

**Analiza Geologiczno – Inżynierska na etapie PB – na podstawie „Wytycznych wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego”**

- 1) Rozpoznanie geologiczno – inżynierskie ma umożliwić Projektantowi określenie warunków gruntowo – wodnych podłoża konstrukcji nawierzchni z podaniem konkretnej grupy nośności podłoża zgodnie z KTKNPIP GDDKiA 2014r. na całym zakresie zadania, w stopniu umożliwiającym zaprojektowanie dolnych warstw konstrukcji nawierzchni lub ewentualnego wzmocnienia podłoża.
- 2) Należy wykonać odwierty do oceny stanu podłoża w zakresie niezbędnym do opracowania niniejszego projektu oraz w miejscach posadowienia obiektów inżynierskich wraz z ich analizą, wnioskami i zaleceniami.
- 3) Głębokość rozpoznania ma obejmować przyszłą strefę oddziaływania budowli na środowisko gruntowe. Zakres badań powinien umożliwić określenie i wydzielenie na ich podstawie warstw geotechnicznych z dokładnością odpowiadającą wymaganiom obliczeń nośności i stateczności budowli. Podłoże powinno być rozpoznane do głębokości strefy aktywnej oddziaływania budowli i zakończyć się w warstwie gruntów nośnych.
- 4) Projektując lokalizację wierceń i sondowań należy wziąć pod uwagę miejsca wyróżniające się w topografii terenu stwierdzone na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej lub analizy dostępnych materiałów kartograficznych (np. obniżenia terenu, bagna, torfowiska, podmokłości, formy krasowe itp.), nie omijając cieków wodnych, jezior i zbiorników wypełnionych na stałe lub okresowo wodą.
- 5) W celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich/geotechnicznych w podłożu budowlanym drogi (głównej, dojazdowych, serwisowych i innych) i obiektów inżynierskich, wiercenia i sondowania należy zaprojektować zgodnie z minimalnymi wymaganiami podanymi w tabelach j.n.

Tabela 3 Wymagany minimalny zakres rozpoznania podłoża budowlanego projektowanych dróg - PB)

Warunki gruntowe	Klasa drogi	Liczba jezdni	Minimalna liczba wierceń na 1 km drogi [szt.]	Minimalna liczba wierceń w przekroju poprzecznym do osi drogi [szt.]	Minimalna liczba sondowań na 1 km drogi [szt.]	Minimalna liczba sondowań w przekroju poprzecznym do osi drogi [szt.]
proste	A, S, GP, G	≥2	30 (rozstaw wierceń min. 50 m max. 150 m)	3	5	1 lokalizowane naprzemiennie
		1	15 (rozstaw wierceń min. 35 m max. 105 m)	1	5	1
	Z, L, D	1	5 (rozstaw wierceń min. 100 m max. 300 m)	1	3	1 w co drugim przekroju
złożone i skomplikowane	A, S, GP, G	≥2	60 (rozstaw wierceń min. 25 m max. 100 m)	3	20	1 lokalizowane naprzemiennie
		1	40 (rozstaw wierceń min. 25 m max. 100 m)	2	20	1 lokalizowane naprzemiennie
	Z, L, D	1	10 (rozstaw wierceń min. 50 m max. 150 m)	1	10	1

Tabela 4 Wymagany minimalny zakres rozpoznania podłoża budowlanego projektowanych drogowych obiektów inżynierskich (PB)

Rodzaj drogowego obiektu inżynierskiego	Liczba jezdni drogi	Warunki gruntowe			
		proste	złożone/skomplicowane (rozstaw między wierceniami)	proste	złożone/skomplicowane (rozstaw między sondowaniami)
		Minimalna liczba wierceń na oś podpory/podpór		Minimalna liczba sondowań na oś podpory/podpór	
obiekty mostowe jedno- i wieloprzęsłowe	1	1	2 (≤20 m)	1 (co 2 podpory)	1
	2	2	3 (≤20 m)	1	1

