

GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA ANALIZA WYSTĘPOWANIA GRUNTÓW ORGANICZNYCH W PODŁOŻU WYBRANEGO ODCINKA AUTOSTRADY A2

ENGINEERING-GEOLOGICAL ANALYSIS OF ORGANIC SOILS OCCURRENCE ALONG SELECTED SECTION OF A2 HIGHWAY

PAWEŁ DOBAK¹, SEBASTIAN KOWALCZYK²

Abstrakt. Przedstawiono problemy związane z właściwym geologiczno-inżynierskim dokumentowaniem podłoża autostrad. Rozpatrywane są: szczegółowe określanie występowania gruntów organicznych w podłożu, porównanie klasyfikacji gruntów według polskich norm oraz Eurokodu, a także stany naprężenia dla alternatywnych rozwiązań projektowych. Studium analizowanego przypadku wskazuje na konieczność rozszerzenia listy parametrów wyznaczanych w toku badań polowych, które są niezbędne dla projektowania rozwiązań konstrukcyjnych.

Słowa kluczowe: grunty organiczne, autostrady, warunki geologiczno-inżynierskie, projektowanie geotechniczne.

Abstract. The paper presents problems of proper engineering-geological investigation of the highway subsoil. The estimation of organic soil occurrence, comparison of soil classification in Polish standards and Eurocode, evaluation of stress state for alternative design solutions are considered. The study on analysed case has indicated that the longer list of parameters must be evaluated during field tests for highway designing.

Key words: organic soils, highways, engineering-geological conditions, geotechnical designing.

Grunty organiczne są wyjątkowo niekorzystnym podłożem w strefie oddziaływania obiektów budowlanych. Charakteryzują się dużą ściśliwością i z reguły bardzo małą nośnością. Ich specyfiką jest niska gęstość objętościowa, szkielet gruntowy składający się zarówno z cząstek mineralnych, jak i organicznych, znaczny udział porów wypełnionych wodą wraz z rozproszonymi w niej drobnymi cząstkami organicznymi, a w przypadku utworów węglanowych (gytii, kredy jeziornej) specyficzne oddziaływanie fitoklastów, węgla wapna i wody (Dobak, Wyrwicki, 2000), rzutujące na charakter wodoprzepuszczalności. W zagadnieniach prognozowania zachowania podłoża organicznego niezbędne jest więc zarówno dokładne rozpoznanie rozprzestrzenienia,

głębokości występowania oraz miąższości tych gruntów, jak i odpowiednie scharakteryzowanie ich właściwości fizyczno-mechanicznych.

Wnikliwe opracowania metodyczne w tym zakresie (np. Lechowicz, Szymański, 2002) stanowią bardzo dobrą podstawę naukową i aplikacyjną, lecz niestety uwarunkowania toku dokumentowania słabonośnego podłoża pozostawiają ciągle wiele do życzenia. Dotyczy to zarówno problemów klasyfikacyjnych gruntów organicznych, jak i procedur w zakresie ulepszania i wzmacniania podłoża.

Nowo wprowadzana w ramach Eurokodu (PN-EN 1997-2:2009) klasyfikacja gruntów organicznych (PN-EN ISO 14688-1:2005) znacznie różni się od dotychczas stosowa-

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; P.Dobak@uw.edu.pl

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Zakład Geofizyki i Mechaniki Ośrodków Ciągłych, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; S.Kowalczyk@uw.edu.pl

nej, zgodnej z normą PN-B-02480:1986. W normie PN-EN ISO 14688-1:2005 opis zawartości części organicznych na podstawie badań makroskopowych jest dość lakoniczny. W ujęciu makroskopowym na udział substancji organicznej w gruncie wskazuje specyficzny zapach i barwa, a ich intensywność pozwala ocenić proporcję części organicznych do mineralnych, co zaleca się uwzględnić w opisie. Grunty organiczne w normie PN-EN ISO 14688-1:2005 w nawiązaniu do kryteriów makroskopowych reprezentują zaledwie 5 wydziałów obejmujących: torfy włókniste, pseudowłókniste i amorficzne oraz gytie i humus. Normowy opis cech makroskopowych, stanowiący podstawę tych rozróżnień, nie uwzględnia szczególnych cech, np. gytii, która w polskiej tradycji zawiera znaczne ilości węgla wapnia.

W normie PN-EN ISO 14688-2:2006 grunty organiczne podzielono – na podstawie procentowej zawartości części organicznych o średnicy mniejszej bądź równej 2 mm suchej masy – na:

- niskoorganiczne – od 2 do 6% części organicznych,
- organiczne – od 6 do 20% części organicznych,
- wysokoorganiczne – powyżej 20% części organicznych.

W normie europejskiej nie występują odpowiedniki dotychczas używanych nazw, jak grunt próchniczny i namuł. Dostosowanie się do wytycznych zawartych w PN-EN ISO 14688 wydaje się być trudne, zwłaszcza przy opisie gruntów dotychczas nazywanych namułami. Grunty takie należałoby opisywać jako grunty mineralne z uwzględnieniem procentowej zawartości części organicznych albo raczej jako gytie o zubożonej zawartości węgla wapnia w porównaniu z normą PN-B-02480:1986. Wspomnieć należy, że zaklasyfikowanie namułu (w rozumieniu PN-B-02480:1986) jako gytii (w rozumieniu PN-EN ISO 14688) będzie mogło powodować pewne nieporozumienia, gdyż pod pojęciem gytii przeważnie rozumie się grunt akumulacji jeziornej, zaś namuł – jako grunt powstający często w środowisku wód płynących.

