

Wpływ składu granulometrycznego na wybrane właściwości fizyczne zwiertzelin granitu karkonoskiego

Piotr Pezowicz¹

The particle size distribution impact on selected physical properties of Karkonosze weathered granite. Prz. Geol., 65: 1149–1154.

Abstract. The construction of earthen structure such as embankments or flood embankments requires soils that are easy to compact and also are close to the projected investment. The physical properties analysis of Karkonosze weathered granites are purposeful in this case. According to PN-S-02205:1998 such soils may be used in the lower part of the embankments, below the freezing zone and are classified as “useful with attention”. The soil material selection, used to build the embankment, is mainly determined by the particle size distribution, coefficient of uniformity and coefficient of grading non-uniformity calculated on the basis of grain size curve. The next step, for such soil, is possibility of obtaining compaction index I_s and a dynamic modulus of elasticity E_{vd} – according to the investment concerned design. The material meets the selection criteria is directly used to build the embankment. In this work, an attempt was made to characterize the Karkonosze weathered granites for their usefulness to construct embankments, mainly based on the granulometric composition and selected physical properties.

Keywords: The particle size distribution, Karkonosze weathered granites, embankment

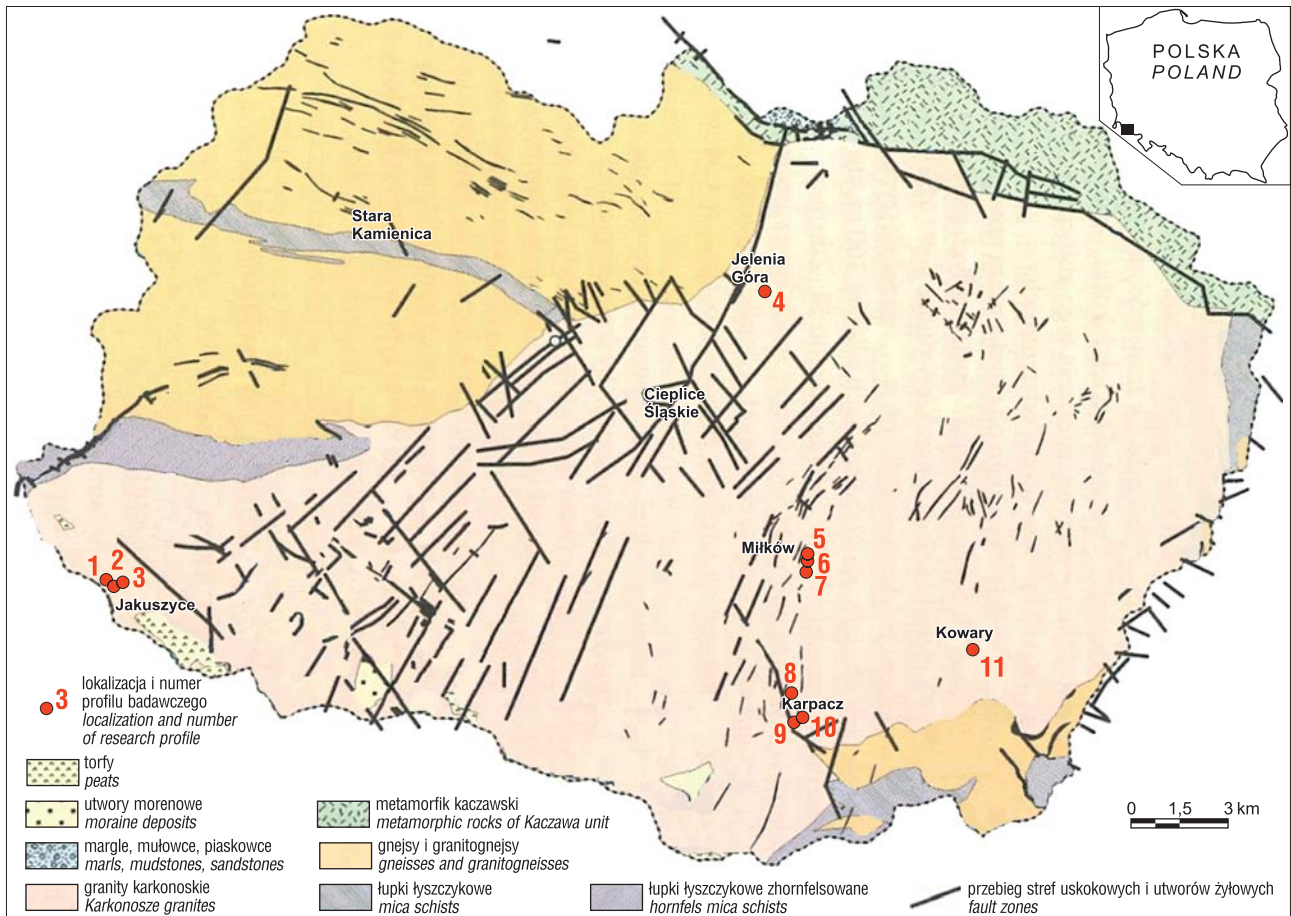
Intensywna budowa infrastruktury drogowej, autostrad, dróg ekspresowych oraz dróg ruchu przyspieszonego wymaga, żeby grunty leżące w bliskiej odległości od planowanej budowy były dobrze rozpoznane pod względem składu granulometrycznego, determinującego ich wykorzystanie pod nasyp. Taki argument ekonomiczny powoduje coraz częściej lokalne rozpoznanie gruntów. Dobrym materiałem w regionie dolnośląskim są zwiertzeliny podłoża krystalicznego. Większość zwiertzelin granitu karkonoskiego składa się z gliny stokowej piaszczystej, gliny stokowej gruzowo blokowej, zwiertzeliny z kosami stokowymi oraz zwiertzeliny ziarnistej z rumoszem skalnym (Jahn, 1965). Grunty te można rozpatrywać jako potencjalny materiał do nasypów budowlanych, dzięki dobremu uziarnieniu o przewadze zawartości frakcji żwirowej i piaszczystej. Celem niniejszej pracy jest ocena wybranych zwiertzelin granitu karkonoskiego pod kątem ich wykorzystania jako materiału do budowy nasypów.

