

Geotechnika w budownictwie drogowym

Dr inż. Włodzimierz Cichy – Wiceprezydent Polskiego Komitetu Geotechniki

Czytając artykuł dotyczący geotechniki w budownictwie drogowym [1] nie znalazłem niestety wytłumaczenia jaka jest istota różnicy między geotechniką a geologią inżynierską. Geotechnika jest w dużym stopniu dziedziną interdyscyplinarną, obejmującą zarówno klasyczne obszary budownictwa ogólnego, jak i inżynierii lądowej, wodnej i morskiej. W ostatniej dekadzie bardzo dynamicznie rozwija się tak zwana geotechnika środowiskowa, obejmująca zagadnienia geotechniczne w ramach inżynierii środowiska. Tradycyjnym obszarem działania geotechniki jest również górnictwo, zarówno odkrywkowe jak i tradycyjne. Udział geotechniki w budownictwie drogowym i mostowym nie jest przecież zjawiskiem nowym. Jeden z filarów polskiej geotechniki profesor Z. Wiłun był drogowcem i napisał w latach siedemdziesiątych znakomity podręcznik geotechniki dla drogowców [2], stanowiący również podstawowe źródło wiedzy geotechnicznej dla innych specjalności budowlanych.

Zacznijmy jednak od prawa budowlanego. Pojęcie geotechniki z dużym wysiłkiem przecierało sobie drogę do polskiego prawa budowlanego. Krokiem milowym jest tu rozporządzenie MSWiA z 24 września 1998 r.[3] w sprawie ustalania warunków geotechnicznych posadowienia obiektów budowlanych. W rozporządzeniu z września 1998 r. po raz pierwszy sformułowano pojęcie kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego, która określa niejako stopień trudności projektowania geotechnicznego w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych, ale i od stopnia złożoności konstrukcji samego obiektu budowlanego. Wprowadzono trzy kategorie geotechniczne. Budowa autostrad z natury rzeczy zalicza się do trzeciej kategorii geotechnicznej, niezależnie od stopnia skomplikowania warunków gruntowych.

W celu prawidłowego, wyjściowego określenia kategorii geotechnicznej obiektu drogowego niezbędna jest bezpośrednia współpraca geotechnika z geologiem inżynierskim i konstruktorem obiektu drogowego. Kategoria geotechniczna obiektu drogowego może jednak ulec zmianie w poszczególnych etapach projektowania i wykonawstwa obiektu, kiedy może okazać się, że przyjęte pierwotnie założenia co do stopnia skomplikowania warunków gruntowych uległy zmianie.

Posadowienie nasypów drogowych na średnio zagęszczonych, zagęszczonych i bardzo zagęszczonych gruntach niespoistych oraz na twardoplastycznych, półzwarłych i zwartych gruntach spoistych nie stanowi dla projektantów dróg większych problemów, pod warunkiem prawidłowego uregulowania stosunków wodnych w podłożu konstrukcji drogi. Problemy zaczynają się w przypadku posadowień na gruntach organicznych, gruntach spoistych w stanie miękkooplastycznym i płynnym a także gruntach niespoistych w stanie luźnym. Istotne problemy stwarzają również grunty pęczniejące, zapadowe, obszary występowania zjawisk krasowych, aktywne tereny osuwisk itp.