Posadowienie obiektów na gruntach słabonośnych i bardzo ściśliwych, do których zalicza się utwory organogeniczne, wymaga z reguły ulepszenia i wzmocnienia podłoża. W Eurokodzie 7 (PN-EN 1997-1:2008) przedstawiono w tej dziedzinie następujący tok postępowania:

1. Przed wybraniem metody lub wykonywaniem ulepszenia, lub też wzmocnienia należy przeprowadzić badania geotechniczne w celu uzyskania danych określających początkowe warunki gruntowe.

2. Metodę ulepszenia podłoża w określonej sytuacji należy zaprojektować, uwzględniając – w miarę potrzeby – czynniki:

- miąższość i właściwości podłoża lub materiału nasypowego,
- ciśnienie wody w różnych warstwach,
- rodzaj, wymiary oraz usytuowanie konstrukcji, która ma być posadowiona na analizowanym podłożu,
- ochronę przed uszkodzeniem przyległych konstrukcji i instalacji,
- trwałość lub tymczasowy efekt ulepszenia podłoża z kolejnością operacji na budowie (ze względu na przewidywane odkształcenia),

- wpływ na środowisko z uwzględnieniem zanieczyszczeń substancjami toksycznymi lub zmian poziomu wody gruntowej,

- długoterminowe starzenie się materiałów.

3. Skuteczność ulepszenia podłoża należy sprawdzić według kryteriów odbiorczych przez określenie zmian tych właściwości gruntu, na które miała wpływ metoda ulepszenia.

Stosowanie tych klasyfikacji i zaleceń natrafia w okresie ich wdrażania na szereg trudności i bardzo często spotyka się z niezrozumieniem. Zgodnie z postanowieniami międzynarodowymi w krajach członkowskich UE w 2010 r. przewidziano pełne wdrożenie Eurokodów – europejskich norm technicznych, dotyczących wyłącznie projektowania konstrukcji budowlanych. Wymóg ten jest jednak obecnie złagodzony, gdyż – zgodnie z wykładnią Ministerstwa Infrastruktury (pismo Departamentu Rynku Budowlanego i Techniki nr BRIp-024-8/10 z dnia 20 kwietnia 2010 r. adresowane do Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa) – zarówno obecnie wycofywane polskie normy, jak i zastępujące je Eurokody mogą być podstawą wykonania projektu budowlanego w zależności od decyzji projektanta. Stanowisko to jest zgodne z ogólnymi zasadami normalizacji, w których jest mowa o dobrowolności stosowania norm.

Poniżej przedstawiono studium przypadku, ilustrującego niektóre trudności, jakie powstają przy zderzeniu „starego” z „nowym”.

Do zaprezentowania problemów dokumentowania środowiska gruntowo-wodnego został wybrany odcinek projektowanej autostrady A2 (kilometraż między 445+275 a 445+635).

Na odcinku tym początkowo wydzielono dwa obszary występowania gruntów organicznych. Tereny te w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Troć i in., 2010) i w projekcie wykonawczym (Wojtasik i in., 2010) zostały nazwane torfowiskami (nr 6 i 7). Ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

W projekcie wykonawczym wzmocnienia podłoża przyjęto, że zarówno torfowisko nr 6, jak i nr 7 występują pod całym pasem drogowym budowanej autostrady A2. Jako rozwiązanie wzmocnienia podłoża zaproponowano obciążenie wstępne w formie tymczasowego nasypu o wysokości 4 m powyżej rzędnej niwelety projektowanej autostrady. Czasochłonność takiego rozwiązania była jednak trudna do zaakceptowania. Dlatego też wykonano dodatkowe opracowania (Maślankowski, Bartnik, 2010), mające uszczegółwić występowanie gruntów organicznych w pasie autostrady na omawianym kilometrażu. Odwiercono dodatkowo 37 otworów do głębokości 6–10 m p.p.t. W efekcie okazało się, że grunty organiczne występują w izolowanych obszarach nie obejmując całego podłoża pasa drogowego (fig. 1). Różnice w interpretacji rozprzestrzenienia gruntów organicznych na tym obszarze pokazują, że dokumentowanie złożonych warunków gruntowo-wodnych w obrębie utworów słabonośnych jest czynnością niełatwą i przy standardowych rozstawach otworów badawczych może dawać nadmiernie zgeneralizowany obraz budowy podłoża.

Tabela 1

Ogólna charakterystyka warunków geologiczno-inżynierskich na obszarze torfowisk nr 6 i 7 w projekcie wykonawczym wzmocnienia podłoża

General engineering-geological conditions in the area of peat land no 6 and 7 for design of subsoil reinforcement