METODYKA BADAŃ

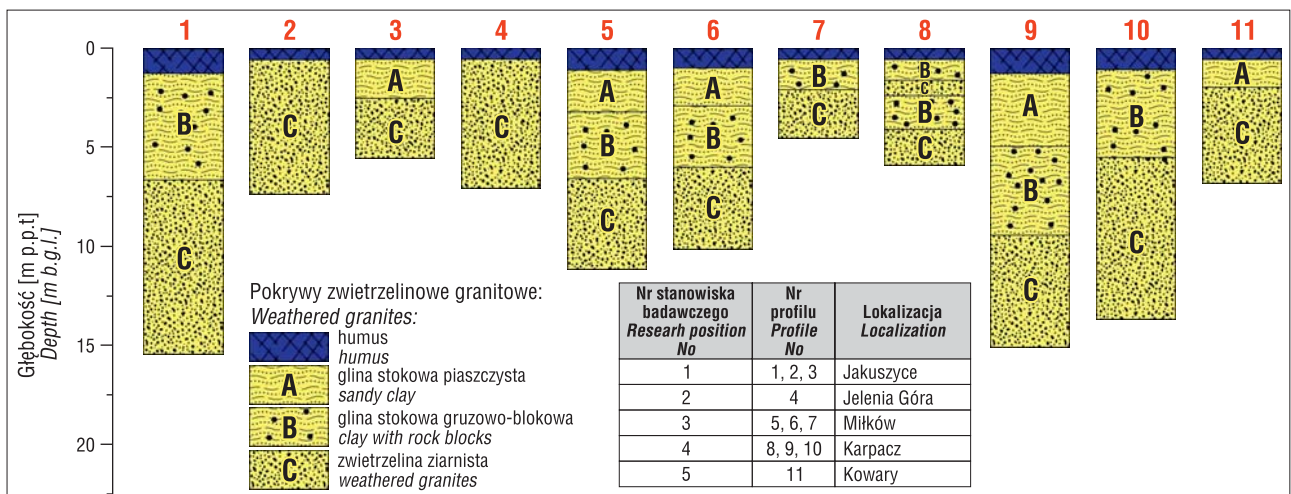
Zgodnie z normą PN-S-02205:1998 grunt spełniający wymagania materiału do budowy nasypu powinien się charakteryzować wartościami wskaźnika różnoziarnistości $C_U > 5$ (zazwyczaj do 0,5 m p.p.t.), $> 3,5$ (0,5–1,2 m p.p.t.). Wskaźnik krzywizny uziarnienia powinien się mieścić w zakresie $C_c = 1,0–3,0$ dla gruntów piaszczysto-żwirowych. Wskaźniki te są niezmiennie dla każdego gruntu. W opracowaniu przedstawiono wartości wskaźnika uziarnienia C_U i krzywizny uziarnienia C_c zwiertzelin granitu karkonoskiego, które zgodnie z ogólnie przyjętą praktyką pozwalają na sklasyfikowanie gruntu w kontekście jego wykorzystania do budowy nasypów, zgodnie z normą PN-S-02205:1998. Przedstawione wartości wilgotności naturalnej determinują inne kryteria wyboru materiału nasypowego na kolejnych etapach projektowania. Jak wykazały prace Zydronia i Miętusa (2016), Pezowicza i Choma-Moryl (2016) wilgotność wpływa na zagęszczenie, odkształcalność, wytrzymałość na ścinanie. W pracy