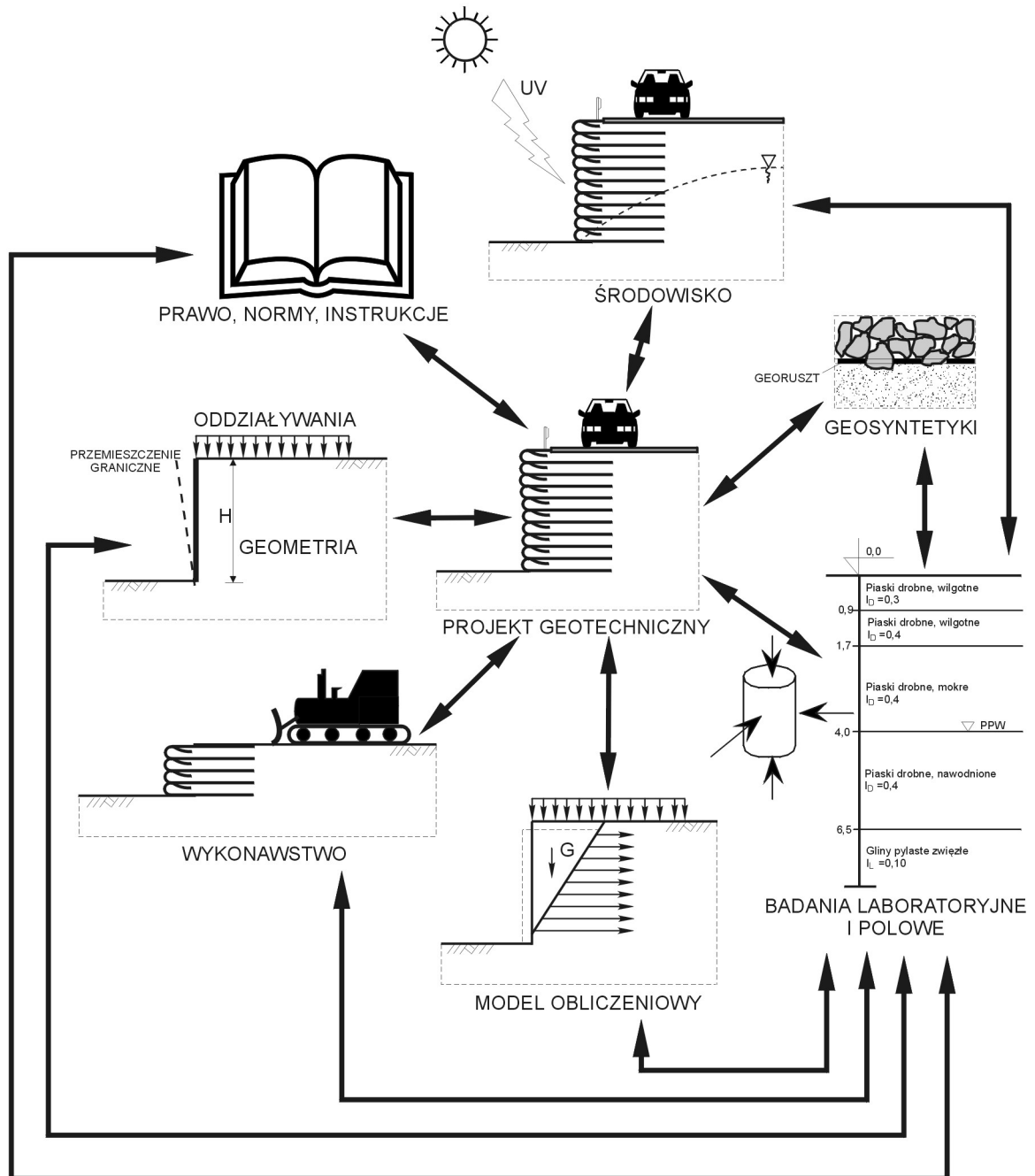
Pojęcie projektowania geotechnicznego zostało na początku lat dziewięćdziesiątych zdefiniowane przez autorów pierwszego projektu Eurokodu 7 „Geotechnical design”[4]. Projektowanie geotechniczne jest pojęciem znacznie wychodzącym poza zakres samych obliczeń posadowień konstrukcji drogowych. Prawidłowe projektowanie geotechniczne dróg i mostów wymaga bardzo ścisłej współpracy geotechników, konstruktorów dróg i geologów inżynierskich.

Na rys. 1 przedstawiono schemat projektowania geotechnicznego, przedstawiający wzajemne powiązania poszczególnych elementów tego projektowania. Do podstawowych elementów projektowania geotechnicznego należą:

- a) prawo budowlane, normy i instrukcje projektowania,
- b) wiercenia oraz badania polowe i laboratoryjne gruntów,
- c) ustalenie obciążeń i geometrii układu konstrukcyjnego: konstrukcja budowlana – podłoże gruntowe,
- d) technologia wykonawstwa robót,
- e) model obliczeń konstrukcyjnych,
- f) zagadnienia ochrony środowiska w geotechnice,
- g) geosyntetyki.

