

Geologiczno-inżynierska ocena zwietrzelin gliniastych z południowej Polski

Adam Roguski¹



Engineering geological assessment of weathered rocks from southern Poland. *Prz. Geol.*, 62: 692–698.

Abstract. Weathered rocks occur in Poland e. g. on Lubelszczyzna and Holy Cross Mountains area, in Jura Krakowsko-Częstochowska region, on Eastern Carpathian flysch and granitoids outcrops in Sudets Mountains. Weathered rocks are often foundation and therefore are subject of thorough and detailed geological and engineering studies. Field CPTU and FVT tests and physical laboratory research were conducted on weathered limestone from Zawiercie and sandstone from Kalwaria Zebrzydowska. These soils were classified as V and VI zone of weathering rock profile. Geomechanical parameters obtained from penetrations and laboratory tests shows a large variation what can be related to variability of their structure and lithology type in each zone of weathering rock profile. This property can give difficulties in formulating engineering and geological properties and delineate

geotechnical zones.

Keywords: weathered rocks, weathering rocks profile, physical-mechanical properties

Właściwości fizyczno-mechaniczne zwietrzelin i zwietrzelin gliniastych zależą od stopnia zwietrzenia masywu gruntowo-skalnego wyrażonego w strefach profilu wietrzeniowego (Gurocak & Kilic, 2005). W literaturze światowej i krajowej znajdujemy wiele profili i klasyfikacji zwietrzelin. W Polsce do celów dokumentowania przyjęto stosować dwa profile wietrzeniowe skał: opracowany przez Drągowskiego (1979), w którym wydzielono pięć stref wietrzeniowych oraz profil zamieszczony w instrukcji opracowanej dla Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych (1998), w którym wydzielono sześć charakterystycznych stref wietrzeniowych, numerując je od I (skała świeża) do VI (grunt rezydualny). W normie PN-EN ISO 14689-1 (Oznaczenie i klasyfikacja skał) wietrzejący masyw skalny charakteryzowany jest sześciostopniową skałą od 0 (masyw skalny świeży) do 5 (grunt rezydualny).

W literaturze światowej spotykamy się również z profilami, w których wydzielono 6 stref wietrzeniowych. Opisał je np. Moye (1955) i Little (1969; za Dearmanem, 1995). Ostatni z autorów dodał do stref profilu wietrzeniowego przydatność tych stref do posadowienia obiektów. Również w brytyjskiej normie BS 5930:1999 prezentowanych jest sześć stref wietrzeniowych. Podstawą wydzielenia stref jest procentowy udział gruntu rezydualnego oraz stosunek niezwiertzałej skały do gruntu rezydualnego w masywie.

Do celów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego na potrzeby posadowienia obiektów budowlanych można stosować profile wietrzeniowe zaprezentowane w Instrukcji GDDP (1998) oraz przez Little'a (Little, 1969; za Dearmanem, 1995). Profile te zawierają jakościowe oszacowanie przydatności poszczególnych stref wietrzeniowych do posadowienia oraz ich parametryzację w postaci WRW (współczynnik redukcji wytrzymałości). Szczegółową charakterystykę rozpatrywanych w pracy stref zgodnie z Instrukcją GDDP (1998) zamieszczono w tabeli 1.

Nazewnictwo produktów wietrzenia masywu skalnego jest bardzo różne, w normie PN-B-02480:1986 używa się sformułowania „zwietrzlina KW dla rozdrobnionego

materiału skalnego oraz zwietrzlina gliniasta KWg dla materiału zawierającego domieszki frakcji ilowej”. W normie PN-EN ISO 14689-1 nie występuje sformułowanie „zwietrzlina”, wietrzejący masyw skalny charakteryzowany jest przez określenie jego stopnia rozłożenia/przemiany, np. masyw skalny całkowicie zwietrzyły lub grunt rezydualny.

W niniejszej pracy autor posługuje się nazewnictwem zaproponowanym w normie PN-B-02480:1986 dla określenia produktów procesów wietrzeniowych. Klasyfikacji badanych zwietrzelin i zwietrzelin gliniastych dokonano zgodnie z wytycznymi Instrukcji GDDP (1998).

LOKALIZACJA I PRZEDMIOT BADAŃ

Do celów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego przebadano grunty zwietrzelinowe z Wyżyny Małopolskiej – rejon Zawiercia oraz z Karpat Zewnętrznych – okolice Kalwarii Zebrzydowskiej. Są to miejsca występowania zwietrzelin gliniastych i gliniasto-gruzowych wapieni jury i piaskowców kredy, których lokalizację przedstawiono schematycznie na rycinie 1.