Torfowisko nr 6 trasa główna: km 445+275–445+450	Torfowisko nr 7 trasa główna: km 445+525–445+635
<p>Na podstawie dokumentacji stwierdzono zaleganie „starszych” plejstocenijskich osadów organicznych, wykształconych jako torfy, namuły piaszczyste oraz grunty próchnicze (piaski humusowe) z przewarstwieniami namułów. Osady te zalegają poniżej twardoplastycznych i półzwartych glin piaszczystych i cechują się stosunkowo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi (wilgotność tych gruntów jest o wiele niższa od wilgotności naturalnej holocenijskich osadów organicznych). Strop gruntów słabonośnych występuje na głębokości ok. 2,3–3,8 m p.p.t., natomiast spąg nawiercono na głębokości ok. 4,5–7,6 m p.p.t. (miąższość ok. 2,0–4,0 m). Maksymalną głębokość gruntów organicznych (7,6 m p.p.t.) stwierdzono w otworze badawczym w km 445+320 L+22 po północno-zachodniej stronie autostrady. W dokumentacji geologiczno-inżynierskiej opracowanej na etapie projektu wstępnego nie zlokalizowano tego obszaru. Woda gruntowa stabilizuje się na głębokości 0,7–1,7 m p.p.t. (tj. między rzędnymi 91,87 i 92,93 m n.p.m.).</p>	<p>Na podstawie dokumentacji stwierdzono zaleganie „starszych” plejstocenijskich osadów organicznych, wykształconych jako torfy, namuły piaszczyste oraz grunty próchnicze (piaski humusowe) z przewarstwieniami namułów. Osady te zalegają poniżej średniozagęszczonych/zagęszczonych gruntów niespoistych (piaski drobne oraz średnie) lub twardoplastycznych i półzwartych gruntów spoistych (piaski gliniaste, gliny piaszczyste) i cechują się stosunkowo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi (wilgotność tych gruntów jest o wiele niższa od wilgotności naturalnej holocenijskich osadów organicznych, ale wyższa niż w gruntach organicznych występujących na torfowisku nr 6 ze względu na ich przykrycie przepuszczalnymi osadami niespoistymi). Strop gruntów słabonośnych występuje na głębokości ok. 1,5–5,3 m p.p.t., natomiast spąg nawiercono na głębokości ok. 5,6–8,5 m p.p.t. (miąższość ok. 0,3–5,0 m). Maksymalną głębokość gruntów organicznych (8,5 m p.p.t.) stwierdzono w otworze badawczym w km 445+610P+22, po południowo-wschodniej stronie autostrady. W dokumentacji geologiczno-inżynierskiej opracowanej na etapie projektu wstępnego nie zlokalizowano tego obszaru. Woda gruntowa stabilizuje się na głębokości 1,1–1,4 m p.p.t. (tj. między rzędnymi 92,74 i 93,02 m n.p.m.).</p>

Innym utrudnieniem w podejmowaniu decyzji o sposobie adaptacji podłoża dla budowy i funkcjonowania autostrady była niewystarczająca charakterystyka właściwości gruntów organicznych. W tabeli 2 zaprezentowano – zgodnie z dawnym podziałem w polskiej normie oraz obecnie przyjętymi standardami Eurokodu 7 – wyniki oznaczeń i klasyfikacji

gruntów występujących na obszarach analizowanych torfowisk.

Jak widać, jednoznaczne przyporządkowanie oznaczeń z normy PN-B-04481:1988 oznaczeniom z normy PN-EN ISO 14688 bez znajomości wyników analizy sitowej i areometrycznej jest praktycznie niemożliwe. Ten stan rzeczy

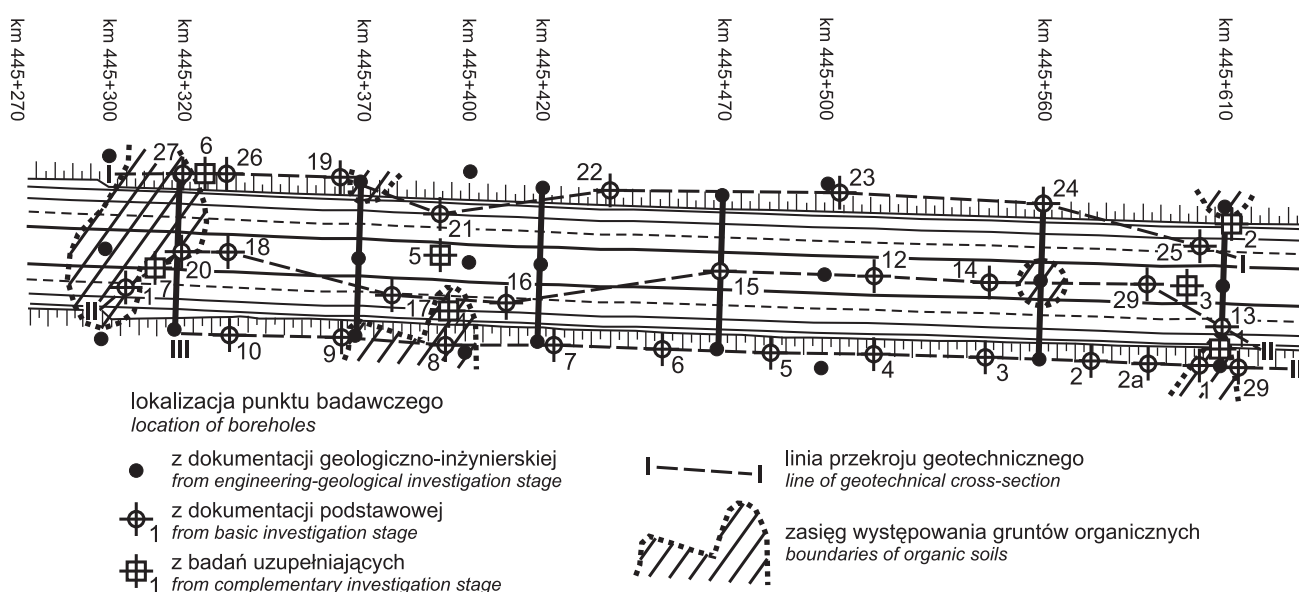


Fig. 1. Zasięg występowania gruntów organicznych na terenie torfowisk nr 6 i 7 po wykonaniu opracowania uzupełniającego