przebadano 5 stanowisk badawczych (ryc. 1), opisano 11 profili pokryw zwiertzelinowych (ryc. 2), pobierając do badań łącznie 30 próbek gruntu (6 gliny stokowej piaszczystej, 8 gliny gruzowo blokowej, 16 zwiertzeliny ziarnistej), zgodnie z normą PN-EN ISO 22475-1:2006, z rejonu Jakuszyc (profile badawcze nr 1, 2, 3), Jeleniej Góry (profil nr 4), Miłkowa (profile nr 5, 6, 7), Karpacza (profile nr 8, 9, 10) i Kowar (profil nr 11). Grunty wytypowane do badań laboratoryjnych charakteryzowały się naruszoną strukturą, naturalną wilgotnością i naturalnym uziarnieniem. Zgodnie z klasyfikacją Jahna (1968) poszczególne poziomy litologiczne określono symbolami: A – glinę stokową piaszczystą, z beładnie ułożonym materiałem skalnym, której maksymalna miąższość nie przekracza 2 m; B – glinę stokową gruzowo blokową o miąższości do 2,5 m. W związku z brakiem udokumentowanej warstwy zwiertzelin z kosami stokowymi na stanowiskach badawczych, symbol C przyjęto dla zwiertzeliny ziarnistej, osiągającej największą miąższością do 10 m na stanowisku w Jakuszycach. Ponadto jako H oznaczono glebę zamykającą profile zwiertzelin (ryc. 3.), której nie poddano badaniom. Skład granulometryczny określono na podstawie analizy sitowej (PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009-08P) oraz pipetowej (Myślińska, 2010), stosując pirofosforan sodu jako stabilizator, zastępując gotowanie próbek ich mieszaniami w mieszkadle magnetycznym. Wykreślenie krzywych uziarnienia (ryc. 4) pozwoliło na obliczenie wskaźników uziarnienia C_U i krzywizny uziarnienia C_c . Porowatość n , wskaźnik porowatości e i gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_d obliczono na podstawie przeprowadzonych badań gęstości objętościowej (metodą cylindra) i gęstości właściwej szkieletu metodą piknometru. Celem odwzorowania warunków *in situ*, lekką płytą dynamiczną HMP LFG przebadano wychodnie gruntów, wyznaczając wskaźnik zagęszczenia I_s i dynamiczny moduł odkształcalności E_{vd} . Należy jednak pamiętać, że wspomniana płyta dynamiczna jest wykorzystywana do badań kontrolnych zagęszczenia nasypów antropogenicznych (wskaźnika zagęszczenia I_s).

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, ul. Cybulskiego 34, 50-205 Wrocław; piotr.pezowicz@uwr.edu.pl.



Ryc. 1. Stanowiska badań na tle budowy geologicznej wg Marszałka (2007) ze zmianami własnymi
 Fig. 1. Investigated areas on the geology background in according to the Marszałek (2007) with own changes



Ryc. 2. Profile pokryw zwietrzelinowych granitu karkonoskiego na wybranych stanowiskach badawczych
 Fig. 2. Weathering granite profiles of Karkonosze granite on selected research area

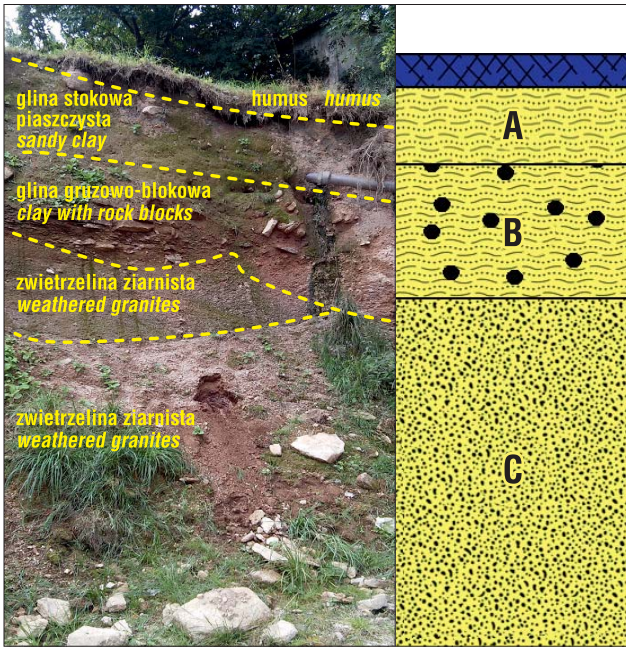
Stopień zagęszczenia I_D można korelować za pomocą wzoru (Bojanowski, Kubiczek, 1995) dla danej wartości I_S wymaganej w projekcie.

