

PROJEKT GEOTECHNICZNY

OPINIA GEOTECHNINA

**BUDOWA ODCINKA DROGI PRZY ŁABĘDZIEJ - CZ.2,
M. ZĄBKI, GM. ZĄBKI, POW. WOŁOMIŃSKI, WOJ. MAZOWIECKIE**

Wykonawca badań podłoża:

Projektant / nr uprawnień	Branża	Podpis
<i>mgr Paweł Stępczak</i> <i>upr. geol. inż. VII-1911 MŚ</i> <i>upr. doz. i kier. rob. XI-067 MAZ</i>	Geotechnika Geologia inżynierska	
<i>inż. Marta Dębska</i>		

Projektant obiektu budowlanego:

Projektant / nr uprawnień:	Branża	Podpis
<i>mgr inż. Bartłomiej Małetka</i> <i>upr. bud. nr MAZ/0405/POOD/10</i>	Drogowa	

Warszawa, kwiecień 2021 r.

Spis treści

I. PRZEDMIOT PROJEKTU	3
II. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE	3
III. USTALENIA PROJEKTU GEOTECHNICZNEGO	4
1) Prognoza zmian właściwości podłoża gruntowego w czasie	4
2) Określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych	5
3) Określenie częściowych współczynników bezpieczeństwa	5
4) Określenie oddziaływań od gruntu	6
5) Przyjęcie modelu obliczeniowego podłoża - przekrój geotechniczny	7
6) Nośność i osiadanie podłoża gruntowego oraz ogólna stateczność	8
7) Ustalenie danych niezbędnych do zaprojektowania fundamentów	9
8) Ogólna specyfikacja badań niezbędnych do zapewnienia wymaganej jakości robót ziemnych i specjalistycznych robót geotechnicznych	9
9) Określenie szkodliwości oddziaływań wód gruntowych na obiekt budowlany i sposobów przeciwdziałania tym zagrożeniom	12
10) Określenie zakresu proponowanego monitoringu	13
IV. MATERIAŁY, NORMY ORAZ PODSTAWA PRAWNA	13

I. PRZEDMIOT PROJEKTU

Przedmiotem niniejszego dokumentu jest ocena i analiza danych geotechnicznych (Dz. U. 2012, poz. 463; oraz EN 1997-1:2007, EN 1997-2:2007) w następującym zakresie:

- 1) prognoza zmian właściwości podłoża gruntowego w czasie;
- 2) określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych;
- 3) określenie częściowych współczynników bezpieczeństwa do obliczeń geotechnicznych;
- 4) określenie oddziaływań od gruntu;
- 5) przyjęcie modelu obliczeniowego podłoża gruntowego - przekroju geotechnicznego;
- 6) nośność i osiadania podłoża gruntowego oraz ogólna stateczność;
- 7) ustalenie danych niezbędnych do zaprojektowania fundamentów
- 8) specyfikacja badań niezbędnych do zapewnienia wymaganej jakości robót ziemnych i specjalistycznych robót geotechnicznych;
- 9) określenie szkodliwości oddziaływań wód gruntowych na obiekt budowlany i sposobów przeciwdziałania tym zagrożeniom;
- 10) określenie zakresu niezbędnego monitorowania wybudowanego obiektu budowlanego, obiektów sąsiadujących i otaczającego gruntu, niezbędnego do rozpoznania zagrożeń mogących wystąpić w trakcie robót budowlanych lub w ich wyniku oraz w czasie użytkowania obiektu budowlanego.

Przy opracowaniu projektu wykorzystano następujące materiały:

- DOKUMENTACJA BADAŃ PODŁOŻA GRUNTOWEGO; GEO-PROSPEKT, 2021
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne - Część 1: Zasady Ogólne.
- PN-EN 1997-2:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne — Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

Wyłączono z projektu zakres branży konstrukcyjno-budowlanej. Dokument nie obejmuje projektowania wykonawstwa robót budowlanych (m.in. projektu wykonawczego odwodnienia wykopów i obiektów, projektowania wzmocnienia podłoża, specyfikacji technicznych robót ziemnych i specjalistycznych robót geotechnicznych, drogowych i instalacyjnych, projektowania zabezpieczeń wkopów i obiektów, obliczeń statycznych i dynamicznych związanych z posadowieniem obiektów budowlanych. Zakres analiz nie obejmuje badań chemicznych środowiska gruntowo-wodnego czy oznaczeń i receptur laboratoryjnych przydatności materiałów (gruntów rodzimych i kruszyw) do robót ziemnych i stabilizacji.

II. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Projektowana jest budowa drogi gminnej - ul. Łabędziej (m. Ząbki, gm. Ząbki, pow. wołomiński, woj. mazowieckie). W zakres opracowania projektu budowlanego wchodzi branża drogowa i branża sanitarna.

Podstawowe założenia projektowe:

- Rozbudowa drogi gminnej o długości ok. 110 m w pasie drogowym ulicy Łabędziej,
- Kategoria ruchu drogowego KR2,
- Projektowane rzędne niwelety – w przybliżeniu zgodne z rzędnymi istniejącej nawierzchni,
- Grubość konstrukcji nawierzchni – przyjęto ok. 0,5 m,
- Odwodnienie nawierzchni – kanalizacja deszczowa; głębokość posadowienia maks. 2,0-2,5 m p.p.t. Wykopy > 1,2 m p.p.t. – II kategoria geotechniczna

Dla przedmiotowej Inwestycji przyjęto **II kategorię geotechniczną** z uwagi na głębokości wykopów przekraczające 1,2 m p.p.t. Zgodnie z Rozporządzeniem MTBiGM (Dz. U. 2012, poz. 463) kategorię geotechniczną obiektu budowlanego określa Projektant.