Verified zone of organic soil occurrence after making additional investigation

Tabela 2

Klasyfikacja gruntów organicznych na podstawie standardów krajowych i Eurokodu
Organic soil classification in Polish standards and in Eurocode

Nr otworu	Głębokość pobrania próbki [m]	Zawartość części organicznych według PN-B-04481:1988 I_{om} [%]	Rodzaj gruntu według PN-B-02480:1986	Klasyfikacja gruntów organicznych według PN-EN ISO 14688-2:2006	Symbole gruntów zgodnie z PN-EN ISO 14688-1:2005
1	3,0	5,29	namuł gliniasty (Nmg)	niskoorganiczny	orsisaCl(?) sisaclGy
8	6,5–7,0	8,06	namuł gliniasty (Nmg)	organiczny	sisaclGy(?)
20	7,5–8,0	2,65	piasek drobny humusowy (Pdh)	niskoorganiczny	orFSa
27	5,6–6,0	12,57	namuł gliniasty (Nmg)	organiczny	sisaclGy(?)
1 uzup.	3,3–6,5	18,79	namuł (Nm)	organiczny	Gy(?)
4 uzup.	2,0–5,8	4,45	piasek drobny humusowy (Pdh)	niskoorganiczny	orFSa

dotatkowo utrudnia przeprowadzenie dalszych analiz i odniesienie się do doświadczeń i charakterystyk z literatury. Dane te są natomiast niezbędne dla dokonania właściwej prognozy zachowań podłoża oraz formułowania zaleceń geoinżynierskich.

Wstępnym etapem programowania badań powinno być określenie stanu naprężenia w podłożu w różnych wariantach projektowych. Przykładowy sposób przeprowadzenia takiej analizy nawiązuje do warunków udokumentowanych w podłożu autostrady. W wybranym przekroju poprzecznym

grunty organiczne występują w postaci paralelnych warstw wyklinowujących się pod środkiem autostrady, a zwiększających swoją miąższość na zewnątrz pasa autostradowego (fig. 2). Analiza takiego modelu pozwala na ocenę niekorzystnej sytuacji, w której strefa potencjalnego wyparcia na zewnątrz podłoża nasypu pokrywa się jednocześnie z największymi lokalnie miąższościami gruntów słabych.

Wpływ obciążenia trapezowego od nasypu obciążającego oraz nasypu drogowego określono na podstawie rozwiązań zaproponowanych przez Kisiela (1965). W obliczeniach tych

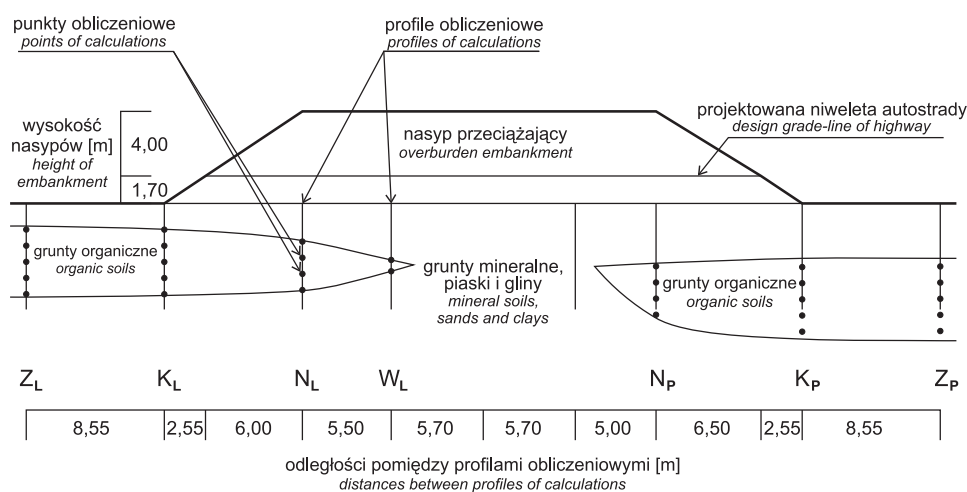


Fig. 2. Schemat lokalizacji profili obliczeniowych

$Z_L, K_L, N_L, N_L, W_L, N_P, K_P, Z_P$ – profile obliczeniowe

The scheme of calculation profiles localization

$Z_L, K_L, N_L, N_L, W_L, N_P, K_P, Z_P$ – profiles of calculations

wykorzystuje się zasadę superpozycji oddziaływań trapezów, przy czym jeden z boków elementarnych trapezów jest zawsze prostopadły do podstaw (fig. 3). W wytypowanych punktach profilu warstwy organicznej wyznaczono następujące składowe wartości naprężeń od obciążenia nasypem: pionowe:

$$\sigma_{11,i} = I_{11,i} q_n = \frac{q_n}{\pi} \left(\frac{a_i}{a_i - b_i} \beta_{a,i} - \frac{b_i}{a_i - b_i} \beta_{b,i} \right), \quad [1]$$

poziome:

$$\sigma_{22,i} = I_{22,i} q_n = \frac{q_n}{\pi} \left(\frac{a_i}{a_i - b_i} (\beta_{a,i} + \text{ctg} \beta_{a,i} \ln \cos^2 \beta_{a,i}) - \frac{b_i}{a_i - b_i} (\beta_{b,i} + \text{ctg} \beta_{b,i} \ln \cos^2 \beta_{b,i}) \right), \quad [2]$$

styczne:

$$\sigma_{12,i} = I_{12,i} q_n = \frac{q_n}{\pi} \left(\frac{a_i}{a_i - b_i} \beta_{a,i} \text{ctg} \beta_{a,i} - \frac{b_i}{a_i - b_i} \beta_{b,i} \text{ctg} \beta_{b,i} - 1 \right), \quad [3]$$

gdzie:

$$\beta_{a,i} = \arctg \left(\frac{a_i}{x_i} \right), \quad [4]$$

$$\beta_{b,i} = \arctg \left(\frac{b_i}{x_i} \right). \quad [5]$$

Obliczenia prowadzono na podstawie schematów pokazanych na figurze 3 zgodnie z ustalonymi wymiarami rozpatrywanych trapezów oraz głębokościami analizowanych punktów x_i w podłożu gruntowym.