O tym, że istnieją liczne, bardziej lub mniej skomplikowane zależności między tymi elementami projektowania geotechnicznego nie trzeba nikogo przekonywać. Najważniejszymi elementami tego schematu są wpływy przyjętego modelu obliczeniowego, rodzaju obciążeń działających na podłoże, ograniczeń ruchu konstrukcji, sposobu wykonawstwa i oczywiście norm i instrukcji na sposób badań laboratoryjnych i polowych gruntu. We współczesnej geotechnice drogowej niemożliwe jest prawidłowe rozpoznanie podłoża gruntowego bez wcześniejszych, bardzo szczegółowych uzgodnień między geotechnikiem, geologiem inżynierskim i konstruktorem obiektu drogowego. Niestety praktyka w tej dziedzinie w Polsce pozostawia wiele do życzenia. Projekt badań geologiczno-

inżynierskich nie jest uzgadniany z projektantem konstrukcji drogowych, a tym bardziej geotechnikiem, jeżeli projektant drogi zaprosi takiego do współpracy.



Rys.1. Projektowanie geotechniczne

Bardzo istotną rolę odgrywają w projektowaniu geotechnicznym badania wstępne podłoża gruntowego. Projekt badań wstępnych powinien być uzgodniony z posiadającym odpowiednie doświadczenie geotechnikiem, który jest w stanie określić strefę wzajemnego oddziaływania konstrukcji z podłożem gruntowym. W ten sposób uniknie się wielu projektów badań podłoża gruntowego, w których głębokość wierceń przyjmuje się na miarę możliwości

przedsiębiorstwa geologicznego, a nie rzeczywistych potrzeb projektowania geotechnicznego konstrukcji drogowej. Jako przykład można podać wiercenia do 3 lub 4 m głębokości w przypadku posadowień nasypów drogowych o wysokości przekraczającej 10.0 m. Zdarza się, że wiercenia te nie sięgają nawet spągu gruntów słabych. Jeszcze gorzej to wygląda w przypadku konieczności posadowienia fundamentu przyczółka na 20 metrowych palach.

Stąd bardzo często występuje konieczność przeprowadzenia dodatkowych, bardzo kosztownych badań geotechnicznych podłoża gruntowego już w trakcie budowy drogi, gdy wystąpią zauważalne osiadania i odkształcenia konstrukcji drogowych.

Są powszechnie znane naciski inwestora w celu wprowadzania drastycznych oszczędności w zakresie badań geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych. Otóż opinia geotechniczna do projektu badań geologiczno-inżynierskich mogłaby ustalić ścisłą zależność bezpieczeństwa projektowanego konstrukcji drogowej od zakresu wykonywanych badań, zarówno geologiczno-inżynierskich jak i geotechnicznych, podłoża gruntowego. Opinia taka wydaje się szczególnie ważna w przypadku obiektów trzeciej kategorii geotechnicznej, a więc w budowie autostrad.

Bardzo ważny jest nie tylko zasięg badań, ale również sposób pobierania, wielkość i rodzaj próbek do badań laboratoryjnych oraz rodzaje badań „in situ” niezbędnych do prawidłowego rozpoznania podłoża gruntowego. Sposób pobierania próbek ma ogromny wpływ na wyniki badań gruntów słabych. Tymczasem powszechna praktyka pobierania próbek do stalowych gilz prowadzi do naruszenia delikatnej struktury gruntu i w rezultacie otrzymuje się wyniki znacznie odbiegające od rzeczywistości.

W tym miejscu należy ustosunkować się do dotychczasowej praktyki ustalania parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego. Otóż najczęściej polega ona na przeprowadzeniu sondowań dynamicznych w terenie i ustaleniu na podstawie liczby uderzeń stopnia zagęszczenia I_D lub stopnia plastyczności I_L badanego gruntu, a następnie odczytywaniu z wykresów w normie PN-81/B-03020, tak zwanych parametrów Φ_u i c_u podłoża gruntowego. Tak ustalone parametry nie są ani parametrami efektywnymi ani całkowitymi gruntu.