III. USTALENIA PROJEKTU GEOTECHNICZNEGO

1) Prognoza zmian właściwości podłoża gruntowego w czasie

Na etapie wykonywania wykopów i korytowania nastąpi odprężenie podłoża gruntowego (wykopy pod sieci kanalizacyjne, elektroenergetyczne i teletechniczne, korytowanie pod konstrukcje drogowe, wykopy w miejscach wymiany gruntów).

Przyrost obciążenia wywołany zagęszczeniem warstw nasypowych, wykonaniem warstw konstrukcyjnych nawierzchni i obciążenie pojazdami może spowodować konsolidację warstw słabszych - zmniejszenie objętości gruntu, osiadanie połączone z rozproszeniem nadwyżki ciśnienia wody w porach. W efekcie tego następują zmiany parametrów geotechnicznych (m.in. ścisłości i wytrzymałości).

Wzmocnienie istniejącego podłoża:

Zaleca się wzmocnienie podłoża nienośnego. Dobór parametrów technicznych i grubości wzmocnienia powinien zagwarantować nośność oraz redukcję przemieszczeń (osiadań) podłoża i konstrukcji.

Grunty organiczne (torfy) zaleca się usunąć z podłoża i wymienić na jednorodny nasyp budowlany o przykładowych parametrach:

- z materiału niewysadzinowego, dobrze uziarnionego ($C_u > 6$), dobrze lub bardzo dobrze przepuszczalnego,
- zagęszczony mechanicznie do wartości wskaźnika zagęszczenia $I_s = 1,00$ na głębokości 0,0-0,5 m pod spodem konstrukcji nawierzchni oraz $I_s > 0,97$ na głębokości $> 0,5$ m od spodu konstrukcji,
- o $CBR \geq 25\%$,
- o wartościach modułu wtórnego $E_2 > 50 \text{ MPa}$ i wskaźnika odkształcenia dla gruntów piaszczystych $I_0 < 2,2$ $I_s \geq 1,0$, oraz $I_0 \leq 2,5$ i $I_s < 1,0$.
- warstwę odsączającą nasypu o miąższości minimum 0,5 m należy wykonać z gruntów niewysadzinowych dobrze i bardzo dobrze przepuszczalnych.

Przykładowymi rozwiązaniami w ramach indywidualnego projektowania mogą być: warstwa kruszywa stabilizowana spoiwem, wymiana gruntu lub geosyntetyk.

Istniejący nasyp niekontrolowany (warstwa nr I) jest niejednorodny litologicznie i pod względem stanu, zatem nie spełnia wymagań budowlanych na podstawie wyników badań. Dominującymi gruntami są grunty niespoiste (piaski średnie i drobne) nisko-organiczne oraz domieszki gruntów organicznych i składników obcych.

Należy zatem spodziewać się znacznego zróżnicowania parametrów wysadzinowości, uziarnienia, zagęszczalności, nośności i odkształcalności.

Decyzja o pozostawieniu (bez wymiany) gruntu organicznego zalegającego pod nasypami, wymagałoby najpierw bezpośredniego zbadania parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych tej warstwy.

W przypadku spełnienia warunków nośności i użyteczności dla zakładanej kategorii ruchu drogowego, możliwe byłoby wykonanie w obrębie nasypu niekontrolowanego warstwy ulepszanego podłoża - stabilizacji spoiwem. Dobór parametrów spoiwa oraz zaprojektowanie proporcji gruntu i spoiwa oraz grubości tej warstwy - na podstawie odrębnego opracowania - receptury laboratoryjnej i projektu wykonawczego.

Ostateczne rozwiązania projektowo-wykonawcze muszą uwzględniać wyniki stosownych badań polowych, badań laboratoryjnych przydatności, receptur laboratoryjnych oraz badań efektów wzmocnienia (powykonawczych testów geotechnicznych).

Rozwiązania projektowe powinny zapobiec potencjalnym zmianom właściwości podłoża w następującym zakresie:

- należy przeciwdziałać niekorzystnym zmianom wilgotności i innych parametrów fizyczno-mechanicznych:
 - wszelkie **robocze odwodnienia wykopów** powodują wahania zwierciadła wód gruntowych; prace te należy więc prowadzić **bezpiecznie dla stateczności obiektów sąsiednich** (ewentualny lej depresji może wywołać zmiany ciężaru objętościowego gruntów w strefie aeracji, co wiąże się z ryzykiem osiadań dodatkowych pod istniejącymi budynkami) - odwodnienie powinno być przygotowane i kontrolowane na bieżąco przez uprawnioną jednostkę, ewentualne odwodnienia robocze wykopów nie mogą uruchomić proces migracji drobnych frakcji w efekcie przepływów wód w podłożu oraz do powstania deformacji filtracyjnych.
- należy zabezpieczyć podłoże przed procesami **powstawania wysadzin** – odkształcenia konstrukcji drogi na skutek działania wody i mrozu w obrębie gruntów bardzo wysadzinowych,
- należy stosować metody robót ziemnych, które nie spowodują **rozgęszczenia w dnie wykopu materiałów (gruntów) równomiernie uziarnionych** (o wskaźniku jednorodności $C_u < 6$ zgodnie z PN-EN ISO 14688-2: 2006/Ap: 2012 tab. 2).

2) Określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych

Dla potrzeb branży drogowej i sanitarnej istotne są **bezpośrednie wyniki pomiarów** parametrów geotechnicznych:

- **nośności** konstrukcji nawierzchni, podłoża rodzimego, nasypowego i ulepszanego,
- **wytrzymałości** na 1-osiove ściskanie, wytrzymałości na ścinanie,
- **odkształcalności** konstrukcji nawierzchni, podłoża rodzimego i ulepszanego,
- **właściwości materiałów** (m.in. uziarnienie, zagęszczalność, wilgotność optymalna, przepuszczalność, ścieralność, mrozoodporność, itp.).

Dotyczy to również badań koniecznych na etapie wykonawczym. Wskazane jest uzyskanie wartości obliczeniowych: CBR, E2, I0, E_{vd}, I_s, w_{opt}, p_d, p, H_{kb}, WP(SE), k, w_n.

Dla parametrów geotechnicznych uzyskanych na obecnym etapie badań (roz. 3.1), obliczeniowe wartości należy wyznaczać w oparciu o wartości charakterystyczne parametrów zredukowane o odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa (roz. 4).

3) Określenie częściowych współczynników bezpieczeństwa

Zgodnie z normą PN-EN 1997-1. Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne cz.1 – Załącznik A, Tablica A-2, przy ustaleniu parametrów obliczeniowych wskazane jest przyjęcie współczynnika materiałowego γ_M - wg zależności: $X_d = X_k / \gamma_M$:

			stany graniczne nośności – podejście 2			stateczność ogólna – podejście 3		
			A ₁	M ₁	R ₂	A ₂	M ₂	R ₃
do oddziaływań	stałe	niekorzystne	1,35			1,0		
		korzystne	1,0			1,0		
	zmienne	niekorzystne	1,5			1,3		
do właściwości gruntu	tan φ			1,0			1,25	
	efektywna spójność			1,0			1,25	
	wytrzymałość bez odplywu			1,0			1,4	
	wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie			1,0			1,4	
	ciężar objętościowy			1,0			1,0	
do oporu gruntu	fundamenty bezpośrednie	wyparcie			1,4			
		poślizg			1,1			
	pale	podstawa			1,1			
		pobocznicą			1,1			
		całkowity opór			1,1			
		wyciąganie			1,15			
	kotwy	tymczasowe			1,1			
		trwałe			1,1			
		wyparcie			1,4			
	ściany oporowe	opór ze względu na poślizg			1,1			
		odpór graniczny			1,4			
	skarpy	opór graniczny						1,0

Norma EC7 nie zawiera wartości γ_M dla modułu ściśliwości pierwotnej M_0 .

W przypadku projektowania wg wycofanej Polskiej Normy PN-81/B-03020, wartości charakterystyczne i obliczeniowe ustala się metodami statystycznymi, a w przypadku metody B korelacyjnej, wykorzystując bardziej niekorzystne wartości współczynnika $\gamma_m=0,9-1,1$.

Zgodnie z PN-EN 1997-1: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne, oraz w poprawce PN-EN 1997-1:2008/Ap2 do poszczególnych rodzajów obliczeń można przyjąć następujące zasady:

- do obliczenia stanów granicznych nośności z podejściem 2 wg Eurokodu: $A_1+M_1+R_2$

Wartości współczynników:

- A1 - $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$ dla oddziaływań i efektów oddziaływań,
- M1 - $\gamma = 1.0$, dla parametrów wytrzymałościowych gruntu (*wyłącznie w przypadku parametrów oznaczonych metodą „A”*; w analizowanym przypadku do wyznaczenia parametrów gruntu zastosowano metodę korelacyjną, w związku z tym należy indywidualnie przyjąć współczynniki korekcyjne parametrów wytrzymałości podłoża).
- R3 - $\gamma_{R,V} = 1.4$ dla nośności podłoża

Wartości współczynników można również odczytać z tabeli A.4 w PN-EN 1997-1:2008/Ap2.

4) Określenie oddziaływań od gruntu

W zależności od skali projektów branży drogowej i sanitarnej (oraz w zależności od zastosowanych materiałów i technologii na etapie wykonawczym), należy rozpatrywać określone oddziaływania geotechniczne. W pkt. 2.4.2 normy Eurokod 7 cz.1 (PN-EN 1997-1:2009) podano następujące oddziaływania:

- obciążenie pojazdami,
- przemieszczenia związane z obciążeniami dynamicznymi,
- skutki działania temperatury (w tym przemarzanie) - dotyczy wszystkich stwierdzonych warstw drobnoziarnistych (spoiстых),
- ciężar gruntów i wody,
- naprężenia w podłożu,

- usunięcie obciążenia (odciążenie) / wykonanie wykopów i ewentualnie dna korytowania pod konstrukcję drogową,
- parametry ilów- pęcznienie i skurcz (grunty potencjalnie ekspansywne)

a także dodatkowo:

- parcie gruntu i wody gruntowej,
- ciśnienia wody gruntowej i powierzchniowej,
- ciśnienie spływowe,
- przemieszczenia od pełzania, osuwania, osiadania gruntu (ocena stateczności),
- przemieszczenia związane z degradacją, zmianami w składzie mineralnym, samozagęszczaniem, rozpuszczaniem gruntu.