Tabela 5 Wymagany minimalny zakres rozpoznania podłoża budowlanego projektowanych przepustów) (PB)

Warunki gruntowe	Klasa drogi	Liczba jezdni	Minimalna liczba wierceń na przepust [szt.] (rozstaw między wierceniami)	Minimalna liczba sondowań na przepust [szt.]
proste	A, S, GP, G, Z, L, D	≥2	3	1
		1	2	1
złożone i skomplicowane	A, S, GP, G, Z, L, D	≥2	3 (≤20 m)	1
		1	2 (≤20 m)	1

- 6) Wymagane są sondowania (statyczne, dynamiczne lub inne) dobierane zgodnie z przeznaczeniem. Na tym etapie niedopuszczalne jest zastępowanie wierceń sondowaniami. Sondowania zaleca się wykonywać przy otworach wiertniczych w odległości około 25 średnic wiercenia (węzeł badawczy). Sondowanie można wykonać przed wierceniem. W przypadku braku technicznej możliwości wykonania wiercenia, można je zastąpić sondowaniem. Wymaga to jednak każdorazowo uzasadnienia i zgody inwestora (zamawiającego). W takiej sytuacji sondowanie lokalizujemy w miejscu wiercenia. W przypadku podłoża budowlanego zbudowanego ze skał sondowania nie są wymagane.
- 7) Wiercenia (mechaniczne i ręczne) w przekroju poprzecznym do osi drogi należy lokalizować w osi drogi oraz przy zewnętrznych krawędziach jezdni. W przypadku dróg jednojezdniowych wiercenia lokalizuje się przy zewnętrznych krawędziach jezdni. Dla dróg prowadzonych w wykopach głębszych niż 5,0 m należy wykonać dodatkowo 2 otwory wiertnicze lokalizując je na górnej krawędzi projektowanej skarpy po obu stronach trasy.
- 8) Jeśli minimalna liczba sondowań nie pozwoli na scharakteryzowanie wszystkich warstw litologicznych wydzielonych w podłożu budowlanym drogi i obiektu inżynierskiego należy liczbę sondowań odpowiednio zwiększyć tak, aby każda warstwa litologiczna została scharakteryzowana pod względem właściwości fizyczno-mechanicznych. Zakres dodatkowych sondowań należy uzgodnić z inwestorem przed ich wykonaniem.
- 9) Wiercenia i sondowania dla drogowych obiektów inżynierskich zastępują wiercenia pod drogę.
- 10) Przy projektowaniu badań podłoża budowlanego należy uwzględnić pobór prób:
  - gruntów i skał do badań laboratoryjnych w liczbie potrzebnej do opisu właściwości fizyczno-mechanicznych i wyznaczenia parametrów geotechnicznych dla każdej warstwy litologicznej – pobór prób gruntów i skał do badań laboratoryjnych projektuje się w pierwszej kolejności z wierceń przy których zostały wykonane sondowania, z każdej warstwy litologicznej, ale nie rzadziej niż co 3 m. Próbkę do badań laboratoryjnych z pobranych prób typuje się na podstawie zinterpretowanego przekroju geologiczno-inżynierskiego/geotechnicznego, który uwzględnia wyniki wykonanych wierceń i sondowań oraz miejsca poboru prób.
  - wód podziemnych z nawierconych poziomów wodonośnych, które mają wpływ na fundament lub sposób wzmocnienia podłoża budowlanego do badań agresywności. Wymaga się pobrania jednej

próbki wody podziemnej z każdego drogowego obiektu inżynierskiego i z każdej warstwy wodonośnej, która ma wpływ na fundament.