Powszechne wprowadzenie do praktyki budowlanej, szczególnie w przypadku gruntów spoistych i organicznych, sondowań statycznych z bezpośrednim pomiarem ciśnienia wody w porach gruntu (CPTU) powinno nie tylko ułatwić wyprowadzenie parametrów obliczeniowych gruntu, ale w równie istotnym stopniu ułatwić ustalenie prawidłowego zasięgu warstw geotechnicznych złożonych z gruntów o podobnych właściwościach wytrzymałościowych. Uniknie się wtedy wcale nie rzadkich sytuacji, kiedy projektant konstrukcji drogowej otrzymuje dokumentację geologiczno-inżynierską z wydzielonymi

dwudziestoma warstwami geotechnicznymi. Dla geotechnika mniejsze znaczenie ma bowiem ściśle określenie rodzaju badanego gruntu, natomiast podstawowe znaczenie ma zasięg warstw geotechnicznych o podobnych właściwościach wytrzymałościowych. Czy konstruktor obiektu drogowego jest w stanie sam poradzić sobie z tym problemem?

Niezwykle istotną zmianą wprowadzaną przez normy europejskie [4] jest zasada obliczeń posadowienia konstrukcji budowlanych w naprężeniach efektywnych, czyli na podstawie efektywnych wartości kąta tarcia wewnętrznego Φ' i spójności c' gruntu. Obliczenia w naprężeniach całkowitych, przy wykorzystaniu wytrzymałościowych parametrów całkowitych Φ i c , są jedynie wyjątkiem od tej reguły.

Jeżeli chcemy sprawdzić zachowanie się konstrukcji drogowej we wszystkich fazach wznoszenia i eksploatacji nie jest możliwe zbudowanie modelu obliczeniowego bez metod numerycznych, a te z kolei stawiają bardzo ostre wymagania co do sposobu przeprowadzania badań gruntu. Wprowadzenie zasady naprężeń efektywnych będzie miało istotny wpływ na sposób przeprowadzania badań laboratoryjnych parametrów podłoża gruntowego. Bowiem sposób przeprowadzania badania będzie w olbrzymim stopniu zależał od sposobu przekazywania obciążenia z konstrukcji na podłoże (statyczne, dynamiczne lub cykliczne), zakresu naprężeń, stopnia skonsolidowania i stopnia nasycenia badanego gruntu, przewidywanego zakresu zmian ciśnienia wody w porach gruntu, czasu trwania badania oraz technologii wykonywania fundamentu konstrukcji. Udział geotechnika w planowaniu zakresu i sposobu przeprowadzania badań geotechnicznych podłoża będzie w tej sytuacji niezbędny.

Oddziaływania środowiskowe stanowią przedmiot bardzo prężnie rozwijającej się w ostatniej dekadzie, tak zwanej geotechniki środowiskowej. Podstawą tej dziedziny jest ograniczenie wpływów środowiska gruntowego na konstrukcje budowlane, ale również wpływu konstrukcji budowlanych na środowisko gruntowe.

Równie prężnie rozwija się w ramach geotechniki dziedzina geosyntetyków - nowoczesnych, syntetycznych wyrobów budowlanych współpracujących bezpośrednio z gruntem. Niestety w projektowaniu drogowym zbyt często przyjmuje się geosyntetyki na podstawie zapewnień dostawcy. Tymczasem niezbędne są obliczenia, z których wynikają wymagane właściwości wyrobu geosyntetycznego. Wynika stąd konieczność znajomości zmian parametrów fizycznych i wytrzymałościowych geosyntetyków w czasie i pod wpływem oddziaływań środowiskowych, aby zapewnić odpowiedni poziom niezawodności projektowanej konstrukcji.

Normalizacja europejska stanowi dla polskich konstruktorów drogowych bardzo duże wyzwanie. Zespół norm wchodzących w zakres dziesięciu Eurokodów (dodatkowy Eurokod 0

Basis of design) liczy kilka tysięcy stron formatu A4. Eurokody, oprócz zaleceń dotyczących obliczeń konstrukcyjnych, zawierają bardzo dużo zaleceń z zakresu tak zwanej „sztuki inżynierskiej”. Do podstawowych norm geotechnicznych, opracowanych w ramach Eurokodu 7, należą:

- a) ENV 1997 Part 1 Geotechnical design. General rules (Projektowanie geotechniczne. Zalecenia ogólne), 1994 r.,
- b) ENV 1997 Part 2 Geotechnical design assisted by laboratory testing. (Projektowanie geotechniczne za pomocą badań laboratoryjnych), 1999 r.,
- c) ENV 1997 Part 3 Geotechnical design by field testing. (Projektowanie geotechniczne za pomocą badań polowych), 1999 r.,