$$I_S = \frac{0,818}{0,958 - 0,174 \cdot I_D}$$

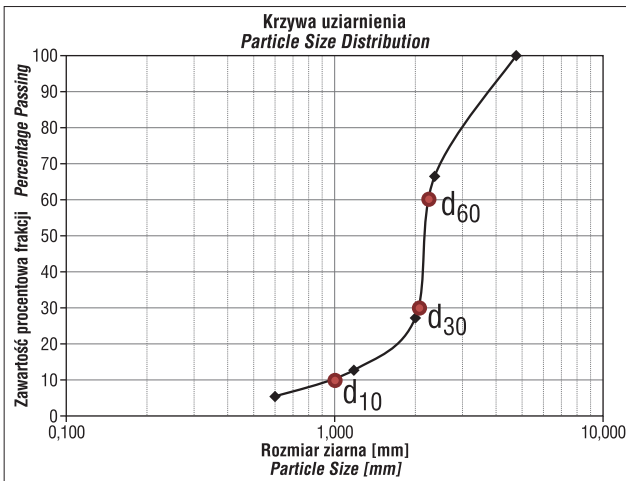
Dodatkowo w 11 profilach wykonano sondowania lekką sondą dynamiczną DPL, uzyskując wartości stopnia zagęszczenia rzędu $I_D = 0,72-0,88$ (ryc. 5).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań analizy granulometrycznej są zbliżone do analiz przedstawionych w pracach m.in. Jahna i in. (2000) oraz Góreckiej i Marszałka (2013). Stwierdzono, że poszczególne poziomy zwietrzelin granitu karkonoskiego odznaczają się zróżnicowanym składem granulometrycznym oraz różniącymi się innymi wartościami badanych parametrów:



Ryc. 3. Wykształcanie litologiczne poziomów H,A,B,C
Fig. 3. Lithology of layers H,A,B,C



Rys. 4. Przykładowy wykres krzywej uziarnienia dla próbki nr 30
Fig. 4. An example sieve graph for sample No. 30

Poziom A:

Skład granulometryczny: frakcja żwirowa 3,3–6,2%, piaskowa 43,2–54,3%, pyłowa 18,2–23,5%, iłowa 16,4–30,3%. Odczytany z wykresów wskaźnik różnoziarnistości przybiera wartość C_u 1,9–3,4, wskaźnik krzywizny C_c 0,9–1,8. Wilgotność naturalna w_n 7,43–15,40%, gęstość właściwa szkieletu gruntowego ρ_s 2,63–2,64 g/cm³, gęstość objętościowa ρ 1,93–2,04 g/cm³, gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d 1,75–1,91 g/cm³, porowatość n 0,28–0,34, wskaźnik porowatości e 0,39–0,51, wskaźnik zagęszczenia I_s 0,97–0,98, dynamiczny moduł odkształcenia E_{vd} 33–44 MPa, stopień zagęszczenia I_D 0,72–0,88.

Poziom B:

Frakcja żwirowa 16,5–28,5%; piaskowa 10,4–27,6%; pyłowa 6,1–10,2%; iłowa 8,8–17,5%; C_u 3,2–9,5; C_c 0,9–2,7; w_n 6,30–14,20%; ρ_s 2,62–2,65 g/cm³; ρ 1,74–1,85 g/cm³; ρ_d 1,61–1,74 g/cm³; n 0,34–0,39; e 0,51–0,64; I_s 0,97–0,99; E_{vd} 24–65 MPa; I_D 0,79–0,87.

WYNIKI BADAŃ SONDA DYNAMICZNA										Zał. nr:									
Profil numer OW5										Sonda nr:									
Miejscowość: Gmina: Powiat: Województwo:			Objekt: Inwestor: Wiercenie: Dozór geol.:			System wiercenia: udarowy Rzędna: 81,34 m n.p.m. Skala 1 : 50 Data wiercenia:													
Głębokość zwierciadła wody [m p.p.t.]	Stratygrafia	Profil litologiczny	Stopień zagęszczenia						Interpretacja										
			Luzny/Srednio zagęszcz			Zagęszczony			N ₁₀	N _{er}	I _p /I _s	I _s							
			Ilość uderzeń na 10 cm wiblicia sondy						7	8	9	10							
1	2	3	4	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55				
0.5		A	zw													39	39	0,79	
2.5		C	zw													32	32	0,56	
4.5																8	8	0,42	

Rys. 5. Przykładowy wykres sondowania sondą DPL dla profilu nr 3
Fig. 5. Results of dynamic light probe DPL investigations example for profile No. 3

Poziom C:

Frakcja żwirowa 10,2–39,3%; piaskowa 14,5–55,4%; pyłowa 3,1–10,7%; iłowa 1,2–14,3%; C_u 2,4–7,2; C_c 0,8–2,8; w_n 2,98–7,89%; ρ_s 2,63–2,68 g/cm³; ρ 1,72–1,95 g/cm³; ρ_d 1,60–1,90 g/cm³; n 0,28–0,39; e 0,39–0,65, I_s 0,97–0,99; E_{vd} 28–59 MPa; I_D 0,77–0,85.