- dla wszystkich typów dróg głębokość rozpoznania wierceniami i sondowaniami w gruntach nie powinna być mniejsza niż 3 m poniżej podstawy nasypu lub dna wykopu lub podstawy warstw konstrukcyjnych przy uwzględnieniu dodatkowych wymagań np.: występowanie gruntów słabych. W miejscach projektowanych nasypów o wysokości większej niż 3 m, minimalna głębokość rozpoznania poniżej podstawy nasypu musi być równa, co najmniej wysokości nasypu oraz musi uwzględniać położenie gruntów słabych lub innych czynników mogących mieć wpływ na stateczność nasypu.

Dla wszystkich typów drogowych obiektów inżynierskich głębokość wierceń i sondowań w gruntach rodzimych mineralnych nie powinna być mniejsza niż:

- dla fundamentów bezpośrednich nie mniej niż 5 m poniżej przewidywanego spodu fundamentu,
- dla fundamentów pośrednich głębokość punktów dokumentacyjnych (wierceń i sondowań) nie powinna być mniejsza niż:
  - dla pali - nie mniej niż 5 m poniżej podstawy pala,
  - dla studni i kesonów - nie mniej niż 5 m poniżej poziomu zagłębienia,
  - dla wzmocnienia - nie mniej niż 5 m poniżej przewidywanego poziomu wzmocnienia.

11) Badania laboratoryjne powinny objąć swoim zakresem również właściwości fizykomechaniczne warstw określonych jako nienośne.

12) W przypadku wystąpienia na głębokości rozpoznania gruntów słabych, dla których zachodzi przypuszczenie, że nie można na nich posadowić obiektów budowlanych z uwagi na możliwość przekroczenia dopuszczalnych stanów granicznych użytkowalności, wiercenie lub sondowanie należy prowadzić do głębokości, co najmniej 2 m poniżej tych gruntów.

Umownie przyjmuje się, że do gruntów takich zalicza się:

- grunty organiczne (namuły, torfy, gytie, kreda jeziorna),
- grunty drobnoziarniste w stanie gorszym niż plastyczny,
- grunty bardzo i gruboziarniste w stanie luźnym,
- grunty antropogeniczne z wyjątkiem nasypów budowlanych o znanych parametrach zagęszczenia.

13) Występowanie wskazanych gruntów słabych należy okonturować zarówno w profilu pionowym, jak i rozprzestrzenieniu poziomym.

14) Dopuszcza się zmniejszenie głębokości punktów dokumentacyjnych o 30 % w przypadku stwierdzenia w podłożu budowlanym jednorodnych warstw litologicznych o znacznej miąższości (np. iły płoceńskie, iły krakowieckie, lita i jednorodna skała itp.).

15) Jeżeli w poziomie niwelety drogi lub planowanego posadowienia drogowych obiektów inżynierskich stwierdzono występowanie skał o wartościach wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie:

- $R_c=1-5 \text{ MPa}$ 11 czyli skały o bardzo niskiej wytrzymałości (PN-EN ISO 14689, PN-EN ISO 14688-2) - to głębokość rozpoznania pod poziomem niwelety może zostać zredukowana do 2 m;
- $R_c>5 \text{ MPa}$  (lite/niezwiertele) - czyli skały o niskiej wytrzymałości i wyższej (PN-EN ISO 14689)- to głębokość rozpoznania pod poziomem niwelety może zostać zredukowana do 0,0-0,5 m (pod warunkiem, że budowa geologiczna jest rozpoznana oraz znana jest wartość wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie z badań laboratoryjnych w innym przypadku patrz wytyczne dla  $R_c=1-5 \text{ MPa}$ ).

16) Minimalna liczba przekrojów geologiczno-inżynierskich/geotechnicznych podano w tabelach 6 i 7. Przekroje mają uwzględniać wyniki wierceń, sondowań i badań laboratoryjnych.