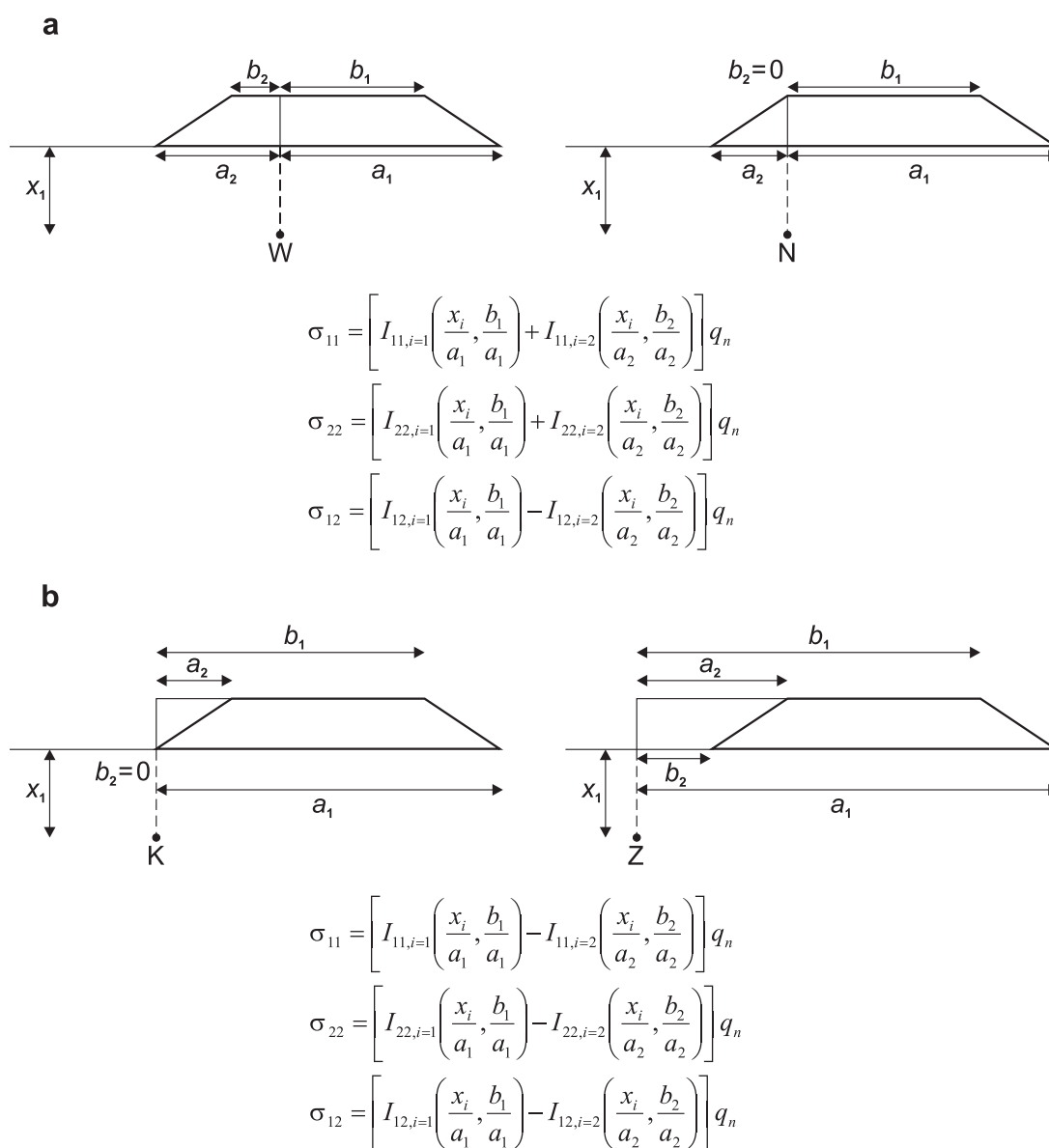


Fig. 3. Wyznaczanie naprężeń spowodowanych obciążeniem podłoża nasypem: a – pod nasypem, b – w otoczeniu nasypu

Evaluation of stresses in subsoil caused the embankment loading: a – under the embankment, b – in surroundings of the embankment

Obliczenia stanu naprężenia w podłożu przeprowadzono przy następujących upraszczających założeniach: dla występujących powyżej utworów organicznych gruntów nośnych, wykształconych w postaci piasków oraz glin, przyjęto zgeneralizowany ciężar objętościowy $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, natomiast gruntom organicznym przypisano $\gamma = 10,5 \text{ kN/m}^3$. Dla całego podłoża przyjęto współczynnik parcia bocznego gruntu w spoczynku $K_0 = 0,33$ w nawiązaniu do analizy charakterystyk podawanych przez Wiłuna (2001) oraz wyników badań Szymańskiego (1991).

