

## Il zawęglony – właściwości geologiczno-inżynierskie miocenijskiego gruntu organicznego występującego w deformacjach glaciektonicznych na terenie Zielonej Góry

Agnieszka Gontaszewska-Piekarz<sup>1</sup>

**Lignite clay – some properties of the Miocene organic soil from glaciectonic deformation in Zielona Góra.** Prz. Geol., 65: 856–863.

*Abstract.* The paper presents the characteristic of peculiar Miocene soil which occurs in Zielona Góra. Geological structure of Zielona Góra is determined by glaciectonic disturbances. Shallow occurrence of Miocene sediments, as clays or lignite, is connected with a structure called Wał Zielonogórski. This is a moraine formed in Warthe glaciation and built from Miocene and old-Pleistocene sediments. The height of the moraine is about 150 m. Lignite clay contains high amount of lignite silt (organic material); hence should be classified as an organic soil. Some laboratory tests (oedometer tests, organic material content, index of swelling) and field tests (Cone Penetration Test) were done. The results show that the strength parameters of lignite clay are close to “clear” clay. The findings show that lignite clay cannot be recognized as a non-carrying soil although high amount of organic material. Oedometer test results allow to design building foundation with standard continuous footing. The occurrence of lignite clay in subsoil in Zielona Góra always indicates the glaciectonic deformation and high soil variety, hence such area should be investigated more carefully, with an increased number of drilling and probing points.

**Keywords:** clay, lignite, glaciectonic disturbances, Zielona Góra

Budowa geologiczna podłoża budowlanego Zielonej Góry jest determinowana zaburzeniami glaciektonicznymi. Miasto jest położone na kulminacji Wału Zielonogórskiego, będącego moreną czołową powstałą w czasie zlodowacenia warciańskiego, składającą się ze spiętrzonych osadów miocenu i starszego plejstocenu (osady zlodowacenia sanu I oraz odry). Oprócz ogromnego zróżnicowania warunków geologicznych, problemem dla projektantów konstrukcji bywa także płytkie występowanie gruntów zawierających części organiczne, takich jak węgiel brunatny oraz ily zawęglone. Charakteryzują się one niskimi wartościami parametrów geologiczno-inżynierskich i wymagają każdorazowo badań laboratoryjnych.

Celem niniejszej pracy jest ogólna charakterystyka iłów zawęglonych, przedstawienie dostępnych danych dotyczących ich parametrów oraz porównanie z iłami formacji poznańskiej – powszechnie występującym gruntem na terenie Zielonej Góry. Pomaga ono uzyskać odpowiedź na pytanie, na ile nietypowe i rzadko spotykane ily zawęglone są podobne do iłów typowych.

