



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



JAK DOBRZE ROZPOZNAĆ BUDOWĘ GEOLOGICZNĄ PRZY BUDOWIE TUNELU

dr inż. Agata Kowalewska

p.o. Kierownika Zakładu Geotechniki i Fundamentowania

13.05.2024 r. Bielsko-Biała „VI Międzynarodowe Forum Tunelowe” PKD

www.ibdim.edu.pl



Aktualnie tunele buduje się w różnych warunkach geologicznych, zarówno bardzo korzystnych jak i wyjątkowo niekorzystnych, co jest źródłem licznych zagrożeń.

Jedną z grup ryzyka przy realizacji budowy tunelu jest napotkanie niekorzystnych warunków geologicznych, np.

Napotkanie stref



Warstwy skalne silnie odkształcone



Warstwy pęczniejące



Masyw skalny o niskim wskaźniku RMR

Tabela 9.2

Wskaźnik jakości górotworu *RMR* wg Bieniawskiego

A. PARAMETRY KLASYFIKACJI I ICH NOTA PUNKTOWA								
Parametr		Zakres wartości						
1	Wytrzymałość mianowana materiału skalnego	Indeks wytrzymałości punktowej	> 10 MPa	4+10 MPa	2+4 MPa	1+2 MPa	Poniżej 1 MPa stosuje się tylko test jednoosiowej wytrzymałości	
	Jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie	> 250 MPa	100-250 MPa	50+100 MPa	25+50 MPa	5+25 MPa	1+5 MPa	< 1 MPa
Nota punktowa		15	12	7	4	2	1	0
2	Jakość rdzenia wiertniczego <i>RQD</i>	90%+100%	75%+90%	50%-75%	25%+50%	< 25%		
	Nota punktowa	20	17	13	8	3		
3	Odstęp spękań	> 2 m	0,6 m+2,0 m	0,2 m+0,6 m	0,06 m+0,2 m	< 0,06 m		
	Nota punktowa	20	15	10	8	5		
4	Charakter nieciągłości (patrz E)*	bardzo chropowate	chropowate, podzielnosc do 1 mm, lekko zwietrzale	chropowate, podzielnosc do 1 mm, mocno zwietrzale	ciagle, gladkie sciazliny szerzyna lub szczeliny do 5 mm lub podzielnosc 1+5 mm	szczeliny szerzokości powyzej 5 mm z wypechnione mielkim materialem lub szczeliny powyzej 5 mm o ciaglych powierzchniach		
		Nota punktowa	30	25	20	10	0	
5	Zawodnienie	Doplyw na 10 mb wyrobiska	brak	< 10 l/min	10+25 l/min	25+125 l/min	> 125 l/min	
		Współczynnik ciśnienia wody/naprężenie główne	0	< 0,1	0,1+0,2	0,2+0,5	> 0,5	
	Warunki ogólne	zupelnie sucho	wilgotno	mokro	wykroplenia	doplyw staly		
Nota punktowa		15	10	7	4	0		
B. POPRAWKA NA POŁOŻENIE PŁASZCZYZNY NIECIĄGŁOŚCI (patrz F)								
Orientacja rozciągłości i upadu		bardzo korzystna	korzystna	przeciętna	niekorzystna	bardzo niekorzystna		
Nota punktowa	Tunele i wyrobiska	0	-2	-5	-10	-12		
	Fundamenty	0	-2	-7	-15	-25		
	Skarpy	0	-5	-25	-50	-60		

WYMAGANIA FORMALNO-PRAWNE W ZAKRESIE DOKUMENTOWANIA BADAŃ PODŁOŻA BUDOWLANEGO NA POTRZEBY BUDOWNICTWA DROGOWEGO

U S T A W A

z dnia 9 czerwca 2011 r.

Prawo geologiczne i górnicze¹⁾

U S T A W A

z dnia 7 lipca 1994 r.

Prawo budowlane¹⁾

U S T A W A

z dnia 27 kwietnia 2001 r.

Prawo ochrony środowiska¹⁾

Warszawa, dnia 20 lipca 2022 r.

Poz. 1518

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY¹⁾

z dnia 24 czerwca 2022 r.

w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych^{2), 3)}

U S T A W A

z dnia 10 kwietnia 2003 r.

o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych

U S T A W A

z dnia 17 maja 1989 r.