Badaniom polowym i laboratoryjnym poddano grunty zwietrzelinowe, które na podstawie obserwacji i polowych badań diagnostycznych (zaproponowanych przez takich badaczy jak Lee i de Freitas – 1989), m.in. obecności humusu w gruntach, stopnia odbarwienia skały i możliwości rozkruszenia badanego materiału młotkiem geologicznym, autor zaliczył do V i VI strefy profilu wietrzeniowego – zgodnie z syntetycznym profilem wietrzeniowym skał wg Instrukcji GDDP (1998). Czyli są to strefy skał bardzo silnie zwietrziałych i gruntów rezydualnych.

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH STREF PROFILU WIETRZENIOWEGO

Zwietrzliny gliniaste to materiał o podatnej na zniszczenia strukturze i silnie zróżnicowany pod względem składu. Różnorodność odzwierciedla duży rozrzut otrzymanych

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; adam.roguski@pgi.gov.pl.

Tab. 1. Charakterystyka stref wietrzeniowych (V i VI strefa profilu wietrzeniowego) wg PN EN ISO 14689-1 oraz Instrukcji GDDP (1998)
Table 1. Weathering classification (V and VI horizon of weathered rocks profile) according to PN EN ISO 14689-1 and GDDP Instruction (1998)

Charakterystyka wg Instrukcja GDDP (1998) Characteristic according GDDP Instruction (1998)		
Strefa Horizon	Nazwa Name	Opis Description
VI	Grunty spoiste rezydualne Residual Soil	Skała jest kompletnie zmieniona w grunt spoisty, który nie nadaje się na podłoże ciężkich obiektów inżynierskich The rock is completely changed to a soil, unsuitable for important foundations WRW = 0,001–0,005
V	Skąły bardzo silnie zwietrzałe Completely Weathered $R_w > 75\%$	Więcej niż 75% skały jest zmieniona w wyniku wietrzenia. Dezintegracja skały powoduje, że w tej strefie skała wygląda jak gruz, drobny, przeważnie orientowany. Skalenie uległy kaolinizacji. Struktura generalnie zachowana More than 75% of rock is changed by the weathering. Feldspar completely decomposed to clay mineral. All rock material is disintegrated to soil, gravel, fine, orientated mostly. The original mass structure is still preserved WRW = 0,005–0,01



Ryc. 1. Lokalizacja rejonów badań
Fig. 1. Study area

wyników z badań fizycznych, w tym podstawowych oznaczeń wilgotności i stopnia plastyczności rezydium.

Analizowane zwietrzliny gliniaste granulometrycznie reprezentują piaski gliniaste, gliny oraz łą z domieszkami okruchów skalnych, na podstawie wymiaru ziaren okruchy skalne zaliczono do frakcji piaskowej, żwirowej i kamienistej (tab. 2).

Właściwości wytrzymałościowe w gruntach rezydualnych i w strefie skał bardzo silnie zwietrzałych w rejonie Kalwarii Zebrzydowskiej określono na podstawie badań połową sondą krzyżakową FVT. Otrzymane wyniki pokazują duże zróżnicowanie parametrów wytrzymałościowych w zakresie jednego rzędu wielkości. W zwietrzelinach gliniastych wykonano 37 pomiarów w strefie głębokości 1–6 m p.p.t. Uzyskane wartości wytrzymałości na ścinanie c_u wyprowadzono w zakresie 47–426 kPa (ryc. 2).

Podobne zróżnicowanie wartości parametrów uzyskano również w sondowaniach statycznych CPTU wykonanych w rejonie występowania zwietrzelin gliniastych jury na Wyżynie Małopolskiej. Na podstawie badań laboratoryjnych grunty te zaliczono do gruntów spoistych z frakcją łą determinującą ich właściwości fizyczno-mechaniczne, zawierających domieszki frakcji piaskowej, żwirowej i kamienistej. Na podstawie obserwacji i połowych badań diagnostycznych (Lee & Freitas, 1989) oraz zgodnie z zaleceniami Geological Society Engineering Group Wor-

king Party Report (1995) badane zwietrzliny gliniaste autor zaliczył do V i VI strefy profilu wietrzeniowego. Do strefy VI profilu wietrzeniowego wliczono grunty spoiste, gliny, gliny pylaste i gliny zwięzłe oraz łą. Do strefy V profilu (skał bardzo silnie zwietrzałych) zaliczono grunty spoiste z domieszkami okruchów skał niezwiertzałych.

Dla badanych gruntów uzyskano wartości q_c w przedziale 0,46–22 MPa, w rozbiu na strefy wietrzeniowe, uzyskano wartości q_c w przedziale 0,46–8 MPa dla strefy VI oraz q_c w przedziale 1–22 MPa dla strefy V. Wybrane reprezentatywne pomiary zobrazowano na wykresach (ryc. 3).

Wartości uzyskane z sondowań statycznych badanych zwietrzelin gliniastych umieszczono na normowym (PN-B-04452:2002) nomogramie Robertsona adaptowanym przez Młynarka i in. (1997) do gruntów polskich (ryc. 4). Na podstawie analizy obszaru pokrytego wynikami badań po raz kolejny potwierdza się zróżnicowanie litologiczne przedmiotowych gruntów. Zachowanie się zwietrzelin gliniastych pod stożkiem odpowiada zarówno gruntom spoistym, jak i niespoistym z charakterystyczną dominacją w rejonie piasków i pospółek o q_c w przedziale 2–20 MPa.