Tabela 6

Warunki gruntowe	Klasa drogi	Liczba jezdni	Minimalna liczba przekrojów równoległych do osi drogi głównej na 1 km drogi [szt.]	Minimalna liczba przekrojów prostopadłych do osi drogi głównej na 1 km [szt.]
proste	A, S, GP, G	$\geq 2$	2	10
		1	1	0
	Z, L, D	1	1	0
złożone i skomplikowane	A, S, GP, G	$\geq 2$	2	20
		1	1	20
	Z, L, D	1	1	0

Tabela 7

Warunki gruntowe	Klasa drogi	Liczba jezdni	Minimalna liczba przekrojów równoległych do osi przepustu [szt.]
proste, złożone i skomplikowane	A, S, GP, G, Z, L, D	≥1	1

17) W zależności od przyjętej kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego należy przedstawić dokumentację w formie:

- opinii geotechnicznej,
- dokumentacji badań podłoża gruntowego,
- projektu geotechnicznego,
- dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

18) Zakres wyszczególnionych dokumentacji „geotechnicznych warunków posadowienia” winien być zgodny z wymogami ww. Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych (Dz.U.2012.463), oraz z powołanymi w nim normami:

- PN-EN 1997-1: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne,
- PN-EN 1997-2: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

19) Do dokumentacji należy dołączyć:

- mapę dokumentacyjną z naniesionymi punktami badawczymi (skala 1:1000 lub 1:2000);
- karty dokumentacyjne otworów;
- przekroje geotechniczne (skala 1:100 lub 1:200);
- zbiorcze zestawienie wyników badań laboratoryjnych i wnioski

20) Dla każdej wytypowanej próby do badań laboratoryjnych wymaga się wykonania kompletu badań zgodnie z tabelami 8-11 (tabele z opracowania pt. „Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego”), w zależności od rodzaju obiektu, rodzaju gruntu, kategorii i klasy jakości próby. Badania laboratoryjne należy tak zaprojektować, aby wyznaczyć minimalny zakres parametrów i cech fizyczno-mechanicznych, które należy podać w dokumentach przedstawiających wyniki badań podłoża budowlanego.

Metodę badań laboratoryjnych należy dobierać w zależności od poziomu obciążeń przekazywanych z konstrukcji na podłoże budowlane oraz od rodzaju budowli (tymczasowa, stała, dynamiczna).

Tabela 8 Badania klasyfikacyjne gruntu na podstawie PN-EN 1997-2 dla drogi na etapie PB

Parametr/cecha	Grupy gruntów o podobnych właściwościach wg PN-EN ISO 14688-2								Etap STES-R, Etap II, KP
	Ilasty (Cl)		Pylasty (Si)		Piaszczysty żwirowy (Gr-Sa)		Organiczny (Or)		
	rodzaj próbki		rodzaj próbki		rodzaj próbki		rodzaj próbki		
	NN	N	NN	N	NN	N	NN	N	
Opis makroskopowy i klasyfikacja gruntu	X	X	X	X	X	X	X	X	W
Wilgotność	X	(X)	X	(X)	(X)	(X)	X	(X)	W
Gęstość objętościowa gruntu	X	-	X	-	(X)	-	X	-	W
Gęstość minimalna i maksymalna	-	-	(X)	(X)	X	X	-	-	NW
Granice Atterberga (konsystencji)	X	X	X	X	-	-	(X)	(X)	W
Zawartość części organicznych	-	-	-	-	-	-	X	X	W
Skład granulometryczny	X	X	X	X	X	X	X	X	W
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu	X	-	(X)	-	-	-	X	-	W
Wysadzinowość	X	X	X	X	X	X	-	-	Z
NN – nienaruszona; N – naruszona; W- wymagane; Z – zalecane; NW – niewymagane; X – zwykle oznaczane; (X) – możliwe do oznaczenia, niekoniecznie reprezentatywne; - - nie stosuje się									

Tabela 9 Badania w celu wyznaczenia parametrów do projektowania na podstawie PN-EN 1997-2 dla drogi na etapie PB