Współczynniki częściowe do oddziaływań (F)	Wsp.	Kombinacja 1 [-]		Kombinacja 2 [-]	
		Niekorzystne	Korzystne	Niekorzystne	Korzystne
Oddziaływania stałe	γ_G	1,35	1,00	1,00	1,00
Oddziaływania zmienne	γ_Q	1,50	0,00	1,30	0,00
Oddziaływanie wody	γ_w	1,30		1,00	

W metodzie stanów granicznych wyznacza się:

- oddziaływania stałe (G);
- oddziaływania zmienne (Q);
- oddziaływanie wody (W).

Wartość obliczeniową oddziaływania F_d wyrazić można w ogólnej postaci:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k$$

gdzie:

F_k - wartość charakterystyczna oddziaływania;

γ_f - częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla oddziaływania (por. tabela powyżej).

Według A.Szydło, E. Stilger-Szydło (2010), analiza stateczności skarp i nasypów zgodnie Eurokodem 7 wymaga wskazania, że obliczeniowe skutki oddziaływań E_d są nie większe, niż odpowiadający im obliczeniowy opór R_d

$$R_d \geq E_d \text{ lub } R_d/E_d \geq 1$$

5) Przyjęcie modelu obliczeniowego podłoża - przekrój geotechniczny

5.1. Model geologiczny

Na podstawie badań opracowano geologiczny podłoża gruntowego (przekrój geologiczno-inżynierski podłużny – zał. 2 *Dokumentacji badań podłoża gruntowego GEO-PROSPEKT*, 2021) uzupełniony o opisy techniczne w zał. 3, 4.1-4.6,

- I – nasyp niekontrolowany (przeważnie piaszczysto-humusowy);
- II – torfy, zastoiskowe / jeziorne (O_H/O_L), (mocno rozłożone);
- III – piaski średnie, rzeczne; $I_D=0,45$; R_T ; niewysadzinowe, lokalnie wątpliwe;

5.3. Model obliczeniowy

Podstawą projektowania jest model geotechniczny (obliczeniowy) ustalony na zasadach określonych w PN-EN 1997 Eurokod 7 (roz. 3.1.3). Przyjmując wartość charakterystyczną należy uwzględnić porównawcze doświadczenia na badanym terenie, w tym dane dotyczące zrealizowanych sąsiednich obiektów (Wiłun 1976, 2013; Wysokiński, Kotlicki, Godlewski, 2011).

6) Nośność i osiadanie podłoża gruntowego oraz ogólna stateczność

W przypadku zbyt małej nośności podłoża gruntowego nawierzchni w stosunku do wymagań wynikających z obciążenia ruchem samochodowym konieczne jest zaprojektowanie warstwy ulepszanego podłoża i/lub dolnych warstw konstrukcji nawierzchni. Poniżej zestawiono wymagane przez Projektanta parametry nośności, odkształcalności i zagęszczenia podłoża gruntowego oraz konstrukcji nawierzchni jezdni:

Element		Wymagania
Podbudowa		$E_2 > 140 \text{ MPa}$, $I_0 < 2,2$
Warstwa wzmocnionego podłoża, spód konstrukcji - warstwa wzmacniająca		$E_2 > 100 \text{ MPa}$, $I_0 < 2,2$ CBGM 0/22, 4 klasa C 3/4 (kruszywo stabilizowane cementem o $R_m = 2,5 \text{ MPa}$)
Dno wykopu	Warstwa wymienionego podłoża	$E_2 > 50 \text{ MPa}$, $I_0 < 2,2$
	Grunt rodzimy	$E_2 > 25 \text{ MPa}$, $I_0 < 2,2$
Zasyпка kanalizacji deszczowej		do gł. 50 cm pod konstrukcją jezdni $I_s = 1,0$
		poniżej 50 cm pod konstrukcją jezdni $I_s = 0,97$

W rozdziale 6 wskazano metodykę badań geotechnicznych zapewniających sprawdzenie uzyskania ww. parametrów

Nr punktu	Rzędna dna wykopu [m n.p.m.]	Nazwa i stan Gruntu 0-1m pod spodem proj. konstr. naw.	Wysadzinowość Uwagi	Warunki wodne	Grupa nośności
OW-1	84,4	nN (Ps+Pg+H+grz), T, Ps(+H)	Bardzo wysadzinowe Organiczne Podłoże zmienne	•stan na 04.2021 – przeciętne Po uwzględnieniu amplitudy wahań należy przyjąć złe	Podłoże wymaga indywidualnego projektowania
OW-2	85,25	nN (Ps+H+Pg+T+grz), nN(Pg+grz+H), T, Ps	Bardzo wysadzinowe Organiczne Podłoże zmienne	•stan na 04.2021 – przeciętne Po uwzględnieniu amplitudy wahań należy przyjąć złe	

Dla modelu podłoża gruntowego podanego w rozdziale 3.1 podjęto próbę wyznaczenia grup nośności (G1-G4) wg. uproszczonego schematu *Katalogu...* (GDDKiA, 2016).

W projektowaniu nawierzchni drogowych do scharakteryzowania nośności podłoża gruntowego zgodnie z rozporządzeniem MTiGM, (2016), należy wykorzystać wskaźniki i stałe materiałowe: kalifornijski wskaźnik nośności CBR (wymagana wartość $\geq 25\%$) oraz wtórny moduł odkształcenia E_2 . Oprócz tego stosuje się moduł sprężystości MR (resilient modulus) oraz współczynnik reakcji podłoża k, w zestawieniu z danymi geologicznymi z powyższej tabeli.