Udokumentowane zróżnicowanie rodzajów gruntów w obrębie stref V i VI profilu wietrzeniowego oraz zmienność litologiczna w profilu pionowym i poziomym, charakterystyczna dla zwietrzelin, wpływają na trudności w wydzieleniu warstw geologiczno-inżynierskich. Duże zróżnicowanie litologiczne w obrębie stref wietrzeniowych wpływa na zróżnicowanie otrzymywanych wyników badań połowych sondą statyczną CPTU i sondą krzyżakową FVT. Utrudnia to na etapie dokumentowania wyników badań wyznaczenie reprezentatywnych parametrów fizycznych i mechanicznych dla warstw geologiczno-inżynierskich.

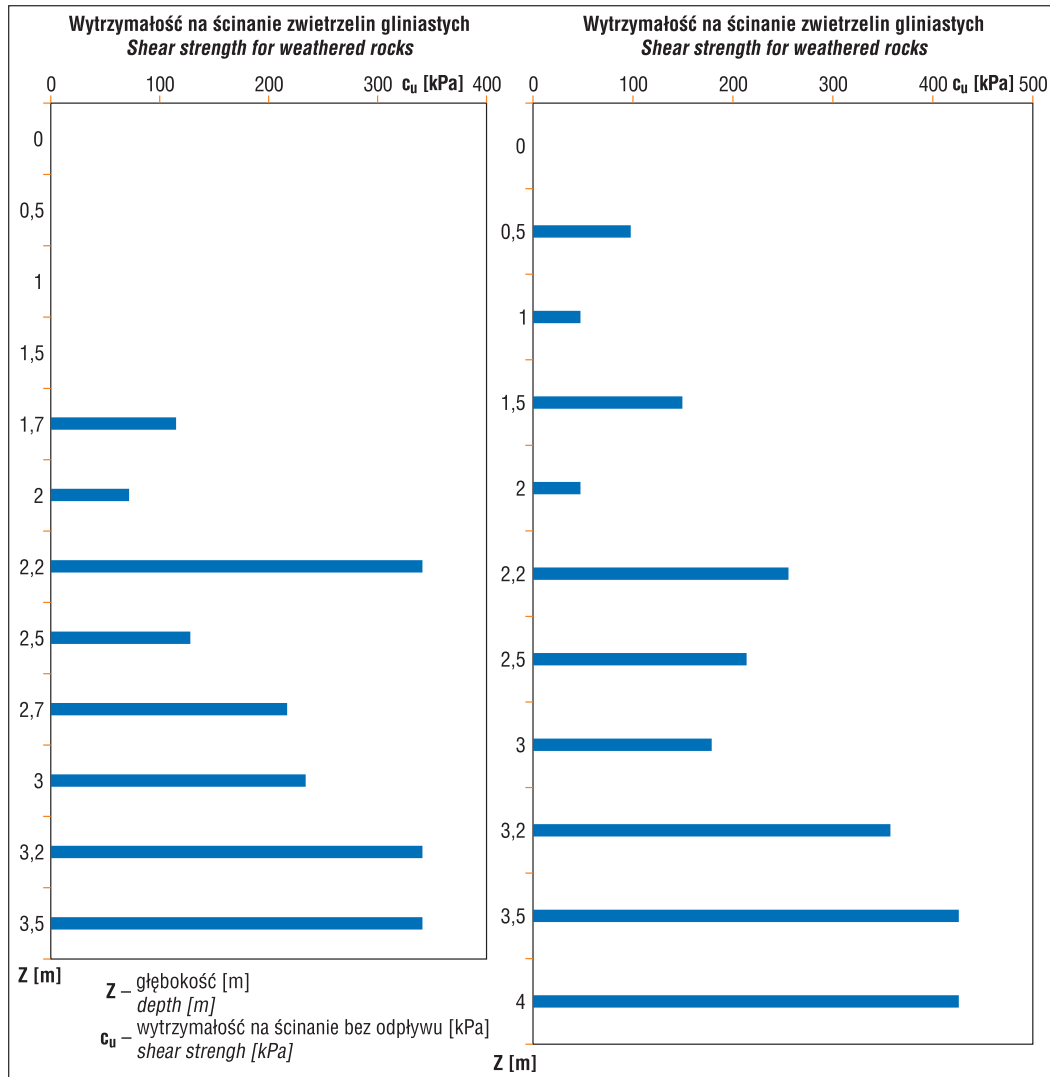
OCENA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNYCH ZWIETRZELIN