Zestawienie wyników badań przedstawia tabela 1.

DYSKUSJA

Kryteria doboru materiału do budowy nasypów zależą od typu budowli, rodzaju gruntu oraz wymagań projektowych. Norma PN-S-02205:1998 określa badania, które należy wykonać przy przeznaczeniu danego gruntu na budowę nasypu. Są to głównie skład granulometryczny i wilgotność. Na podstawie uzyskanych wyników badań składu granulometrycznego, zwietrzliny granitu karkonoskiego można uznać za grunty piaszczysto-żwirowe, dla których C_u przybiera wartości 1,9–3,4 dla poziomu A, 4,2–9,5 dla B oraz 2,4–7,2 dla C. Wskaźnik krzywizny uziarnienia C_c wynosi 0,9–1,8 (poziom A), 0,9–2,5 (B), 0,8–2,8 (C). W badanych zwietrzelinach wraz ze wzrostem wskaźnika C_u wzrasta gęstość objętościowa szkieletu gruntowego (1,76–1,91 g/cm³ dla poziomu A; 1,61–1,74 g/cm³ dla B; 1,60–1,90 g/cm³ – C), ze względu na większą zawartość frakcji żwirowej i piaskowej oraz stopnia zagęszczenia I_D 0,72–0,88. Również wraz ze wzrostem C_u maleje porowatość n (0,33–0,28 dla poziomu A; 0,39–0,34 dla B i od 0,39 do 0,28 dla C). Wzrost zawartości grubszej frakcji

Tab. 1. Wyniki badań

Nr próbki Sample No.	Numer stanowiska badawczego Research place No.	Profil Profile	Poziom Horizon	Procentowa zawartość frakcji Percentage fraction					Wskaźnik różno- ziarnistości Coefficient of grain- non-unifor- mity	Wskaźnik krzywizny Coefficient of uniformity	
				kamienistej >40 mm stone	żwirowej 2–40 mm gravel	piaskowej 0,063–2,0 mm sand	pyłowej 0,002–0,063 mm silt	iłowej <0,002 mm clay			f_k
1	1 – Jakuszyce	1	B	51,2	16,5	16,0	6,1	10,2	6,3	2,4	
2			C	33,1	25,2	28,3	5,3	8,1	4,7	2,0	
3			C	38,5	20,6	27,6	7,4	5,9	3,2	0,8	
4		2	C	41,2	16,7	31,1	7,6	3,4	7,2	1,8	
5			C	51,3	10,2	21,9	7,0	9,6	6,9	2,0	
6			C	45,2	15,9	27,8	5,8	5,3	7,0	2,8	
7		3	A	5,2	5,7	43,2	23,1	22,8	3,2	0,9	
8			A	4,4	6,2	47,5	22,6	19,3	3,4	1,8	
9			C	35,2	23,2	26,4	5,8	9,4	4,8	1,9	
10	2 – Jelenia Góra	4	C	36,0	15,5	41,6	4,6	2,3	5,0	2,3	
11			C	30,4	23,6	23,0	10,3	12,7	4,5	2,3	
12	3 – Milików	5	A	2,8	5,0	43,7	18,2	30,3	3,1	1,0	
13			B	47,2	21,4	10,7	10,2	10,5	8,5	2,5	
14			C	15,3	22,1	55,4	3,1	4,1	2,4	1,2	
15		6	A	5,1	4,9	45,8	20,7	23,5	3,3	0,9	
16			B	43,2	19,7	17,2	9,6	10,3	8,6	2,4	
17			C	19,9	35,8	27,9	10,7	5,7	3,5	1,1	
18		7	B	47,2	19,2	15,3	9,5	8,8	9,5	2,7	
19	C		22,2	38,7	30,1	3,2	5,8	2,8	0,8		
20	4 – Karpacz	8	A	2,4	6,0	54,2	20,0	17,4	1,9	1,3	
21			B	48,3	20,5	10,4	9,1	11,7	7,8	1,8	
22			C	26,4	27,8	26,4	5,1	14,3	3,1	1,0	
23		9	B	45,7	18,6	17,8	7,5	10,4	5,2	2,3	
24			C	30,2	15,7	46,8	6,1	1,2	3,2	1,1	
25		10	B	32,3	22,4	23,3	8,8	13,2	5,3	2,3	
26			C	19,3	23,8	40,3	6,4	10,2	3,5	1,0	
27			B	18,7	28,5	27,6	7,7	17,5	3,2	0,9	
28			C	19,3	22,5	41,9	6,5	9,8	3,2	0,8	
29	5 – Kowary	11	A	2,5	3,3	54,3	23,5	16,4	3,0	1,0	
30			C	33,5	39,3	14,5	7,3	5,4	4,1	2,4	