Opór jednostkowy podłoża i ew. obliczenie warunków stanów granicznych dla fundamentów, studni kanalizacyjnych i ew. obiektów inżynierskich należy wyznaczać wg. zasad Eurokodu 7 cz.1 (PN-EN 1997-1:2009).

7) Ustalenie danych niezbędnych do zaprojektowania fundamentów

Jedynymi fundamentami w Projekcie budowlanym będą:

- ławy z betonu C12/15 gr. min. 10 cm, na których posadowione będą studnie betonowe o średnicy Φ do 2m (por. projekt branży sanitarnej); należy rozpatrywać obciążenia statyczne związane z ciężarem własnym studni betonowych oraz obciążenia dynamiczne działające na te konstrukcje na podłożu gruntowe,
- fundamenty słupów oświetleniowych w ramach budowy nowego oświetlenia drogi (por. projekt branży elektrycznej).

Dane niezbędne do zaprojektowania ww. fundamentów i studni stanowią:

- prognoza zmian właściwości podłoża gruntowego w czasie - dane zawarte w roz. 1);
- określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych - dane zawarte w roz. 2);
- określenie częściowych współczynników bezpieczeństwa do obliczeń geotechnicznych - dane zawarte w roz. 3);
- określenie oddziaływań od gruntu - dane zawarte w roz. 4);
- przyjęcie modelu obliczeniowego podłoża gruntowego - przekroju geotechnicznego - dane zawarte w roz. 5);
- nośność i osiadania podłoża gruntowego oraz ogólna stateczność - dane zaw. w roz. 6).

8) Ogólna specyfikacja badań niezbędnych do zapewnienia wymaganej jakości robót ziemnych i specjalistycznych robót geotechnicznych

Na etapie wykonawczym Inwestycji, wszelkie odbiory robót ziemnych należy potwierdzić badaniami polowymi i laboratoryjnymi, które wykonuje uprawniony geolog inżynierski - geotechnik.

Roboty należy wykonywać zgodnie z normami podanymi w kompletnej dokumentacji projektowej. Szczegółowe warunki wykonania robót zawierać będzie Projekt budowlany oraz specyfikacja techniczna. Niniejszy rozdział podaje wyłącznie wstępnie proponowane metodyki możliwe do wykorzystania w trakcie opracowania specyfikacji technicznej badań kontrolnych i odbiorowych.

➤ 1 - Zestawienie badań w celu przygotowania, weryfikacja parametrów podłoża gruntowego, nasypów oraz odbioru geotechnicznego robót ziemnych itp.:

- badanie dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} i zagęszczenia lekką płytą dynamiczną, zgodnie z wytycznymi branży drogowej (badaniu podlega każda zagęszczana warstwa nasypu, zasypki (20cm) oraz podsypki rur kanalizacyjnych);
- przydatność gruntów rodzimych z wykopu oraz kruszyw naturalnych z dowozu do wykonania zagęszczeń mechanicznych (określenie pełnej krzywej uziarnienia wraz z podaniem wskaźnika różnoziarnistości C_u , wskaźnika krzywizny uziarnienia C_c , współczynnika filtracji k ; oznaczenie wskaźnika piaskowego $WP(SE)$, kapilarności biernej H_{KB} , zawartości części organicznych oraz domieszek, oznaczenie wilgotności optymalnej w_{opt} i maksymalnej gęstości objętościowej ρ_{dmax} gruntów w aparacie Proctora (metoda normalna lub zmodyfikowana w zależności od ustaleń specyfikacji).

Do wykonania podsypek, obsypek i zasypek należy użyć gruntów niespoistych, niewysadzinowych, dobrze zagęszczalnych – zgodnych ze specyfikacją techniczną. Grunt nie może zawierać części organicznych, gruzu, frakcji kamienistej, śmieci itp. Nie zaleca się stosować udokumentowanych w podłożu gruntów rodzimych i nasypowych - bez ich ulepszenia. Grunty z dowozu wymagają dodatkowej oceny laboratoryjnej przydatności. W strefie planowanego wykopu grunty będą wymagać dodatkowej oceny laboratoryjnej obsługi geotechnicznej budowy.

Skład ziarnowy mieszanki gruntowej i stąd wynikający wskaźnik różnoziarnistości C_u ma zasadniczy wpływ na zagęszczanie gruntów. Wraz ze wzrostem C_u maleje jednocześnie porowatość gruntu (n_{min}) i grunty zagęszczają się lepiej. Za graniczną wartość liczbową, przy której grunt nadaje się do bezpośredniego wbudowania, należy przyjąć dla wskaźnika różnoziarnistości $C_u \geq 6$ oraz wskaźnika krzywizny uziarnienia $C_c > 1,0$ (przeważnie $C_c \geq 1,0$). Wraz ze wzrostem tych parametrów wzrasta przydatność materiału do użycia w budowlach ziemnych. Współczynnik filtracji materiału gruntowego w nasypie nie powinien być mniejszy od $k = 10^{-5}$ m/s.

Można dopuścić zastosowanie gruntów o mniejszym współczynniku filtracji, wymaga to jednak odpowiedniego formowania warstwy gruntu i stosowania dodatkowych warstw, o dostatecznej przepuszczalności, umożliwiającej odprowadzenie wody z nasypu.

Zgodnie z normą do wykonania nasypów nie należy stosować: gruntów zamarzniętych, pęczniejących i rozpuszczalnych w wodzie, iłów i glin zwięzłych o granicy płynności w_L powyżej 65%, gruntów z domieszkami rozpuszczalnymi w wodzie, gruntów zanieczyszczonych (zawierających dodatki gruzu, części roślinnych, drzew, śniegu, lodu, torfu).