Wietrzenie jest procesem znacznie oddziaływującym na warunki inżynierskie, parametry skał i gruntów poprzez tworzenie minerałów wtórnych, powstanie szczelin i rozpad ośrodka skalnego (Arel & Turgul, 2001). Właściwości fizyczne i mechaniczne zwietrzelin opisywane są m.in. za pomocą takich parametrów jak: prędkość sejsmiczna fali podłużnej, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie i

Tab. 2. Wyniki badań zawartości poszczególnych frakcji gruntów zwietrzelinowych (V i VI strefa profilu wietrzeniowego)
Table 2. Results of fraction content of weathered rocks (V and VI horizon of weathered rocks profile)

głębokość depth [m]	Opis gruntu Soil description			Uziarnienie Grain-size fraction		
	Symbol wg Symbol acc. PN-B-04481:1988	Symbol wg Symbol acc. PN-EN ISO 14688-2	Opis wg Description acc. PN-EN ISO 14689-1	f _p [%]	f _π [%]	f _i [%]
1,5–2,8	KWg (G + okruchy wapienia)	grsasiCl	Materiał skalny rozłożony, grunt rezydualny Rock material decomposed, residual soil	37	40	23
7,5–10,0	KWg (Gz + okruchy wapienia)	grsaCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	30	38	32
5,5–6,0	KWg (Gz + okruchy wapienia)	grsaCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	24	42	34
9,0–10,0	KWg (Gz+ okruchy wapienia)	grsiCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	30	46	24
3,0–3,5	KWg (Gpz + okruchy kredy)	grsaCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	34	31	35
6,0–8,0	KWg (Iπ + okruchy kredy)	grsiCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	10	60	30
0,4–1,5	Gπ + okruchy kredy	grsaClSi	Materiał skalny rozłożony, grunt rezydualny Rock material decomposed, residual soil	15	70	15
3,2–8,0	KW (okruchy kredy)	siCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	19	53	28
0,1–1,3	KWg (Gπ, okruchy wapienia)	grsaClSi	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	9	76	15
3,1–3,5	KWg (Gz + okruchy margla)	grsaCl	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	42	28	30
9,0–14,0	KRg	sagrSi	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	35	47	18
0,1–1,6	KWg/KRg	sagrSi	Materiał skalny rozdrobniony, całkowicie zwietrzały Rock material disintegrated, completely weathered	61	26	13
5,0	KWg (Gp)	clsiSa	Materiał skalny rozłożony, grunt rezydualny Rock material decomposed, residual soil	53	27	20
1,0–1,5	KWg (Gπ)	saClSi	Materiał skalny rozłożony, grunt rezydualny Rock material decomposed, residual soil	17	64	19
2,1	KWg (Gπ)	saClSi	Materiał skalny rozłożony, grunt rezydualny Rock material decomposed, residual soil	21	60	19
3,5	KWg (Gπ)	saClSi	Materiał skalny rozłożony, grunt rezydualny Rock material decomposed, residual soil	36	44	20

KWg – zwietrzelina gliniasta / residual clay soils, KW – zwietrzelina / weathered rocks, KRg – rumoszcz gliniasty / gravelly clays, f_p – frakcja piaskowa / sand fraction, f_π – frakcja pyłowa / silt fraction, f_i [%] – frakcja ilowa / clay fraction



Ryc. 2. Wykresy wytrzymałości na ścinanie c_u zwietrzelin gliniastych (V i VI strefa profilu wietrzeniowego) z rejonu Kalwarii Zebrzydowskiej

Fig. 2. Shear strength c_u for weathered rocks from Kalwaria Zebrzydowska area (V and VI horizons weathered rocks profile)

rozciąganie, ocena wytrzymałości na ściskanie metodą jednopunktową i wytrzymałość określona pośrednio z badania młotkiem Schmidt'a (Arel & Turgul, 2001; Ceryan i in., 2007). Dla tak precyzyjnych oznaczeń bardzo trudno w warunkach polowych uzyskać reprezentatywną próbkę gruntu do analiz. Bardzo zwietrzały materiał ulegał zniszczeniu w trakcie wiercenia lub preparatyki laboratoryjnej. Znaczne osłabienie parametrów fizyczno-mechanicznych w trakcie wietrzenia, m.in. Arel i Turgul (2001) oraz Ceryan i in. (2007) wiąże z tworzeniem minerałów wtórnych (minerałów ilastych) w procesie wietrzenia chemicznego.