powoduje również wzrost wartości właściwości mechanicznych gruntu (Trask, 1959; Pakbaz, Moqaddam, 2012; Yanrong, 2013). W budowie nasypów ogólny wzrost właściwości mechanicznych gruntów wykorzystywanych do ich budowy jest bardzo korzystny. Wraz z rosnącymi wartościami wskaźników różnoziarnistości zwiertzelin od 1,9 do 9,5 rosną również wartości wskaźnika zagęszczenia I_s otrzymanych z badań *in situ* lekką płytą dynamiczną od 0,97 do 0,99 i dynamicznego modułu odkształcalności E_{vd} od 24 do 65 MPa.

We wszystkich badanych profilach uzyskano wysokie wartości I_s (tab.1). Wskaźniki C_U i C_C dla poziomów A i C są niższe od wymaganych przez normę PN-S-02205:1998. Jedynie w poziomie B wartość C_U wynosi średnio 6,9 oraz

C_C średnio 2,3, co wiąże się prawdopodobnie z zawartością frakcji piaszczystej ok.19% i żwirowej ok. 17%.

Poziom A w porównaniu do pozostałych odznaczał się wysoką wilgotnością (7,4–15,2%). Wpływa to na obniżenie wartości gęstości objętościowej i gęstości objętościowej szkieletu gruntowego w tym poziomie i zwiększenie porowatości (ryc. 6). Na głębokości ok. 2 m p.p.t. (ryc. 7), głównie na granicy poziomów A lub B z poziomem C obserwuje się wyraźne zmniejszenie wilgotności. Jest to prawdopodobnie spowodowane znacznie mniejszą zawartością frakcji iłowej w zwiertzelinach poziomu C, jak również jego głębszym zaleganiem. Zwiększenie wilgotności gruntów niekorzystnie wpływa na jego właściwości mechaniczne (Tamboli 1961; Valasti, 2010; Pezowicz,