Normami podstawowymi do projektowania geotechnicznego są również:

- a) Pr EN 1990 Basis of design. (Podstawy projektowania),
- b) PrEN 1991 Actions on structures. (Oddziaływania na konstrukcje),
- c) EN 1992 Part 3 Design of concrete structures. Concrete foundations. (Projektowanie konstrukcji betonowych. Fundamenty betonowe),
- d) EN 1993 Part 5 Design of steel structures. Piling. (Projektowanie konstrukcji metalowych. Fundamenty palowe),
- e) EN 1998 Part 3 Design of structures for earthquake resistance. Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. (Projektowanie konstrukcji odpornych na trzęsienia ziemi. Fundamenty, konstrukcje oporowe i aspekty geotechniczne).

Do tego dochodzą normy opracowane w ramach specjalnego komitetu TC288 – Execution of special geotechnical works (Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych):

- a) EN 1536 Bored piles (Pale wiercone),
- b) EN 1537 Ground anchors (Kotwy gruntowe),
- c) EN 1538 Diaphragm walls (Ściany szczelinowe),
- d) EN 12063 Sheet pile walls (Ścianki szczelne),
- e) EN 12699 Displacement piles (Pale przemieszczeniowe),
- f) EN 12715 Grouting (Iniekcja),
- g) EN 12716 Jet grouting (Iniekcja strumieniowa),
- h) EN 12794 Precast concrete foundation piles (Prefabrykowane pale betonowe),
- i) EN 288008 Micropiles (Mikropale).

Wymienione wyżej normy obejmują wszystkie aspekty geotechniki i stanowią olbrzymi zasób bardzo specjalistycznej wiedzy do opanowania (ponad tysiąc stron formatu A4). Stanowiąc to

będzie niewątpliwe wyzwanie dla konstruktorów drogowych, geotechników i geologów inżynierskich.

Największym wyzwaniem będzie jednak dla konstruktorów drogowych wprowadzenie obliczeń konstrukcyjnych opartych na zasadach prawdopodobieństwa (lub niezawodności) konstrukcji budowlanych. Nie czekając na ustanowienie odpowiedniej normy europejskiej (EN 1990) Polski Komitet Normalizacyjny wprowadził latem tego roku do Polskich Norm normę PN-ISO 2394 „Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych”[5].

Wprawdzie norma ta nie jest jeszcze normą obowiązującą, wprowadza jednak konstruktora budowlanego w nowe podejście do problemu bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, zapewniające odpowiedni poziom ich niezawodności. Olbrzymi wpływ na poziom niezawodności konstrukcji drogowych będzie miał niewątpliwie zakres badań polowych i laboratoryjnych gruntów podłoża oraz dokładne obliczenie zmian odkształceń podłoża i projektowanej konstrukcji drogowej w czasie. Zbyt często interesują nas tylko chwilowe odkształcenia powstające w trakcie budowy. Natomiast nie dostrzegamy odkształceń, które wystąpią po kilkunastu (czasami nawet kilku) latach eksploatacji. Tymczasem koszty naprawy uszkodzeń samej konstrukcji drogowej, rozłożone na kolejne etapy eksploatacji, mogą przekroczyć niekiedy koszty wyjściowe inwestycji. Jak zawsze pojawia się pytanie: co się bardziej opłaca? Z punktu widzenia interesów przeciętnego podatnika odpowiedź jest prosta: należy od razu projektować konstrukcję drogową na przewidziany okres eksploatacji. Na końcu tego artykułu pozwolę sobie wyrazić nadzieję, że rola prawdziwej geotechniki w budownictwie drogowym zostanie w końcu dostrzeżona i że nie będzie się jej więcej kojarzyć jedynie z prowadzeniem wierceń i sondowań geologiczno-inżynierskich.

Literatura:

1. A. Serbeńska, „Geotechnika w drogownictwie”, *Polskie Drogi* Nr 8/2001,
2. Z. Wiłun „Zarys geotechniki”. WKiŁ, 2000 r.
3. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. Nr 126, poz. 839)
4. Projekt EN 1997-1 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne. Część 1, 2 i 3. Materiały konferencji w Mrągowie, Instytut Techniki Budowlanej, październik 2000 r.
5. PN-ISO 2394 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych, Polski Komitet Normalizacyjny, kwiecień 2000 r.