Prawo geodezyjne i kartograficzne



POLSKA NORMA

ICS 91.060.01; 91.120.20

PN-EN 1997-2

kwiecień 2009

Wprowadza
EN 1997-2:2007, IDT

Zastępuje
PN-EN 1997-2:2007

Eurokod 7
Projektowanie geotechniczne
Część 2: Rozpoznanie i badanie
podłoża gruntowego

Norma Europejska EN 1997-2:2007 ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2009

nr ref. PN-EN 1997-2:2009

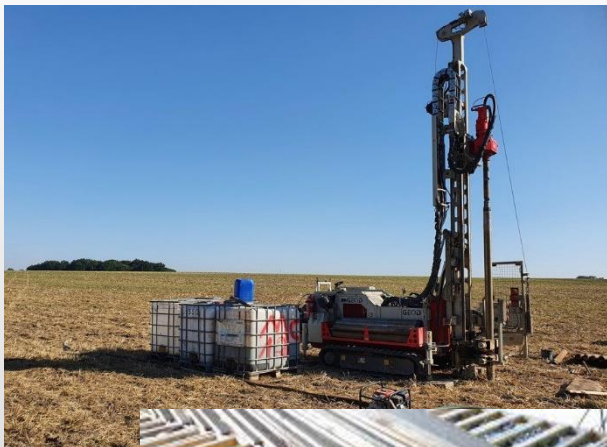
Hologram
PKN

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być wielokrotnie publikowana bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

ETAPY POSTĘPOWANIA W CELU UDOKUMENTOWANIA BADAŃ PODŁOŻA BUDOWLANEGO

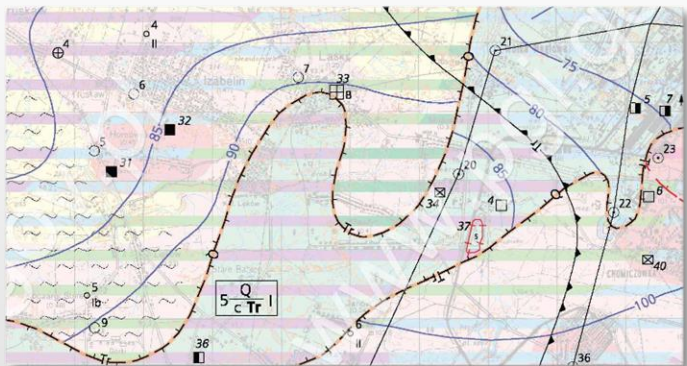
- **Analiza materiałów archiwalnych oraz wizja terenowa przedmiotowego obszaru.**
- **Wyznaczenie granic obszaru badań.**
- **Wykonanie prac kartograficznych.**
- **Zaprojektowanie podstawowych badań geofizycznych.**
- **Przeprowadzenie badań geofizycznych.**
- **Na podstawie ww. czynności opracować wstępny model geologiczny badanego obszaru.**
- **Zaprojektowanie wierceń geologiczno-inżynierskich.**
- **Określenie potencjalnych punktów poboru prób gruntów i skał do badań laboratoryjnych.**
- **Opracowanie dokumentu zawierającego zaprojektowane badania podłoża budowlanego.**

ETAPY POSTĘPOWANIA W CELU UDOKUMENTOWANIA BADAŃ PODŁOŻA BUDOWLANEGO



- Wykonanie wierceń oraz innych badań (sondowań) oraz uzupełniających badań geofizycznych.
- Pobranie prób gruntów i skał, a następnie wykonanie na nich badań laboratoryjnych.
- Opracowanie modelu geologicznego badanego obszaru.
- Sporządzenie dokumentu przedstawiającego uzyskane wyniki badań podłoża budowlanego.

I. Kartowanie hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie



Kartowanie hydrogeologiczne polega na zbieraniu, opisie i graficznym przedstawieniu obserwacji terenowych, które dotyczą wód podziemnych i powierzchniowych oraz ognisk zanieczyszczeń mogących mieć wpływ na jakość wód podziemnych.

Kartowanie hydrogeologiczne polega na zbieraniu, opisie i graficznym przedstawieniu obserwacji terenowych dotyczących głównie zagrożeń geologicznych, jak np. zjawiska i procesy geologiczne, geodynamiczne, antropogeniczne czy występowanie słabych gruntów.