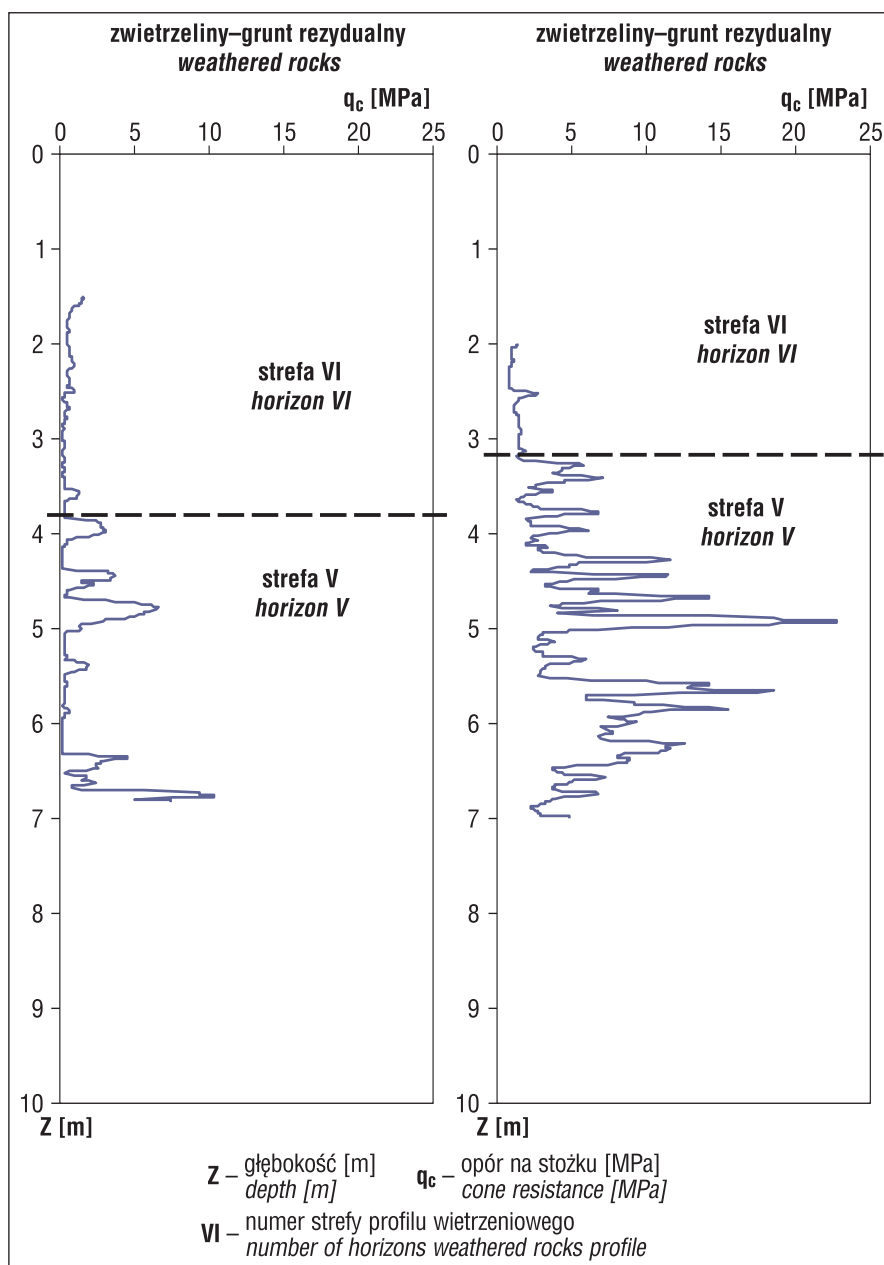
Porowatość i przepuszczalność ośrodka skalnego wzrasta wraz z postępującym wietrzeniem w I i II strefie profilu wietrzeniowego do III strefy – skał umiarkowanie zwietrzałych. W strefach bardziej zwietrzałych porowatość w stosunku do skały macierzystej wzrasta wyraźnie; zjawisko to związane jest po pierwsze z tworzeniem i otwieraniem szczelin i nieciągłości w procesach wietrzenia fizycznego oraz z tworzeniem minerałów wtórnych w procesie wietrzenia chemicznego (Turgul & Gurpinar, 1997).

Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_C maleje niemal do zera wraz z postępującym procesem wietrzenia i związane jest to z przemianą skały litej w grunt (ilasty i gliniasty) w wyniku zachodzących procesów wietrzenia fizycznego i chemicznego (Turgul & Gurpinar, 1997). Charakter materiału badawczego ze stref V i VI również nie pozwolił wykonać oznaczeń R_C .

Opisane wyżej zmiany można jednak zobrazować wykresem opracowanym przez W. Dearmana (1974) i oszacować wybrane parametry przedmiotowych gruntów na potrzeby dokumentowania (ryc. 5).

Przebadane zwietrzliny z rejonów Wyżyny Małopolskiej i Karpat wpisują się w ogólny trend dużego zróżnicowania parametrów.

Zmienność właściwości analizowanych gruntów wiąże się z ich długą historią geologiczną, która determinuje ich właściwości fizyczne i mechaniczne. Granulometrycznie (wg PN-B-04481:1988) badane zwietrzliny zaliczono do łą, glin pylastych zwięzłych, glin piaszczystych i piasków gliniastych, czasami przewarstwianych gruntami pylasto-piaszczystymi.