Nie należy wykonywać robót ziemnych przy budowie nasypów w warunkach zimowych, a przede wszystkim wbudowywać gruntu zamarzniętego, zbrylonego.

- Zagęszczanie powinno odbywać się w warunkach wilgotności zbliżonej do optymalnej w gruntach niespoistych w granicach $\pm 2\%$ a w gruntach mało i średnio spoistych $+0\% - 2\%$. Wymagane wartości wskaźnika I_s należy dostosować do strefy wykonania robót ziemnych - zgodnie z wymaganiami branży drogowej i sanitarnej. W przypadku użycia sprzętu wibracyjnego zalecana jest wilgotność mniejsza od optymalnej, ustalona na podstawie wstępnych prób na poletku doświadczalnym.
- ustalenie receptur stabilizacji podłoża cementem $R_m = 2,5$ MPa
- bieżące badania uzyskanej gęstości objętościowej w znormalizowanym cylindrze, wilgotności w warunkach zagęszczania oraz obliczenie wartości I_s , w dowiązaniu do maksymalnej gęstości objętościowej materiału. Dla gruntów ulepszanych spoiwami wymagane jest uzyskanie wskaźnika zagęszczenia $I_s = 1,0$ w warstwie ulepszanego podłoża nawierzchni oraz $I_s = 0,97$ w strefie obliczeniowej głębokości przemarzania.
- badania CBR w zakresie gruntów nasypowych (opis poniżej),
- badania zagęszczenia sondą dynamiczną DPL lub badania wytrzymałości na ścinanie sondą ścinającą FVT / udarowo-obrotową SLVT (w dnie wykopów lub z powierzchni terenu jako dodatkowe punkty badawcze przed wykonaniem wykopów), sprawdzenie stanu gruntów przy pomocy sondy cylindrycznej SPT (Standard Penetration Test); - w przypadku badań DPL - stosuje się ją również w celach porównawczych badania wskaźnika zagęszczenia I_s nasypów (opis poniżej), zwłaszcza w przypadku dużej miąższości;
- wiercenia małośrednicowe (przygotowanie i weryfikacja podłoża - zastosowanie j.w.),
- na zagęszczonej mechanicznie warstwie nasypu i zastabilizowanym cementem podłożu ulepszonym (wzmocnionym) należy wykonać obciążenia statyczne podłoża i warstw konstrukcyjnych płytą VSS (uzyskane parametry: moduły odkształcenia E_1 i E_2 oraz wskaźnik odkształcenia E_0); porównawczo badania E_{vd} płytą dynamiczną (ustalić korelacje).

➤ 2 - Zestawienie badania odbiorowych dla warstw konstrukcyjnych:

Na wykonanych warstwach konstrukcyjnych nawierzchni należy wykonać obciążenia statyczne podłoża i warstw konstrukcyjnych płytą VSS (uzyskane parametry: moduły odkształcenia E_1 i E_2 oraz wskaźnik E_0); porównawczo badania E_{vd} płytą dynamiczną (ustalić korelacje).

Badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR)

Zgodnie z „PN-EN 1997-2:2007 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne cz. 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego” wartość CBR można stosować jako podstawowy parametr do projektowania sprężystych nawierzchni. Można go stosować do oceny potencjalnej wytrzymałości materiałów podłoża warstwy nośnej, podbudowy (włączając materiały z recyklingu) dla konstrukcji nośnych dróg, kolei i nawierzchni lotnisk.

Zgodnie z Załącznikiem informacyjnym R określono wymagania typowe dla badania kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR):

- mogą być przeprowadzone badania polowe, ale ostateczną procedurą jest badane laboratoryjne;
- badania mogą być przeprowadzone zarówno na nienaruszonym, jak i powtórnie zagęszczonym materiale;
- wilgotność gruntu powinna być tak dobrana, aby odpowiadała warunkom projektowym, dla których wymagane są wyniki badań;
- badanie CBR należy wykonywać na materiale przechodzącym przez sito badawcze o oczkach 20 mm. Jeśli grunt zawiera cząstki pozostające na sicie 20 mm, to powinny być one usunięte i zważone przed przygotowaniem próbki badawczej. Jeśli frakcja pozostająca na sicie 20 mm jest większa niż 25% masy przechodzącej przez sito o oczkach 20 mm, to zastosowanie CBR nie jest możliwe;
- Gdy ma być badany zakres wilgotności, woda powinna być dodawana lub usuwana z naturalnego gruntu po rozdzieleniu ziarna (agregatów). Próba nie powinna mieć możliwości wysychania.

Badanie statyczną płytą VSS

Badanie płytą VSS polega na pomiarze odkształceń pionowych (osiadań) na wyznaczonej powierzchni warstwy konstrukcyjnej / podbudowy lub podłoża gruntowego pod wpływem nacisku statycznego wywieranego za pomocą aparatu VSS - od przeciwwagi poprzez stalową okrągłą płytę o średnicy 300 mm.

W wyniku przeprowadzonego badania uzyskiwana jest wartość modułu odkształcenia pierwotnego E_1 [MPa], modułu odkształcenia wtórnego E_2 [MPa] oraz wskaźnika odkształcenia I_0 (stosunku E_2 do E_1). Badanie wykonuje się w oparciu o normy PN-S-02205:1998, BN-648931-02, DIN 18134.