II. Pomiary geodezyjno-kartograficzne i teledetekcyjne



Zgodnie z rozporządzeniem dotyczącym sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej każdy punkt dokumentacyjny powinien mieć określone współrzędne oraz rzędną wysokościową. Dane te przedstawiane są na kartach otworów, przekrojach, modelach geologicznych oraz mapach.



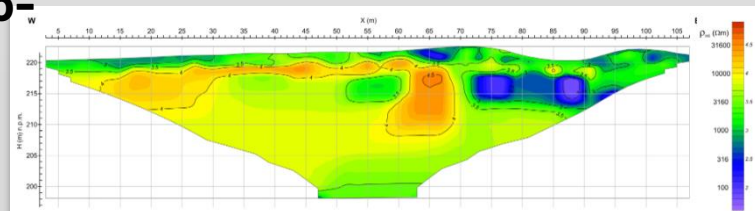
Metody teledetekcyjne pozwalają na uzyskanie ogólnych informacji z dużego terenu, które umożliwiają m.in. wskazanie obszarów do bardziej szczegółowego rozpoznania. Dzięki temu można skoncentrować badania terenowe w obszarach, na których występuje zagrożenie.

III. Badania geofizyczne

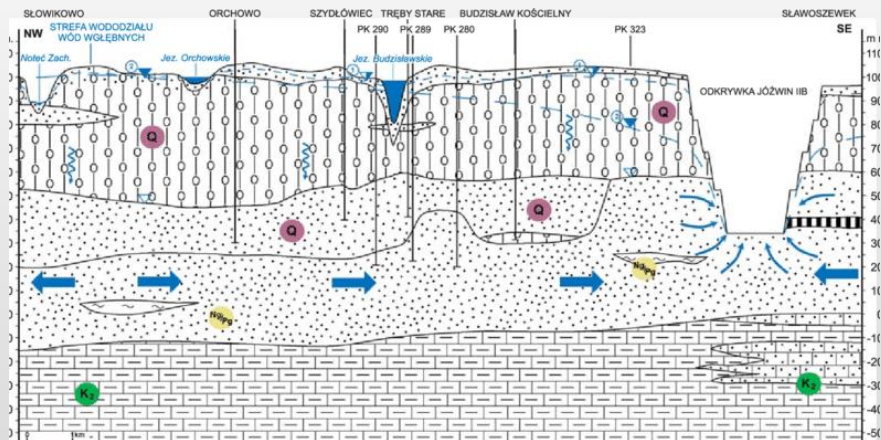
Badania geofizyczne wykonuje się w celu zwiększenia zasięgu rozpoznania podłoża budowlanego poza strefę badań inwazyjnych.

Dostarczają informacji o zmienności budowy i właściwościach podłoża budowlanego, co pozwala na optymalizację zakresu wierceń i sondowań.

Dobór metod geofizycznych uzależniony jest od celu badań, głębokości rozpoznania, warunków geologicznych, hydrogeologicznych, geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych.



V. Pomiary i badania hydrogeologiczne



Pomiary i badania hydrogeologiczne wykonywane są w celu:

określenia głębokości i charakteru występowania poziomów wodonośnych

poboru próbek do badań fizykochemicznych

określenia kierunków spływu wód podziemnych

określenia parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej

określenia wahań położenia zwierciadła wód podziemnych

VI. Badania laboratoryjne skał



VII. Badania składu chemicznego próbek skał i wody podziemnej

Wskaźniki fizyczne: przewodność elektryczna, pH, zapach, ChZT

Wskaźniki nieorganiczne: chlorki, siarczany, wodorowęglany, sód, potas, magnez, wapń, azotany, fosfor ogólny, amoniak, azotyny, fluorki, żelazo, mangan

Mikroelementy: ołów, kadm, cynk, chrom, kobalt, bor

Wskaźniki organiczne: TOC (OWO), suma węglowodorów ropopochodnych, WWA, BTEX, fenole

VII. Badania składu chemicznego próbek skał i wody podziemnej

Ocena agresywności wód gruntowych:

- odczyn pH
- zawartość agresywnego dwutlenku węgla
- zawartość siarczanów
- zawartość jonu amonowego
- zawartość magnezu

W przypadku stwierdzenia przejawów zanieczyszczenia gruntu należy wykonać badania:

- zawartość substancji ropopochodnych
- zawartość metali ciężkich: arsen, bar, chrom, cyna, cynk, kadm, kobalt, miedź, molibden, nikiel, ołów, rtęć

VIII. Ocena masywu skalnego

Ze względu na zmienność i złożoność właściwości masywu skalnego zakres jego rozpoznania należy projektować indywidualnie.