Stan naprężenia w podłożu przedstawiono w układzie $p - q$ uwzględniając w obliczeniach superpozycję: naprężeń pierwotnych σ_{zy} oraz $\sigma_{xy} = K_0 \sigma_{zy}$, przyjmowanych jako naprężenia główne, oraz naprężeń od obciążeń nasypem q_n : $\sigma_{11,i}$, $\sigma_{22,i}$, $\sigma_{12,i}$.

Na ich podstawie wyznaczano sumarycznie wartości naprężeń głównych σ_1 i σ_3 według wzoru:

$$\sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_{11} + \sigma_{22}) + (\sigma_{33} + \sigma_{xy})}{2} \pm 0,5 \sqrt{[(\sigma_{11} + \sigma_{22}) - (\sigma_{33} + \sigma_{xy})]^2 + 4\sigma_{12}^2} \quad [6]$$

Obliczenia przeprowadzono w obrębie warstw gruntów organicznych, w punktach obliczeniowych zgrupowanych w 7 pionowych profilach charakteryzujących strefę oddziaływań nasypu (fig. 2). Określono naprężenia całkowite (*total - t*) i czynne (*effective - e*), przy założeniu, że położenie zwierciadła wody gruntowej stabilizowało się na głębokości 1,3 m poniżej pierwotnej powierzchni terenu.

Wyniki obliczeń charakteryzujące stan naprężenia w obrębie słabonośnej warstwy gruntów organicznych mogą być przedstawione w sposób syntetyczny dla każdego profilu pionowego osobno (fig. 4). Obejmują one następujące sytuacje:

I – naprężenia pierwotne σ_{zy} – przed rozpoczęciem prac budowlanych (*natural, total: n - t, natural, effective: n - e*);

II – naprężenia w podłożu pod nasypem przeciążającym o miąższości 5,7 m, dającym ekwiwalentne naprężenie $q_n = 110 \text{ kPa}$ (*overburden, total: o - t, overburden, effective: o - e*);

III – naprężenia po zdjęciu 4-metrowej miąższości nasypu i zrealizowaniu całej konstrukcji drogi wraz z uwzględnieniem obciążeń eksploatacyjnych – przyjęte ekwiwalentne naprężenie $q_n = 60 \text{ kPa}$ (*highway, total: h - t, highway, effective: h - e*).

Przez najwyższe wartości naprężeń q_{\max} uzyskane w punktach położonych na spągu warstw organicznych wykreślano prostą (obwiednię wytrzymałościową) ilustrującą parametry Mohra β , b .

Oczywiście wytrzymałość podłoża nie musi być realizowana wyznaczoną kombinacją parametrów β , b oraz Φ , c . Drugim skrajnym rozwiązaniem może być wytrzymałość realizowana wyłącznie przez spójność $c = b/\cos\Phi$, gdy $\Phi = 0$.

W tabeli 3 podano parametry obwiedni wytrzymałościowych dla 7 obliczonych profili, a także maksymalne war-

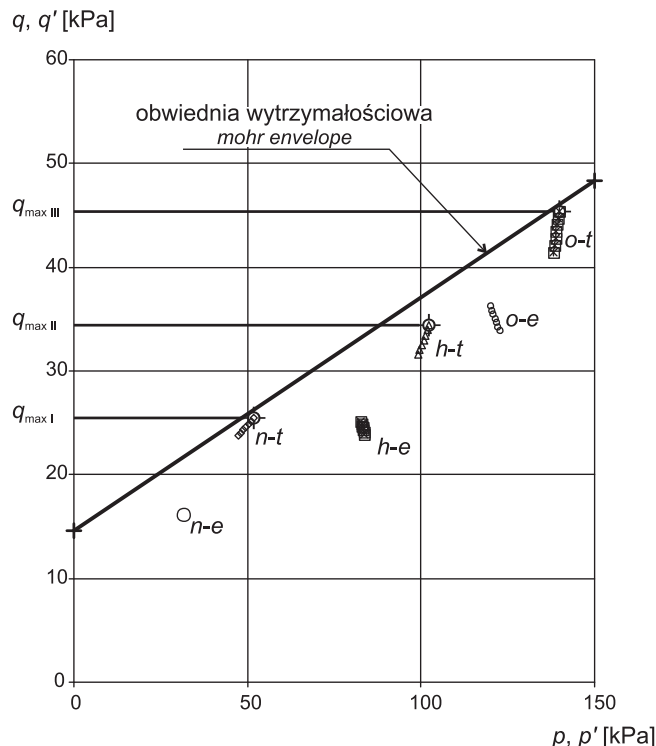


Fig. 4. Zmiany stanu naprężenia w warstwach gruntów organicznych podłoża autostrady (profil W_L)

Objaśnienia w tekście

Changes of the stress state in organic soil layers in the highway subsoil (the W_L profile)

Explanations as in the text

tości q_{\max} dla trzech rozpatrywanych sytuacji obciążenia (I, II, III).