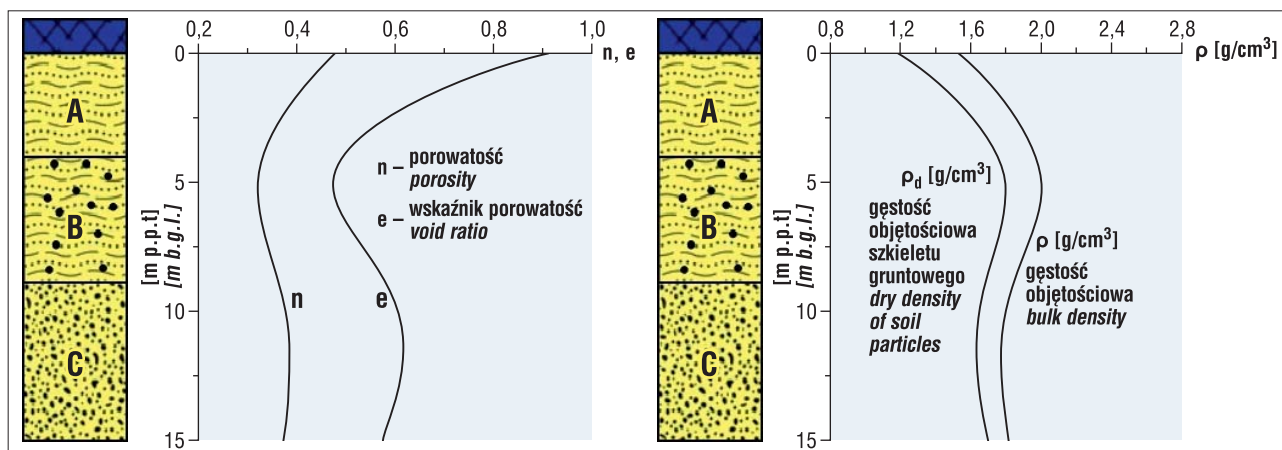
Table 1. Investigation results

Wilgotność naturalna <i>Humidity</i>	Gęstość właściwa szkieletu gruntowego <i>Density of solid particles</i>	Gęstość objętościowa Gruntu <i>bulk density</i>	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego <i>Dry density of solid particles</i>	Porowatość <i>Porosity</i>	Wskaźnik porowatości <i>Void ratio</i>	Wskaźnik zagęszczenia <i>Degree of compaction</i>	Dynamiczny moduł odkształcenia <i>Dynamic modulus of elasticity</i>	Stopień zagęszczenia <i>Density index</i>
w_n [%]	p_s [g/cm ³]	ρ [g/cm ³]	ρ_d [g/cm ³]	n	e	I_s	E_{vd} [MPa]	I_D
14,20	2,63	1,85	1,74	0,34	0,51	0,98	37	0,72
4,24	2,64	1,82	1,65	0,37	0,60			
2,98	2,64	1,79	1,65	0,37	0,60			
7,84	2,63	1,75	1,66	0,37	0,59	0,97	33	0,88
7,68	2,63	1,92	1,78	0,32	0,47			
5,43	2,64	1,92	1,80	0,32	0,47			
15,40	2,64	2,0	1,76	0,33	0,50	0,97	44	0,79
7,43	2,64	2,04	1,75	0,34	0,51			
7,89	2,63	1,8	1,60	0,39	0,65			
4,91	2,64	1,75	1,68	0,36	0,57	0,99	65	0,87
5,42	2,64	1,72	1,67	0,37	0,58			
12,49	2,64	1,925	1,81	0,31	0,46			
8,96	2,65	1,81	1,67	0,37	0,58	0,97	24	0,83
4,54	2,65	1,76	1,68	0,37	0,58			
12,13	2,63	2,01	1,79	0,32	0,47			
7,23	2,65	1,81	1,67	0,37	0,58	0,98	59	0,77
4,22	2,63	1,92	1,84	0,30	0,43			
6,39	2,65	1,81	1,67	0,36	0,57			
5,87	2,63	1,95	1,83	0,30	0,43	0,99	48	0,83
15,20	2,64	1,99	1,82	0,31	0,45			
6,30	2,64	1,8	1,67	0,37	0,58			
6,43	2,64	1,79	1,66	0,37	0,59	0,98	50	0,85
10,00	2,62	1,74	1,61	0,38	0,62			
7,20	2,63	1,81	1,68	0,36	0,56			
11,52	2,65	1,81	1,61	0,39	0,64	0,99	28	0,85
7,28	2,68	1,81	1,65	0,39	0,63			
6,51	2,65	1,81	1,62	0,39	0,64			
6,34	2,67	1,81	1,65	0,39	0,63	0,97	51	0,79
8,38	2,64	2,02	1,91	0,28	0,39			
4,56	2,63	1,95	1,90	0,28	0,39			

Choma-Moryl, 2016). Uziarnienie i wilgotność kształtuje maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego, którą wyznaczamy na podstawie badań w aparacie Proctora dla wilgotności optymalnej przy danej energii zagęszczenia (Dąbska, Pisarczyk, 2011; Tymosiak, Sulewska, 2016). Według normy PN-S-02205:1998 grunty, które potencjalnie mogą być wykorzystane do budowy nasypów, a których wilgotność naturalna jest większa od wilgotności optymalnej klasyfikuje je jako nieprzydatne do bezpośredniego wykorzystania. W takim przypadku grunty te należy osuszyć. Wilgotność zwiędziny waha się od 2,98 do 15,40%, co zgodnie z normą PN-EN ISO 14688-2:2006 klasyfikuje je do gruntów mało wilgotnych (24 próbki z poziomu B oraz C) oraz wilgotnych (6 próbek z A).

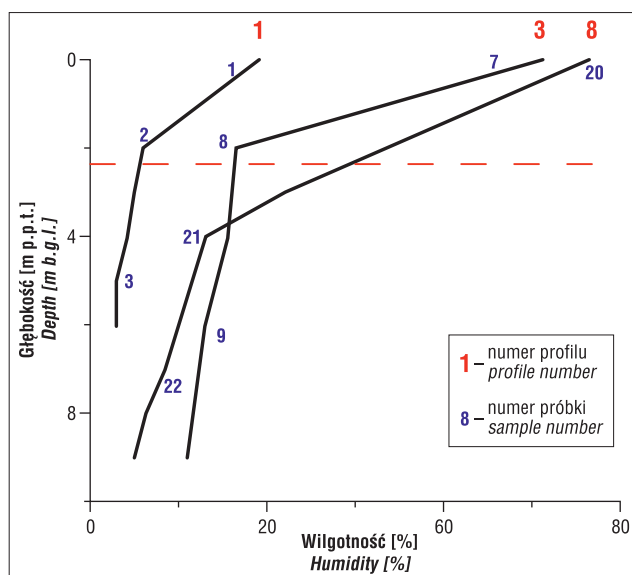
PODSUMOWANIE

Badane zwiędziny granitu karkonoskiego odznaczają się zróżnicowanym składem granulometrycznym, a tym samym zróżnicowanymi wskaźnikami uziarnienia i wskaźnikami krzywizny, co wskazuje na znaczne różnice zawartości poszczególnych frakcji między poziomami A, B, C. Wskaźniki te są brane pod uwagę głównie podczas doboru materiału do budowy nasypów. Na podstawie badań można wnioskować, że zwiędziny poziomu A oraz C są materiałem wątpliwym do budowy nasypów ze względu na ich niskie wartości C_U oraz C_C oraz wysoką wilgotność w poziomie A. Jedynie glina gruzowo-blokowa poziomu B może być wykorzystywana bezpośrednio jako materiał do budowy nasypów, co potwierdzają wilgotno-