W zależności od przeznaczenia i rodzaju badanej warstwy, przy pomiarze pierwotnego modułu odkształcenia E_1 przyrost obciążeń następuje co 50 kPa, aż do osiągnięcia wartości 350 kPa. Po tym następuje odciążenie (podłoże doznaje odprężenia). Następnie ponowne zadawane jest obciążenie co 50 kPa w celu uzyskania wtórnego modułu odkształcenia E_2 .

Badanie lekką płytą dynamiczną

Badanie płytą dynamiczną polega na pomiarze odkształceń pionowych (osiadań wyrażonych w mm) - na wyznaczonej powierzchni warstwy podłoża gruntowego (lub w innych wypadkach konstrukcyjnej / podbudowy) - pod wpływem uderzenia obciążnika (o masie 10 kg)

opadającego na płytę obciążeniową. Aparat poprzez wbudowany procesor przelicza przemieszczenia podłoża na dynamiczny moduł odkształcenia E_{vd} [MN/m²].

Ocenę nośności można przeprowadzać dla gruntów o wielkości ziaren do 63mm i dynamicznym module odkształcenia do E_{vd} 125 MN/m².

W wyniku przeprowadzonego badania uzyskiwana jest wartość dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} , oraz korelacyjnie można wyznaczyć wskaźnik zagęszczenia I_s . Wartość wskaźnika zagęszczenia obliczono zgodnie z empirycznym wzorem wyznaczonym przez S. Pisarczyka (2009), $I_s = 0,0037 \cdot E_{vd} + 0,8703$.

Badanie należy wykonywać w oparciu o normy BN-648931-02, PN-S-02205, PN-EN 1997-2:2007

Badanie sondą dynamiczną DPL

Sonda Dynamiczna Lekka przeznaczona jest do wyznaczania zagęszczenia gruntu oraz ocenę wytrzymałości i odkształcalności gruntów niespoistych.

Sondowanie dynamiczne polega na badaniu oporu, jaki stawia grunt przy dynamicznym zagłębianiu końcówki stożkowej wbijanej przy użyciu młota o wadze 10 kg.

Obliczone wartości I_D muszą uwzględnić sposób i warunki wykonania badań zgodnie z zaleceniami podanymi w normach PN-EN ISO 22476-2:2005/A1; 2012E, PN-B-04452:2002.

Grunty niespoiste w stanie średnio zagęszczonym wymagają dogęszczenia, ewentualnie doziarnienia i wykonania podsypki pod przewodami PVC oraz elementami uzbrojenia sieci.

Szczegółowe warunki dla wykonania robót ziemnych oraz robót budowlanych określi dokumentacja projektowa.

Wykopy pod głębsze sieci infrastrukturalne (kolektor deszczowy, studnie kanalizacyjne, itp.) mogą wymagać tymczasowych odwodnień budowlanych. Prace te należy prowadzić w sposób bezpieczny dla stateczności sąsiedniej zabudowy oraz środowiska.

Korytowanie pod konstrukcję nawierzchni drogowej w strefie ewentualnych gruntów słabo przepuszczalnych należy zabezpieczyć przed wodami opadowymi i roztopowymi.

Grunty w wykopach należy chronić przed zmianą wilgotności naturalnej i utratą pierwotnych właściwości mechanicznych.

9) Określenie szkodliwości oddziaływań wód gruntowych na obiekt budowlany i sposobów przeciwdziałania tym zagrożeniom

Warunki wodne w otworach OW-1-OW-2 ze względu na nawiercone zwierciadło swobodne na głębokości 1,6-2,1 m p.p.t. zakwalifikowano jako jako przeciętne wg. stanu z kwietnia 2021 r. Zgodnie z *Katalogiem ... (2016)* po uwzględnieniu opisanych niżej amplitud wahań we wszystkich otworach należy przyjąć do projektowania pogorszone warunki wodne.

Obecnie stwierdzony poziom wody jest stanem niskim z tendencją wzrostową ZWG w kierunku stanu średniego w skali wahań sezonowych i wieloletnich. Do projektowania konstrukcji nawierzchni zaleca się przyjąć najwyższe notowane stany na terenie Inwestycji tj. złe warunki wodne - po uwzględnieniu wystąpienia okresowej wody zawieszanej na stropie utworów nieprzepuszczalnych oraz szacunkowej amplitudy wahań ok. +/- 1 m. Należy uwzględnić projektowany sposób odwodnienia nawierzchni oraz zakres utwardzeń poboczy

Zastosowane materiały powinny być odporne na działanie niekorzystnego środowiska wodno-gruntowego. W przypadku konstrukcji wykonanych z betonu należy przewidzieć stosowne izolacje. Ocenę agresywności korozyjnej w stosunku do płytkich konstrukcji betonowych / żelbetowych przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 206+A1:2016-12.

W przypadku zaistnienia konieczności tymczasowego obniżenia zwierciadła wód gruntowych prace odwodnieniowe należy prowadzić w sposób bezpieczny dla stateczności sąsiedniej zabudowy oraz środowiska przyrodniczego – na podstawie metodyki i harmonogramu określonego przez uprawnioną jednostkę.