Generalnie stwierdzić należy, że istotnym czynnikiem kształtującym wartość q_{\max} jest głębokość występowania spągu gruntów organicznych. W płycej położonych, wyklinowujących się pod centralną częścią nasypu, warstwach gruntów organicznych wartości naprężenia dewiatorowego mogą być niższe (np. w profilu W_L), aniżeli pod skrajnymi częściami nasypu (np. w profilach N_p , K_p). Grunty organiczne występują tam głębiej i w nawiązaniu do analizy stanu naprężenia w spągu powinny być odpowiednio bardziej wytrzymałe. Wskazuje to na wielką rolę właściwego udokumentowania głębokości występowania gruntów słabonośnych, a następnie określenia zmian parametrów wytrzymałościowych w profilu pionowym. Warto zwrócić uwagę, że wartości $q_{\max,II}$, uzyskane dla sytuacji, w której podłożo obciążone jest wyłącznie nasypem autostradowym, są znacznie mniejsze niż wartości naprężeń $q_{\max,III}$ wyznaczone przy zastosowaniu wstępnego obciążenia nasypem.

W nawiązaniu do wyników tych analiz, racjonalna wydaje się rezygnacja z koncepcji wzmacniania podłoża poprzez usypanie 4-metrowego nasypu ponad projektowaną niweletą autostrady. Osiągnięcie znacznego wzrostu

Tabela 3

Wyniki analiz stanu naprężenia w wybranych profilach obliczeniowych

Results of stress state analysis in selected calculation profiles

Parametry	Symbol	Jednostka	Profile obliczeniowe						
			Z _L	K _L	N _L	W _L	N _p	K _p	Z _p
Głębokość stropu warstwy gruntów organicznych	z_b	[m]	5,9	8,4	5,4	4,2	7,2	8,4	8,6
Parametry obwiedni wytrzymałościowej	β	[°]	6,1	11,3	19,9	12,7	22,5	11,8	6,0
	b	[kPa]	19,9	15,1	7,4	14,9	6,5	23,6	30,6
Naprężenie dewiatorowe w różnych sytuacjach obciążenia podłoża	$q_{\max,I}$	[kPa]	28	40	26	26	37	40	39
	$q_{\max,II}$	[kPa]	19	45	39	35	51	45	33
	$q_{\max,III}$	[kPa]	28	44	51	46	63	44	42

wymaganej wytrzymałości podłoża przy takim rozwiązaniu wskazywałyby na potrzebę obciążania etapami. Wydłużyłoby to znacznie czas potrzebny na wzmocnienie podłoża, chociaż uzyskane wytrzymałości dawałyby niewątpliwie większy zapas bezpieczeństwa. Zagadnienie prekonsolidacyjnego wzmocnienia podłoża wymaga także odpowiedniego prognozowania czasu konsolidacji. Symulację tego zagadnienia przedstawiono na figurze 5, gdzie przykładowo – w nawiązaniu do udokumentowanych miąższości warstw organicznych – przeprowadzono obliczenia czasu niezbędnego do osiągnięcia 90% konsolidacji warstwy drenowanej poprzez powierzchnię stropową i spągową, przy założeniu alternatywnych wartości współczynnika konsolidacji (przyjętych w przedziale od 10^{-6} do 10^{-8} m²/s, co odpowiada od 2,6 do 0,03 m²/miesiąc). Warto zaznaczyć, że przyjmowany w harmonogramie prac 3–4-miesięczny okres przeciążenia, w przypadku większych miąższości konsolidowanego gruntu podłoża, mógłby okazać się niewystarczający. W warunkach zmiennego występowania piasków oraz glin i ilów może mieć miejsce jednostronny drenaż (tylko przez strop lub spąg) i czas konsolidacji według teoretycznych prognoz zwiększyłby się co najmniej 4-krotnie. Stąd wymagania harmonogramu prac budowlanych nie pozwoliły na zastosowanie tak długotrwałej prekonsolidacji wstępnej podłoża i skłoniły do przyjęcia wzmocnienia podłoża w postaci ułożenia pod nasypem autostradowym geosiatki.

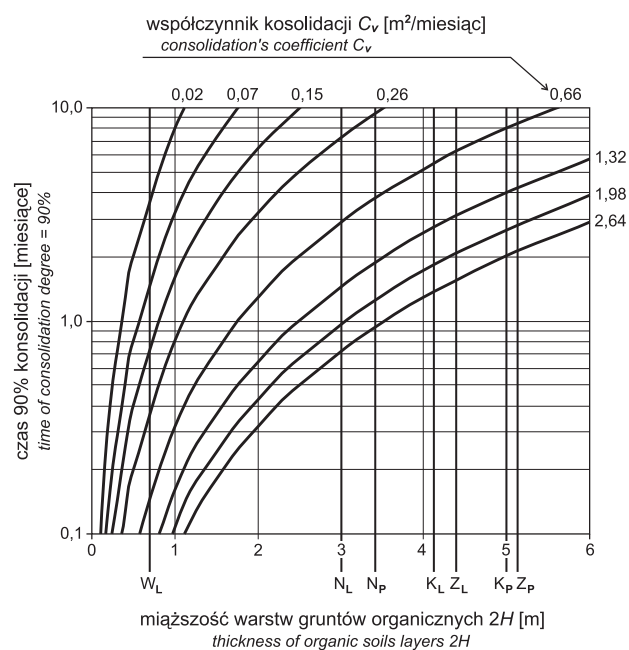


Fig. 5. Alternatywne prognozy czasu konsolidacji rozpatrywanych warstw gruntów organicznych

Symbole profili obliczeniowych jak na fig. 2

Alternative prognosis of consolidation time in considered organic soil layers

Symbols of the calculation profiles as in Fig. 2

WNIOSKI

1. Studium budowy autostrady przy występowaniu w podłożu gruntów organicznych wskazuje na konieczność wcześniejszej oceny modelu budowy geologicznej. W obszarach akumulacji zastoiskowej lub w strefach wytopiskowych mogą występować niewielkie przestrzenie, lecz liczne, miejsca akumulacji organicznej pogrzebane pod niewielkiej miąższości pokrywą osadów mineralnych (glin i pyłów). Obecność takich miejsc może wymagać zaprojektowania

wyprzedzającej prospekcji geofizycznej oraz zwiększenia gęstości płytkich otworów umożliwiających lokalizację osadów organicznych ściśle na trasie projektowanej inwestycji drogowej.