### TEREN BADAŃ

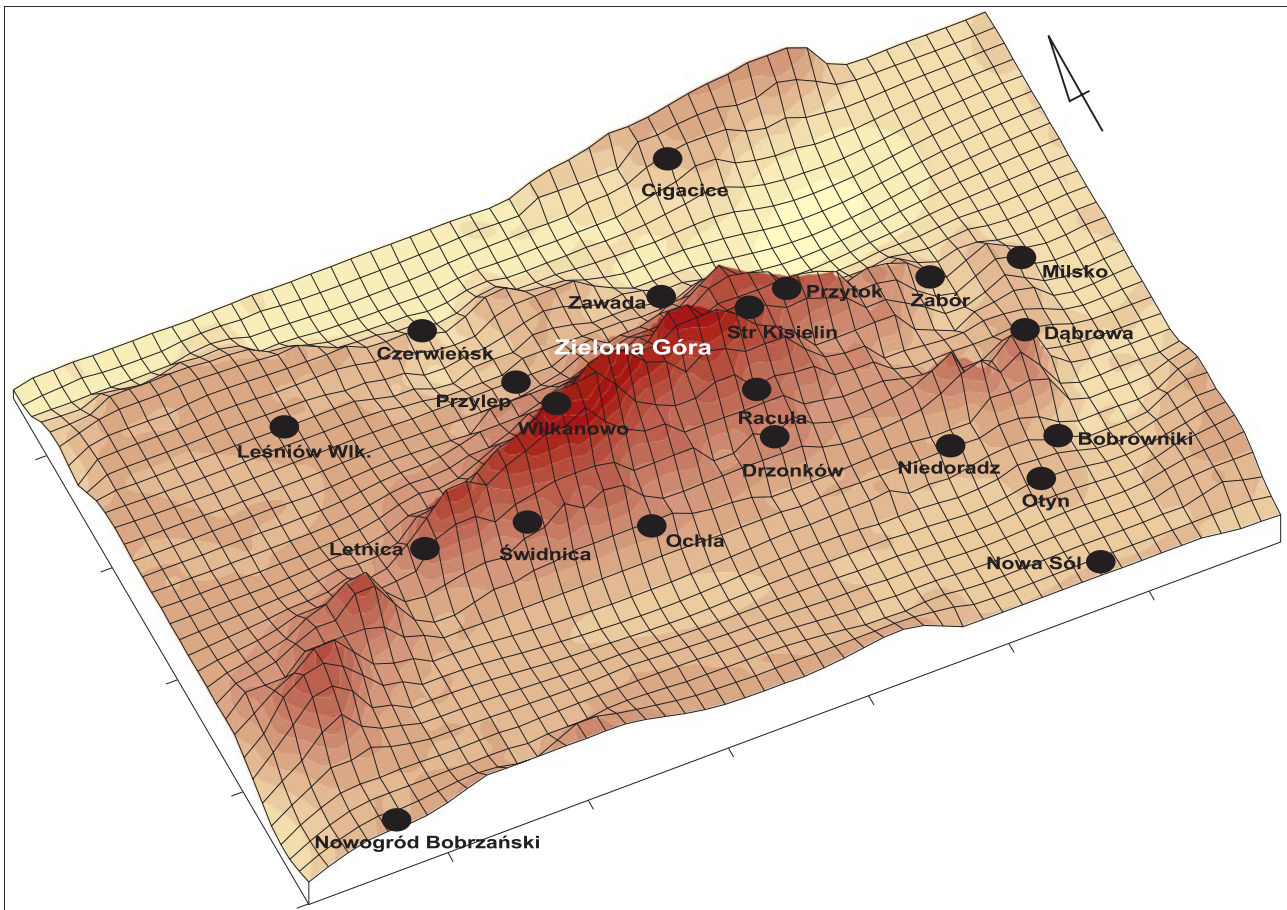
Stosunkowo płytkie występowanie osadów miocenijskich w okolicy Zielonej Góry jest związane ze strukturą glaciektoniczną zwaną Wałem Zielonogórskim (ryc. 1). Jej wysokość względna wynosi ok. 150 m, a na północnym zboczu znajdują się dodatkowo tarasy kemowe utworzone podczas deglacjacji lądolodu zlodowacenia wisły. Wał Zielonogórski ma długość ok. 30 km i składa się z wyraźnych trzech części, z których najwyższa (221 m n.p.m.) jest część środkowa. Na niej jest położone miasto Zielona Góra. Zachodnia część jest wyraźnie oddzielona od środkowej Bramą Letnicką i nosi nazwę Wału Sterkowskiego (Kostrzewski, 1967; Kotowski, Kraiński, 1997a). Bezpośrednio na południe od Wału Zielonogórskiego, do granicy z Pradoliną Głogowsko-Barucką rozciągają się sandry Bogaczowa, Ochli i Niedoradza (Kotowski, Kraiński, 1997b).

Struktury glaciektoniczne Wału Zielonogórskiego są doskonale widoczne w miejscach udokumentowanych pokładów węgla brunatnego (ryc. 2). Są to głównie fałdy oraz łuski, o biegu SW–NE. W miejscach dawnej eksploatacji węgla brunatnego stwierdzano po kilka–kilkanaście równoległych do siebie antyklin oraz łusek, nazywanych siodłami. Wiercenia złożowe nie dokumentowały synklijalnych wygięć pokładów, znajdujących się zapewne głębiej niż 50–70 m p.p.t.

W nadkładzie węgla występują niebieskie i szare ily miocenijskie formacji poznańskiej, w przeszłości często eksploatowane obok węgla na potrzeby licznych lokalnych cegielni, oraz utwory plejstocenu. Plejstocenijskie gliny starszych zlodowaceń, głównie sanu I i rzadziej odry, zostały sfałdowane wraz z osadami miocenijskimi, natomiast gliny młodsze (zlodowacenia warty) zalegają na nich niezgodnie i są niezaburzone (Urbański, 2002). Miąższość pokładów węgla nie jest duża, wynosi z reguły 3–4 m. W okolicy Zielonej Góry występował z reguły tylko jeden pokład, lokalnie napotymano dwa, np. w pobliżu wsi Buchałów (Gontaszewska, Kraiński, 2008). W spągu węgla występują szare ily, a poniżej najczęściej piaski kwarcowe. Wiek węgla jest określany na I (środkowopolską) grupę pokładów (Piwocki, 1992), zwaną także pokładem Henryk (Dyjur, Sadowska, 1977) lub pokładem środkowopolskim (Kasiński, 2008).