Ryc. 3. Wykresy oporu na stożku q_c zwietrzelin (V i VI strefa profilu wietrzeniowego) w wybranych punktach badawczych z Wyżyny Małopolskiej

Ryc. 3. Cone resistance q_c for weathered rocks (V and VI horizons weathered rocks profile) at selected points of Małopolska Upland

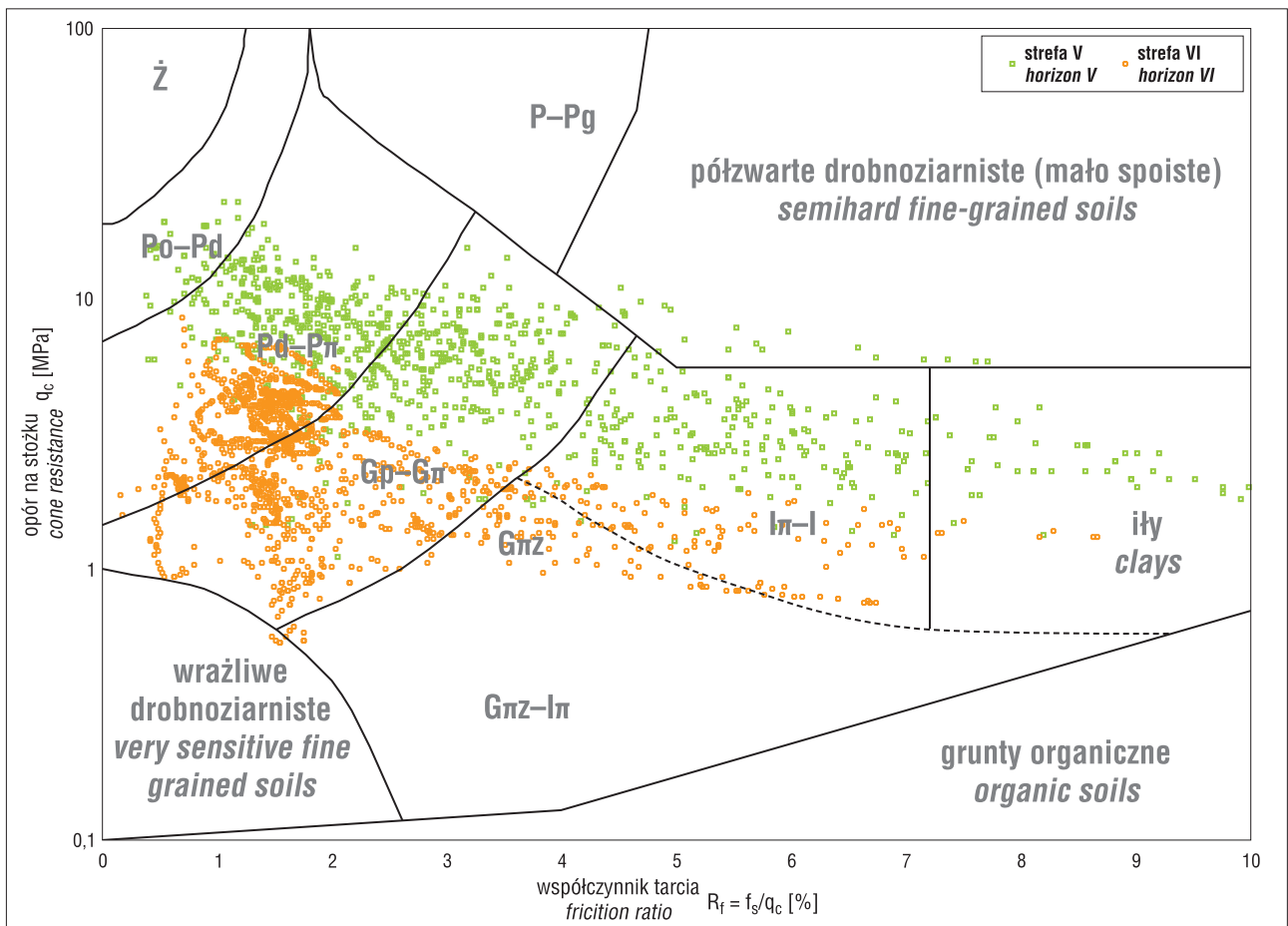
Przejawem zróżnicowania struktury gruntów rezydualnych i skał całkowicie zwietrzałych były nie tylko różnice w jego składzie granulometrycznym, ale również znaczny rozrzut w uzyskiwanych wartościach wilgotności i stopnia plastyczności. Wilgotność badanego gruntu rezydualnego zmieniała się w dużym zakresie od 3 do 66%, wynosząc przeciętnie od 13 do 27%. Zestawienie wyników badań laboratoryjnych i polowych zwietrzelin (V i VI strefa profilu wietrzeniowego) przedstawiono w tabeli 3.