W ewentualnych projektach wykonawczych odwodnienia wykopu należy obliczyć parametry techniczne warstwy wodonośnej, parametry techniczne zastosowanej metody odwodnienia, podać wymaganą depresję z podziałem na odcinki liniowe, obliczyć zasięg i parametry leja depresji, określić zasięg oddziaływania odwodnienia, określić ryzyka, podać wykaz materiałów, opracować harmonogram odwodnienia z podziałem na odcinki liniowe, określić zakres monitoringu, z uwzględnieniem istniejącej sąsiedniej zabudowy oraz szaty roślinnej w zasięgu wpływu odwodnienia (monitoring odwodnienia w piezometrach, monitoring obiektowy i środowiskowy). Odwodnienie budowlane zaleca się poprzedzić badaniami uszczegóławiającymi zmienność wodoprzepuszczalności gruntów, za pomocą badań polowych i laboratoryjnych. W projekcie należy przyjąć warunki wodne dla najwyższych notowanych stanów wód na terenie Inwestycji.

10) Określenie zakresu proponowanego monitoringu

W przypadku odwodnień budowlanych zakres monitoringu należy podać w oddzielnym opracowaniu (monitoring odwodnienia w piezometrach, monitoring obiektowy i środowiskowy).

Rozszerzony zakres monitoringu, będzie zależny od zakresu zaprojektowanych robót budowlanych oraz od ustaleń inspektora, kierownictwa budowy i geotechnika.

Zaleca się ponadto bieżącą kontrolę w zakresie nachylenia skarp i prawidłowości zabezpieczenia ścian wykopów, identyfikacji potencjalnie niestatecznych ich fragmentów związanych z gruntami słabymi - analiza i odpowiednie przygotowanie i zabezpieczenie robót, kontrola temperatury otoczenia, wykonania prac zgodnie z wymogami norm ochrony środowiska.

IV. MATERIAŁY, NORMY ORAZ PODSTAWA PRAWNA

- PN-EN 1997-1: 2008/A1: 2014-05E - Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2: 2009/AC: 2010P - Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PN-EN ISO 14688-1: 2006/A1: 2014-02E - Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis.
- PN-EN ISO 14688-2: 2006/A1: 2014-02E - Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 2: Zasady klasyfikowania.
- PN-EN ISO 14689-1: 2006P – Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie skał – część 1: Oznaczanie i opis.
- PN-EN ISO 22475-1: 2006E – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych – Część 1: Techniczne zasady wykonania.

- PN-EN ISO 22476-2: 2005/A1: 2012E – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 2: Sondowanie dynamiczne.
- PN-EN ISO 22476-3: 2005/A1: 2012E – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 3: Sonda cylindryczna SPT.
- PN-EN ISO 22476-12: 2009 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 12: Badanie sondą stożkową (CPTM) o końcówce mechanicznej.
- PN-EN 206-1: 2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- PN-B-02479: Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne. Zastąpiona przez PN-EN 1997 – 1: 2009
- PN-B-02481: 1998 – Geotechnika – Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- PN-B-02480: 1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-03020: 1981 - Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. (z późn. zm.).
- PN-B-04452:2002 Grunty budowlane. Badania polowe.
- PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów.
- PN-B-06050: 1999/Ap 1: 2012 - Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne..
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. 2016 poz.124)
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Tekst jednolity, Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, 29.01.2016 r
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. 2012, poz. 463).
- Ustawy: Prawo budowlane (Dz. U. z 2019 r. poz. 1186, 1309, 1524, 1696, 1712, 1815, 2166, 2170), Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2019 r. poz. 1396, 1403, 1495, 1501, 1527, 1579, 1680, 1712, 1815, 2087, 2166), Prawo wodne (Dz. U. z 2018 r. poz. 2268, z 2019 r. poz. 125, 534, 1495, 2170).
- Wiłun Z., 2013. Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Wysokiński L., Kotlicki W. Godlewski T. Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Poradnik. ITB, Warszawa, 2011 r.
- Majer E., Sokołowska M., Frankowski Z., 2018 — Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego w świetle wymagań Eurokodu 7 (Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2018)
- Frankowski Z., Wysokiński L. (red.), 2000 — Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy. Centr. Arch. Geol. PIB-PIB, Warszawa.
- Myślińska E. Laboratoryjne badania gruntów i gleb. Wyd. UW. Warszawa, 2016.
- Hawrysz M., Stróżyk J., 2015 - Kontrowersyjna interpretacja wyników sondowań dynamicznych w praktyce inżynierskiej, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 3/2015.
- Batog A., Hawrysz M.– Projektowanie budowli ziemnych w skomplikowanych i złożonych warunkach geotechnicznych -„Geoinżynieria” lipiec-wrzesień 3 (44) 2013.
- Pazdro Z., 1977. Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol. Warszawa.
- Macioszczyk A. i in. Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wyd. PWN, Warszawa 2012
- Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych, Cz. 2 (GDDP, 1998)
- Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów. IBDiM, 2001.
- Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. GDDP, 2002.
- Kondracki J., 2002. Geografia fizyczna Polski, PWN Warszawa.
- Ocena stateczności skarp i zboczy. Instrukcja ITB nr 424/2006.
- Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50000, Państwowy Instytut Geologiczny

- Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych. Część A: Roboty ziemne i konstrukcje. Zeszyt 1: Roboty ziemne. Instrukcja ITB nr 427/2007.
- Jermołowicz P.,- Problematyka zagęszczania i stabilizacji gruntów w budownictwie. Technologie i ich skuteczność. Zasady projektowania i wykonawstwa, Szczecin, 2021 r.
- Aleonowicz J., Dołżycki B., Jaskuła P., Nośność podłoża gruntowego w projektowaniu konstrukcji nawierzchni, Grupy nośności podłoża, Magazyn Autostrady 11-12/2017 s.32-36, 2017r.