W celu rozpoznania i oceny właściwości masywu skalnego należy określić:

- **rodzaj i właściwości skał budujących masyw (oznaczenie genetyczne i litologiczne rodzaju skały, ciężar i objętościowy, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie, kąt tarcia wewnętrznego, moduł odkształcenia, moduł Younga, liczbę Poissona, porowatość, wodoprzepuszczalność, mrozoodporność, odporność na odspajanie, szczelinowatość i stopień zwiótrzenia skały, podatność na wietrzenie po odkryciu);**
- **strukturę masywu skalnego w zależności od genezy skał go budujących oraz wzajemnych relacji w masywie;**
- **nieciągłość masywu (pomiar upadu i kierunku upadu, rozstaw, zasięg, szorstkość, rozwarcie, wypełnienie, zawodnienie, kształt bloków);**

VIII. Ocena masywu skalnego

- **zwietrzenie masywu skalnego (świeży, słabo zwietrzały, średnio zwietrzały, silnie zwietrzały, całkowicie zwietrzały, grunt rezydualny);**
- **przepuszczalność masywu skalnego i charakterystykę wód gruntowych oraz głębiej występujących wód podziemnych;**
- **właściwości masywu skalnego (pierwotny stan naprężenia, wytrzymałość na ścinanie, wytrzymałość na ściskanie, moduł sprężystości, moduł odkształcenia, geofizyczne właściwości masywów skalnych);**
- **prawdopodobieństwo występowania gazów w masywie (rodzaj gazu, ciśnienie gazu, strefy kontaktowe);**
- **charakterystykę termiczną masywu skalnego (rozkład temperatury na trasie tunelu).**

VIII. Ocena masywu skalnego – badania polowe



VIII. Ocena masywu skalnego – badania laboratoryjne



Metody prowadzenia badań i doboru rozwiązań geotechnicznych dotyczących inwestycji drogowych

RIDII
ROZWÓJ INNOWACJI DROGOWYCH



Projekt poprowadzi konsorcjum:

Projekt finansowany przez:



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**Generałna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

Projekt współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz GDDKiA w ramach

*Wspólnego Przedsięwzięcia NCBR-GDDKiA polegającego na wsparciu badań naukowych
lub prac rozwojowych w obszarze drogownictwa pn. Rozwój Innowacji Drogowych – RID*

Zadania w projekcie realizowane przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów:

Zadanie 4: Przeprowadzenie badań nad jakością oraz trwałością rozwiązań technologicznych stosowanych w przypadku budownictwa drogowego.

Zadanie 5: Wytyczne w zakresie wymagań dla każdej z technologii odnoszących się do ich trwałości i oceny jakości wykonanych wzmocnień.

Efektem końcowym będą Wytyczne, które usprawnią działania GDDKiA związane z metodami poprawy nośności podłoża gruntowego inwestycji drogowych i zminimalizują ryzyka związane ze stosowaniem rozwiązań geotechnicznych niedostosowanych do warunków gruntowo-wodnych.

Bibliografia:

1. www.inzynieria.com
2. A. Tajduś, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 2 (101) 2022. „Ryzyko w budownictwie tunelowym, cz. 2”.
3. www.zmescience.com
4. www.szurlat.pl
5. www.pgi.gov.pl
6. www.agh.edu.pl
7. www.isap.sejm.gov.pl
8. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Politechnika Warszawska, „Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego, . Część 1: Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie”, 2019.
9. www.geologkrakow.pl

10. www.geosell.eu
11. www.inzynieria.com
12. Majer E., Sokołowska M., Frankowski Z. i in. „Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego”, wydawnictwo PIG-PIB, 2018, Warszawa.
13. www.rid.agh.edu.pl
14. Przybyłek J., Nowak B., „Wpływ niżówek hydrogeologicznych i odwodnieni górniczych na systemy wodonośne Pojezierza Gnieźnieńskiego”, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 2011.



**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW**
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

dr inż. Agata Kowalewska
e-mail: akowalewska@ibdim.edu.pl