PODSUMOWANIE

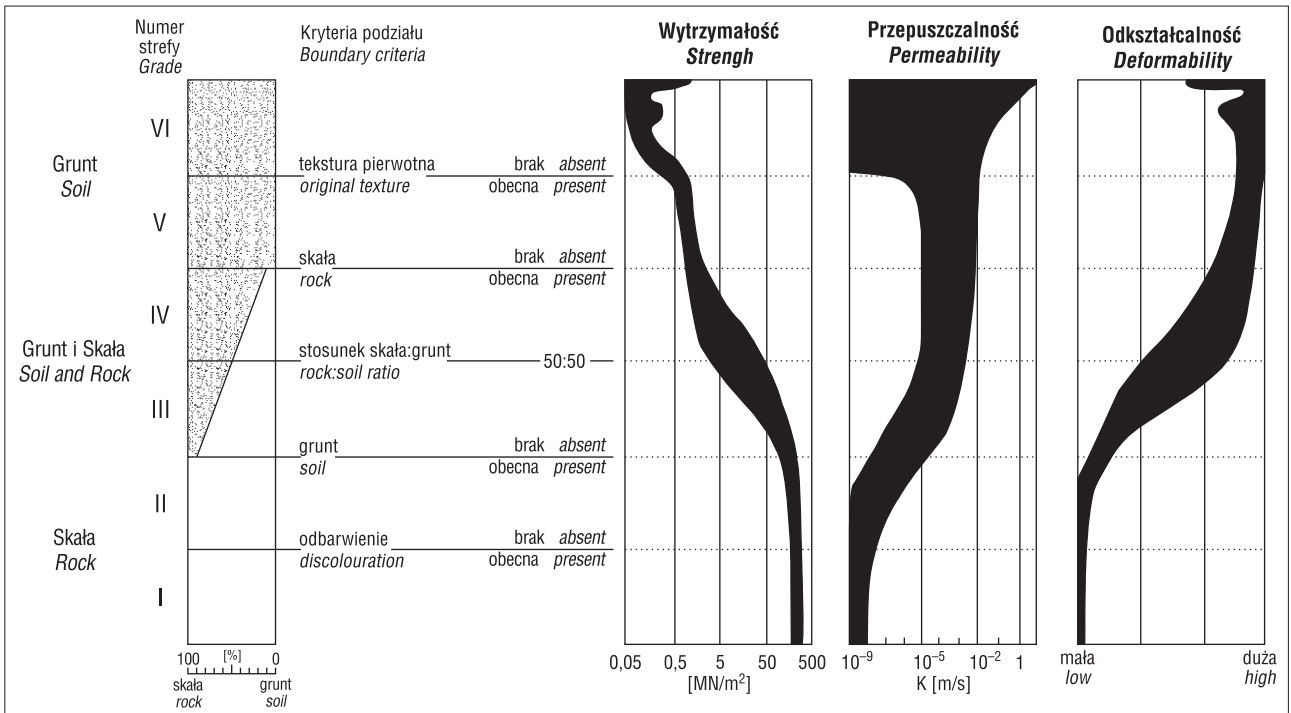
Z punktu widzenia oceny warunków geologiczno-inżynierskich grunty zwietrzelinowe należy bezwzględnie zaliczyć do gruntów o specyficznych właściwościach, szcze-

gólnie wrażliwych na naruszenie struktury i zmiany zawilgocenia. Przy ustaleniu parametrów mechanicznych należy pamiętać m.in. o dużym zróżnicowaniu litologicznym zwietrzelin gliniastych w strefie VI oraz o obecności struktur reliktowych w strefie V profilu wietrzeniowego, które determinują właściwości mechaniczne (Arel & Turgu, 2001; Geological Society..., 1995).

Problematyka dokumentowania zwietrzelin nie jest nowym zagadnieniem, a prace nad udoskonaleniem profilu wietrzeniowego, klasyfikacją i metodami badawczymi gruntów zwietrzelinowych trwają. Trudności w charakterystyce i klasyfikacji zwietrzelin są powodem zaawazowania międzynarodowych grup roboczych, których celem jest wymiana doświadczeń i wypracowanie metod umożliwiających najlepsze udokumentowanie opisu pro-



Ryc. 4. Wyniki sondowania statycznego na nomogramie klasyfikacji gruntu wg Młynarka i in. (1997, zmodyfikowany)
 Ryc. 4. Cone Penetration testing results on Młynarek et al. (1997, modified) soil behavior type classification



Ryc. 5. Właściwości fizyczno-mechaniczne stref profilu wietrzeniowego (Dearman, 1974)
 Fig. 5. Physical-mechanical properties of horizons in weathered rocks profile (Dearman, 1974)

Tab. 3. Zestawienie uzyskanych parametrów fizycznych i mechanicznych gruntów zwietrzelin (V i VI strefa profilu wietrzeniowego) z poligonów badawczych Wyżyny Małopolskiej i Karpat Zewnętrznych**Table 3.** Physical-mechanical properties of weathered rocks (V and VI horizon of weathered profile) from study sites