Ryc. 6. Wykresy rozkładu porowatości, wskaźnika porowatości (profil nr 5), gęstości objętościowej, gęstości właściwej szkieletu gruntowego, gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (profil nr 5) w zależności od głębokości

Fig. 6. Graphs of porosity distribution, porosity index (profile No. 5), bulk density, specific density of the ground backbone, ground densities (profile No. 5) with the increase in depth



Ryc. 7. Wykres rozkładu wilgotności w zależności od głębokości
Fig. 7. Moisture graph depending on the depth

ści, wskaźniki różnoziarności, krzywizny uziarnienia, wskaźniki zagęszczenia oraz stopnia zagęszczenia, które mieszczą się w przedziałach dopuszczalnych wartości zawartych w normie PN-S-02205:1998. Przeprowadzone badania miały na celu sklasyfikować zwietrzliny granitu karkonoskiego jako materiał do ich bezpośredniego wykorzystania lub po ulepszeniu jako materiał do budowy nasypów głównie na podstawie składu granulometrycznego. Na podstawie wyników badań i ich wzajemnej korelacji wnioskuje się, że jedynie zwietrzliny skał granitowych z poziomu B mogą nadawać się bez zastrzeżeń do budowy nasypów. Natomiast utwory poziomów A i C są materiałem wątpliwym ze względu na uziarnienie.

Autor składa serdecznie podziękowania anonimowemu Recenzentowi za wnikliwe uwagi merytoryczne będące przyczyną udoskonalenia niniejszej pracy. Podziękowania autor śle

także do jednej z wrocławskich firm geologiczno-inżynierskich za nieocenioną pomoc przy użyczeniu sprzętu do badań terenowych oraz pomoc przy ich wykonywaniu.

LITERATURA

- BOJANOWSKI W., KUBICZEK M. 1995 – Badanie zagęszczenia gruntów nasypowych. *Drogownictwo*, 2: 34–38.
- DĄBSKA A., PISARCZYK S. 2011 – Wpływ energii zagęszczania na zagęszczenie gruntów i parametry zagęszczalności. *Inżynieria i Budownictwo*, 1: 21–23.
- GÓRECKA J., MARSZAŁEK H. 2013 – Ocena wybranych parametrów hydrogeologicznych zwietrzelin granitu strzegomskiego (Dolny Śląsk), Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Warszawa: 109–111.
- JAHN A. 1965 – Formy i procesy stokowe w Karkonoszach. *Opera Concorctica*, Wrocław: 7–16.
- JAHN A. 1968 – Peryglacialne pokrywy stokowe Karkonoszy i gór Izerzkich. *Opera Concorctica*, Wrocław: 9–25.
- MARSZAŁEK H. 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. *Wyd. UWroc.*, 81–86.
- MYŚLIŃSKA E. 2010 – Laboratoryjne badania gruntów. PWN, Warszawa: 65–80.
- PAKBAZ M., MOQADDAM A. 2012 – Effect of Sand Gradation on The Behavior of Sand-Clay Mixtures. *University of Shahid*, Iran: 325–331.
- PEZOWICZ P., CHOMA-MORYL K. 2016 – Moisture content impact on mechanical properties of selected cohesive soils from the wielkopolskie voivodeship southern part. *Stud. Geotech. Mech.*, 37–46.
- TAMBOLI T. 1961 – The influence of bulk density and aggregate size on soil moisture retention, *Iowa State University, Iowa*: 25–37.
- TRASK P. 1959 – Effect of grain size on strenght of mixtures of clay, sand, and water. *Department of Engineering, Berkeley*: 569–580.
- TYMOSIAK D., SULEWSKA M. 2016 – Badania parametrów zagęszczalności gruntów niespoistych metodą Proctora. *Acta Sci. Pol. Architect.*, 15 (3): 43–54.
- VALASTI P. 2010 – Improved Soil Stabilization by Geoelectrical Water Content Determination and Statistical Shear Strength Models. *J. Environ. Eng. Geophys.*, 233–241.
- YANRONG L. 2013 – Effects of particle shape and size distribution on the shear strength behavior of composite soils. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 371–381.
- ZYDRON T., MIĘTUS P. 2016 – Wytrzymałość na ścinanie gruntów niesasyconych na przykładzie utworów zwietrzelinowych z okolic Gorlic. *URol. w Krakowie*, 151–163.
- PN-S-02205:1998 – Drogi samochodowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów.
- PN-EN ISO 22475-1:2006 – Rozpoznanie i badania geotechniczne.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009-08P – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.