Parametr/cecha	Grupy gruntów o podobnych właściwościach wg PN-EN ISO 14688-2						Etap STEŚ-R, Etap II, KP
	Piaszczysty żwirowy (Gr-Sa)		Pylasty (Si)	Ilasty (Cl)		Organiczny (Or)	
	Żwir (xGr)	Piasek (xSa)	Pył (xSi)	H (xCl) (ns)	H (xCl) (pk)		
Gęstość objętościowa ( $\rho$ )	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	W
Współczynnik filtracji (k)	TXCH PSA PTF	TXCH PSA PTF	PTC TXCH (PTF)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	W
Moduł edometryczny ( $E_{oed}$ ) Wskaźnik ścisłości (Cc)	(OED) (TX)	(OED) (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	W
Współczynnik konsolidacji ( $c_v$ )	-	-	OED TX	OED TX	OED TX	OED TX	Z
Wskaźnik odprężenia ( $C_s$ )	(OED) (TX)	(OED) (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	Z
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu ( $\sigma_u$ )	-	-	TX DSS SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	W
Moduł Younga (E); Moduł ścinania (G)	(TX) (TX*) (TX BE) (RC)	(TX) (TX*) (TX BE) (RC)	(TX) (TX*) (TX BE) (RC)	TX TX* TX BE RC	TX TX* TX BE RC	TX TX* TX BE RC	Z

W- wymagane; Z – zalecane; (ns) – il normalnie skonsolidowany; (pk) – il przekonsolidowany; - - nie stosuje się; (...) – stosuje się częściowo lub z ograniczeniami; BDD - Wyznaczenie gęstości objętościowej gruntu; DSS - Badania prostego ścinania; OED - Badanie edometryczne lub konsolidometryczne – CRS; PTF - Badanie przepuszczalności przy zmiennym spadku hydraulicznym; PTC - Badania przepuszczalności przy stałym spadku hydraulicznym; PSA - Analiza składu granulometrycznego; SB - Badanie w skrzynkowym aparacie bezpośredniego ścinania; SIT - Wskaźnikowe badanie wytrzymałości; TX - Badanie trójosiowe; TX\* - Badanie trójosiowe z lokalnym (napróbkowym) pomiarem odkształcenia próbki gruntu; TX BE - Badanie trójosiowe z piezoelementami typu bender element; RC - Kolumna rezonansowa oraz zmodyfikowana kolumna BE, TS, F; TXCH - Badanie przepuszczalności w komorze trójosiowej; x- każda kombinacja składników; X – mineralna frakcja główna

Tabela 10 Badania klasyfikacyjne gruntu na podstawie PN-EN 1997-2 dla drogowych obiektów inżynierskich oraz wkopów i nasypów na etapie PB

Parametr/cecha	Grupy gruntów o podobnych właściwościach wg PN-EN ISO 14688-2								Etap STEŚ-R, Etap II, KP
	Ilasty (Cl)		Pylasty (Si)		Piaszczysty żwirowy (Gr-Sa)		Organiczny (Or)		
	rodzaj próbki		rodzaj próbki		rodzaj próbki		rodzaj próbki		
	NN	N	NN	N	NN	N	NN	N	
Opis i klasyfikacja gruntu	X	X	X	X	X	X	X	X	W
Wilgotność	X	(X)	X	(X)	(X)	(X)	X	(X)	W
Gęstość objętościowa gruntu	X	-	X	-	(X)	-	X	-	W
Gęstość minimalna i maksymalna	-	-	(X)	(X)	X	X	-	-	NW
Granice Atterberga (konsystencji)	X	X	X	X	-	-	(X)	(X)	W
Zawartość części organicznych	-	-	-	-	-	-	X	X	W
Skład granulometryczny	X	X	X	X	X	X	X	X	W
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu	X	-	(X)	-	-	-	X	-	W
Wysadzinowość	X	X	X	X	X	X	-	-	NW

