jej miejsce wprowadzony zostaje Eurokod 7 część 2 oraz duży zbiór norm EN-ISO zharmonizowanych z treścią Eurokodu.

Nowe normy bardzo szczegółowo opisują procedury badawcze podstawowych, powszechnie znanych metod badania podłoża gruntowego *in situ*. Wskazują na czynniki mogące wypaczyć poprawne rozpoznanie poszukiwanych wielkości. Proponują algorytmy, teorie i korelacje, na podstawie których należy wyznaczyć z wyników badań wartości liczbowe parametrów gruntu i skał określające właściwości masywu gruntowego.

Eurokod dopuszcza stosowanie nowatorskich (nieujętych w normie) metod badawczych. W takich przypadkach nakazuje przeprowadzenie badań weryfikujących inną powszechnie uznaną metodą badawczą. Należy przypuszczać, iż w miarę rozwoju i powszechności np. badań geofizycznych pojawią się w Eurokodzie oraz normach zharmonizowanych nowe zapisy dotyczące wykorzystania do oceny właściwości masywu gruntowego pomiaru prędkości rozchodzenia się w gruncie fali akustycznej, czyli pełne rozpoznanie sondą SCPTU.

#### LITERATURA

- [1] *Kłosiński B.*: Przegląd norm europejskich dotyczących projektowania konstrukcji geotechnicznych. *Geoinżynieria i Tunelowanie*, nr 2/2005, s. 18–27
- [2] *Konderla H.*: Stateczność skarp i zboczy w ujęciu Eurokodu 7. *Górnictwo i Geoinżynieria*, r. 32, z. 2, 2008, s. 197–204
- [3] PN-B-02479:1998 Geotechnika — Dokumentowanie geotechniczne — Zasady ogólne
- [4] PN-B-02481:1998 Geotechnika — Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar
- [5] PN-B-04452:2002 Geotechnika — Badania polowe
- [6] PN-EN 1990:2004 Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcyjnego
- [7] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne — Część 1: Zasady ogólne
- [8] PN-EN 1997-2:2007 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne — Część 2: Badania podłoża gruntowego (oryginalna wersja językowa)
- [9] PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 1: Oznaczanie i opis
- [10] PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 2: Zasady klasyfikowania
- [11] PN-EN ISO 14689-1:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie skał Część 1: Oznaczanie i opis
- [12] PN-EN ISO 22475-1:2006 Rozpoznanie i badania geotechniczne — Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych — Część 1: Techniczne zasady wykonania (oryginalna wersja językowa)
- [13] PN-EN ISO 22476-2:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne — Badania polowe — Część 2: Sondowanie dynamiczne (oryginalna wersja językowa)
- [14] PN-EN ISO 22476-3:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne — Badania polowe — Część 3: Sonda cylindryczna SPT (oryginalna wersja językowa)
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 109, poz. 1156)