2. Obliczenia stanu naprężenia w różnych wariantach wzmocnienia podłoża wyznaczają zakres niezbędnych obserwacji i badań terenowych oraz laboratoryjnych umożliwiających prognozowanie stanów granicznych, przede

wszystkim nośności i użytkowania, rozpatrywanych także w ujęciu czasowym (konsolidacji).

3. Przy projektowaniu wierceń niezbędne są: rozszerzony zakres badań makroskopowych, dostarczających informacji o sposobie wykształcenia i stopniu rozkładu substancji organicznej, oraz opróbowanie dla wyznaczenia zmian gęstości objętościowej gruntu. W projekcie badań powinien się znaleźć zapis o konieczności sprawdzenia wytrzymałości gruntów *in situ* w zależności od bieżących wyników prospekcji geologicznej (np. badania sondą krzyżakową FVT). Przeprowadzone symulacje nośności oraz osiadań pokazują, że dla projektów geoinżynierskich niezbędna jest cha-

rakterystyka zmian wartości parametrów gruntu w funkcji głębokości.

4. W przypadku konieczności projektowania wzmocnienia podłoża na drodze prekonsolidacji wskazane są badania specjalistyczne obejmujące m.in. określenie: zmian modułów ścisłości gruntu w funkcji obciążenia, współczynnika konsolidacji, współczynnika parcia bocznego gruntu K_0 . W laboratoryjnych badaniach wytrzymałościowych należy uwzględniać wyznaczanie parametrów całkowitych i efektywnych. Jest to niezbędne w ocenach stanów granicznych podłoża drogowego, w którym występują często zmiany położenia zwierciadła wód gruntowych.

LITERATURA

- DOBAK P., WYRWICKI R., 2000 — Hydroizolacyjne właściwości kredy jeziornej. *Prz. Geol.*, 5: 4.
- KISIEL I., 1965 — Naprężenia pod obciążeniem trapezowym. *Arch. Hydrotechn.*, 12, 3.
- LECHOWICZ Z., SZYMAŃSKI A., 2002 — Odkształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych. Wyd. SGGW, Warszawa.
- MAŚLAKOWSKI M., BARTNIK G., 2010 — Badania uzupełniające dot. analizy warunków gruntowo-wodnych pod kątem rozpoznania oraz rozprzestrzenienia gruntów organicznych w ciągu autostrady A2 na odcinku Stryków–Konotopa w kilometrażu 445+320 – 445+610. GEOSTUDIO, październik 2010.
- PN-B-02480:1986 — Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. PKN, Warszawa.
- PN-B-04481:1988 — Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. PKN, Warszawa.
- PN-EN 1997-1:2008 — Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1 – Zasady ogólne. PKN, Warszawa.
- PN-EN 1997-2:2009 — Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2 – Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego. PKN, Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-1:2005 — Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1 – Oznaczanie i opis. PKN, Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 — Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2 – Zasady klasyfikowania. PKN, Warszawa.
- SZYMAŃSKI A., 1991 — Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem. *Rozpr. Nauk. i Monogr.* Wyd. SGGW, Warszawa.
- TROĆ M., WOJTASIK A.T., DOJCZ P. i in., 2010 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska określająca warunki geologiczno-inżynierskie dla projektu i realizacji autostrady A2 Stryków–Konotopa na odcinku D w km 431+500 – 449+100. GT PROJEKT Sp. z o.o. & C.O. spółka komandytowa, Swadzim, lipiec 2010.
- WIŁUN Z., 2001 — Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności. Warszawa
- WOJTASIK A.T., WIECZOREK Ł., GÓRCZYŃSKA A., 2010 — Projekt wykonawczy budowy autostrady A2 na odcinku od granicy województwa łódzkiego/mazowieckiego w km 411+465,80 do węzła Konotopa (z węzłem) w km 456+239,67, odcinek D2 od km 441+143,53 do km 449+100, tom: II/2 – Wzmocnienie podłoża gruntowego. GT PROJEKT Sp. z o.o. & C.O. spółka komandytowa, Swadzim, lipiec 2010.

SUMMARY

The paper presents the case study concerning the rules of engineering-geological investigation for estimation of highway subsoil properties. Geological survey on organic soils occurrence is crucial for obtaining the optimum geotechnical solution. The initial investigations showed the presence of organic soils in most profiles of highway subsoil. It was necessary to apply an initial load by the embankment, but in this situation the long time of pre-consolidation was not acceptable. More detailed field investigations showed, that organic soils were situated in isolated, smaller layers so the application of geotextile under lower embankment of the

highway was sufficient. The paper presents method of stress state analysis carried out for different situations of the subsoil loading. The results of these calculations showed that maximum values of deviator stress depends significantly on the depth of bottom soil layers. Hence, the detailed estimation of soil layers boundary is very important for next geotechnical analysis and solutions. The proper prognosis of the subsoil behavior requires the estimation of shear strength in the function of depth, consolidation parameters and coefficient of earth pressure at rest to evaluate properly the ultimate and serviceability limit state.