NN – nienaruszona; N – naruszona; W- wymagane; NW – niewymagane; X – zwykle oznaczane; (X) – możliwe do oznaczenia; niekoniecznie reprezentatywne; - - nie stosuje się;

Tabela 11 Badania w celu wyznaczenia parametrów geotechnicznych na podstawie PN-EN 1997-2 dla obiektów na etapie PB

Parametr/cecha	Grupy gruntów o podobnych właściwościach wg PN-EN ISO 14688-2						Etap STEŚ-R, Etap II, KP
	Piaszczysty żwirowy (Gr-Sa)		Pylasty (Si)	Ilasty (Cl)		Organiczny (Or)	
	Żwir (xGr)	Piasek (xSa)	Pył (xSi)	Il (xCl) (ns)	Il (xCl) (pk)		
Gęstość objętościowa (ρ)	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	W
Współczynnik filtracji (k)	TXCH PSA PTF	TXCH PSA PTF	PTC TXCH (PTF)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	W
Moduł edometryczny (E <sub>om</sub> ); wskaznik ścisłości (C <sub>c</sub> )	(OED) (TX)	(OED) (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	W
Współczynnik konsolidacji (c <sub>v</sub> )	-	-	OED TX	OED TX	OED TX	OED TX	W
Wskaznik odprężenia (C <sub>s</sub> )	(OED) (TX)	(OED) (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	Z
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (σ <sub>a</sub> )	-	-	TX DSS SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	W
Efektywny kąt tarcia wewnętrznego (φ'); Spójność efektywna (c')	(TX) (SB)	(TX) (SB)	(TX) (SB)	TX SB	TX SB	TX SB	W
Moduł Younga (E); Moduł ścinania (G)	(TX) (TX*) (TX BE) (RC)	(TX) (TX*) (TX BE) (RC)	(TX) (TX*) (TX BE) (RC)	TX TX* TX BE RC	TX TX* TX BE RC	TX TX* TX BE RC	Z
Rezydualny efektywny kąt tarcia wewnętrznego (φ <sub>a</sub> '); Rezydualna spójność efektywna (c <sub>a</sub> ')	(RS) (SB)	(RS) (SB)	(RS) (SB)	(RS) SB	(RS) SB	(RS) SB	Z
Współczynnik K <sub>0</sub>	(TX*) (OED*)	(TX*) (OED*)	(TX*) (OED*)	TX* OED*	TX* OED*	TX* OED*	Z
Współczynnik OCR	-	-	OED	OED	OED	OED	Z

W- wymagane; Z – zalecane; (ns) – il normalnie skonsolidowany; (pk) – il przekonsolidowany; - - nie stosuje się; (...) – stosuje się częściowo lub z ograniczeniami; BDD - Wyznaczenie gęstości objętościowej gruntu; DSS - Badania prostego ścinania; OED - Badanie edometryczne lub konsolidometryczne – CRS; OED\* - Badanie edometryczne z pomiarem ciśnienia porowego oraz naprężeń bocznych; PTF - Badanie przepuszczalności przy zmiennym spadku hydraulicznym; PTC - Badania przepuszczalności przy stałym spadku hydraulicznym; RS - Ścinanie pierścieniowe (badanie w pierścieniowym aparacie bezpośredniego ścinania; SB - Badanie w skrzynkowym aparacie bezpośredniego ścinania; SIT - Wskaźnikowe badanie wytrzymałości; PSA - Analiza składu granulometrycznego; TX - Badanie trójosiowe; TX\* - Badanie trójosiowe z lokalnym (napróbkowym) pomiarem odkształcenia próbki gruntu; TX BE - Badanie trójosiowe z piezoelementami typu bender element; RC - Kolumna rezonansowa oraz zmodyfikowana kolumna BE, TS, F; TXCH - Badanie przepuszczalności w komorze trójosiowej; x- każda kombinacja składników; X – mineralna frakcja główna