Parametry Parameters		Grunty rezydualne, skała całkowicie zwietrzała Residual Soil, completely weathered rocks
Zawartość frakcji Fraction content [%]	< 2 µm	14–29; Śr. = 22; V = 23; N = 18
	2–50 µm	22–76; Śr. = 44; V = 39; N = 18
	> 50 µm	9–61; Śr. = 34; V = 22; N = 18
Wilgotność naturalna Natural water content [%]		6–48; Śr. = 18; V = 39; N = 9
Granica płynności Liquid limit w _L [%]		–0,20–73,10; Śr. = 31; V = 71; N = 9
Granica plastyczności Plastic limit w _P [%]		6,70–36,72; Śr. = 36,72; V = 44; N = 9
Stopień plastyczności Liquidity index I _L		–0,26–0,92; Śr. = 0,09; V = 284; N = 7
Opór stożka Cone resistance q _c [kPa]		0,46–22; V = 66; N = 1653
Wytrzymałość na ścinanie Shear strength c _a [kPa]		47–426; Śr. = 312; V = 42; N = 37

Śr. – wartość średnia / arithmetic average, V – współczynnik zmienności / coefficient of variation, N – liczba pomiarów [%] / number of measurements [%]

filu wietrzeniowego i rozpoznanie procesów wietrzeniowych wpływających na warunki geologiczno-inżynierskie (Geological Society..., 1995; Calcaterra & Prise, 2010).

LITERATURA

AREL E. & TURGUL A. 2001 – Weathering and its relation to geomechanical properties of Cavusbası granitic rocks in northwestern Turkey. Bull. Engineer. Geol. Environ., 60: 123–133.
 BS 5930: 1999 – Code of practice for site investigations. British Standards Institutions.
 CALCATERRA D. & PARISE M. 2010 – Weathering as a predisposing factor to slope movements: an introduction. Geological Society, London. Engineer. Geol. Spec. Public., 23: 1–4.
 CERYAN S., TUDES S. & CERYAN N. 2007 – Influence of weathering on the engineering properties of Harsit granitic rocks (NE Turkey). Bull. Engineer. Geol. Environ., 67: 97–104.
 DEARMAN W.R. 1974 – Weathering classification in the characterization of rock for engineering purpose in British practice. Bull. Intern. Assoc. Engineer. Geol., 9: 33–42.
 DEARMAN W.R. 1995 – Description and classification of weathered rocks for engineering purpose: the background to the BS5930:1981 proposals. Quart. J. Engineer. Geol. Hydrogel., 28: 267–276.
 DRAĞOWSKI A. 1979 – Wybrane problemy badawcze zwietrzelin i gruntów antropogenicznych dla posadowienia budowli. Budownictwo na gruntach słabych, nasypowych i antropogenicznych rejonu Warszawy. Materiały konferencyjne NOT Budownictwo na gruntach słabych, nasypowych i antropogenicznych rejonu Warszawy, Warszawa.

GEOLOGICAL Society Engineering Group Working Party Report 1995 – The description and classification of weathered rocks for engineering purpose. Quart. J. Engineer. Geol. Hydrogel., 28: 207–242.
 GUROCAK Z. & KILIC R. 2005 – Effect of weathering on the geomechanical properties of the Miocene basalts in Malatya, Eastern Turkey. Bull. Engineer. Geol. Environ., 64: 373–381.
 HENCHER S.R. & MCNICHOLL D.P. 1995 – Engineering in weathered rock. Quart. J. Engineer. Geol. Hydrogel., 28: 253–266.
 INSTRUKCJA badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa, 1998.
 LEE S.G. & FREITAS M.H. 1989 – A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granites in Korea. Quart. J. Engineer. Geol. Hydrogel., 22: 31–48.
 MŁYNAREK Zb., TSCHUDCHKE W. & WIERZBICKI J. 1997 – Klasyfikacja gruntów podłoża budowlanego metodą statycznego sondowania. XI Krajowa konferencja mechaniki gruntów i fundamentowania. Geotechnika w budownictwie i transporcie. Tom II: 119–126.
 MOYE D.G. 1955 – Engineering geology of the Snowy Mountains scheme. J. Institution of Engineers of Australia, 27: 299–308.
 PN-B-02480:1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. PKN, Warszawa.
 PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów – Część 1: Oznaczenie i opis. PKN, Warszawa.
 PN-EN ISO 14689-1:2006 – Badania geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie skał – Część 1: Oznaczenie i opis. PKN, Warszawa.
 PN-B-04452:2002 – Geotechnika. Badania polowe. PKN, Warszawa.
 TURGUL A. & GURPINAR O. 1997 – A proposed weathering classification for basalts and their engineering properties (Turkey). Bull. Intern. Assoc. Engineer. Geol., 55: 139–149.