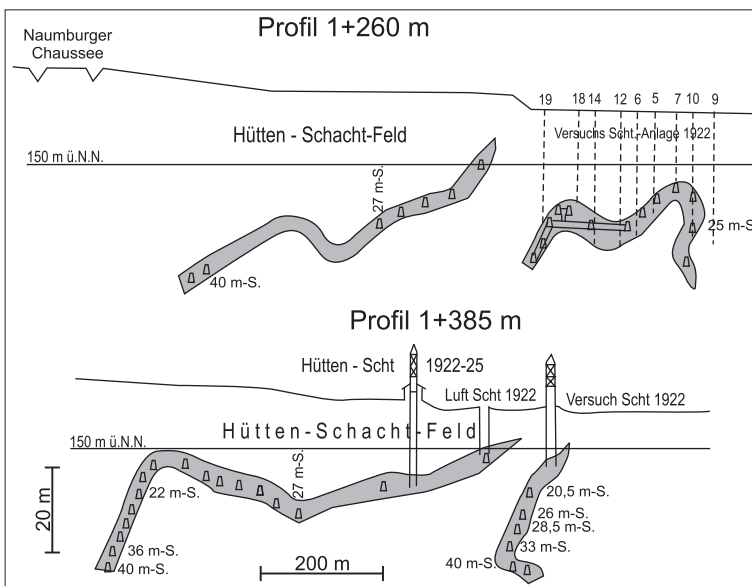
Osady miocenijskie na terenie Zielonej Góry opisywano także jako kry glaciektoniczne (Kotowski, Kraiński, 1986), jednak w świetle obecnie dostępnych danych należy je raczej uznać za fragmenty łusek. Osady te były przemieszczane przed czołem lądolodu lub też bezpośrednio pod nim i występują w formie ścięcia cylindrycznego (Jaroszewski, 1991). Występują one niekiedy bardzo płytko (lub wręcz na powierzchni terenu), są zatem często podłożem budowlanym (ryc. 3–6). Najczęściej występujące osady miocenijskie to typowe szare bądź szaroniebieskie ily formacji poznańskiej, rzadziej węgiel brunatny oraz ily zawęglone. Według Dyjora (1970) il zawęglony (nazy-

<sup>1</sup> Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra; a.gontaszewska@ib.uz.zgora.pl.



Ryc. 1. Blokdiagram morfologiczny Wału Zielonogórskiego (Gontaszewska, 2011)

Fig. 1. 3D graph of Zielona Góra Moraine (Gontaszewska, 2011)



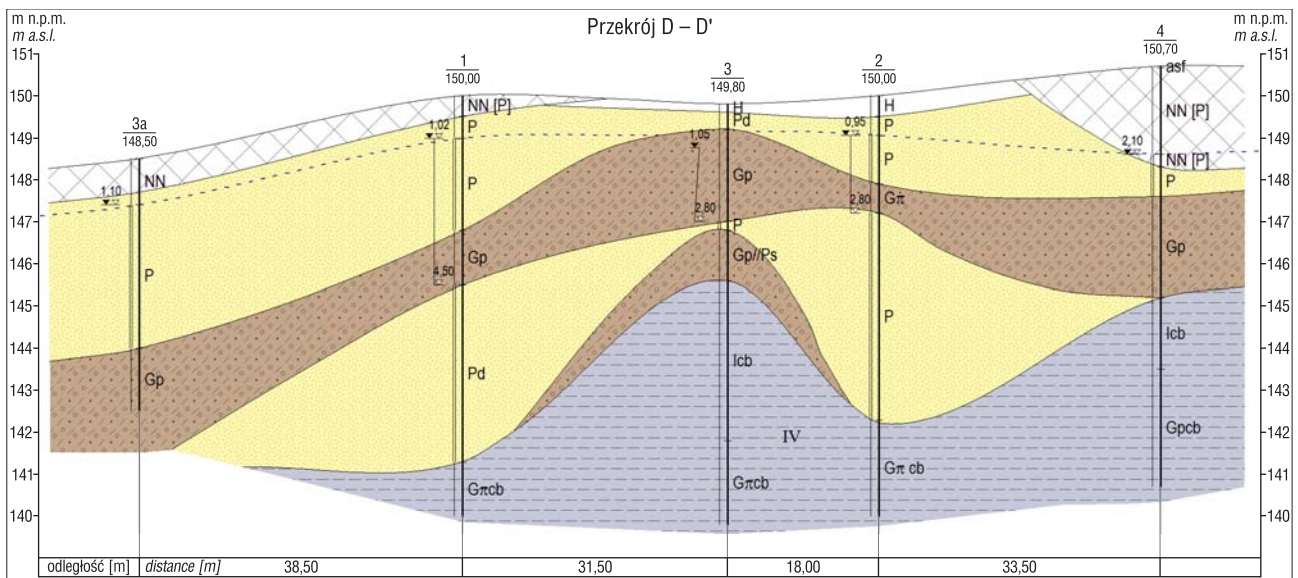
Ryc. 2. Odrisy zachowanych niemieckich przekrojów górniczych, pokłady eksploatowane szybami Hütten oraz Versuch, SW część Zielonej Góry (Szajna, Gontaszewska, 2015); Sch – szyb, ü.N.N. – n.p.m., 40 m-S – chodnik na głębokości 40 m

Fig. 2. Copy of original mining cross sections, beds exploited by Hütten and Versuch shafts, of SW part of Zielona Góra (Szajna, Gontaszewska, 2015); Sch – shaft, ü.N.N. – a.s.l., 40 m-S – gallery on the depth of 40 m

wany przez niego iłem brunatnym) jest częścią najniższego poziomu formacji (serii) poznańskiej – poziomu iłów szarych, które powstały w warunkach zatapiania bagien z okre-

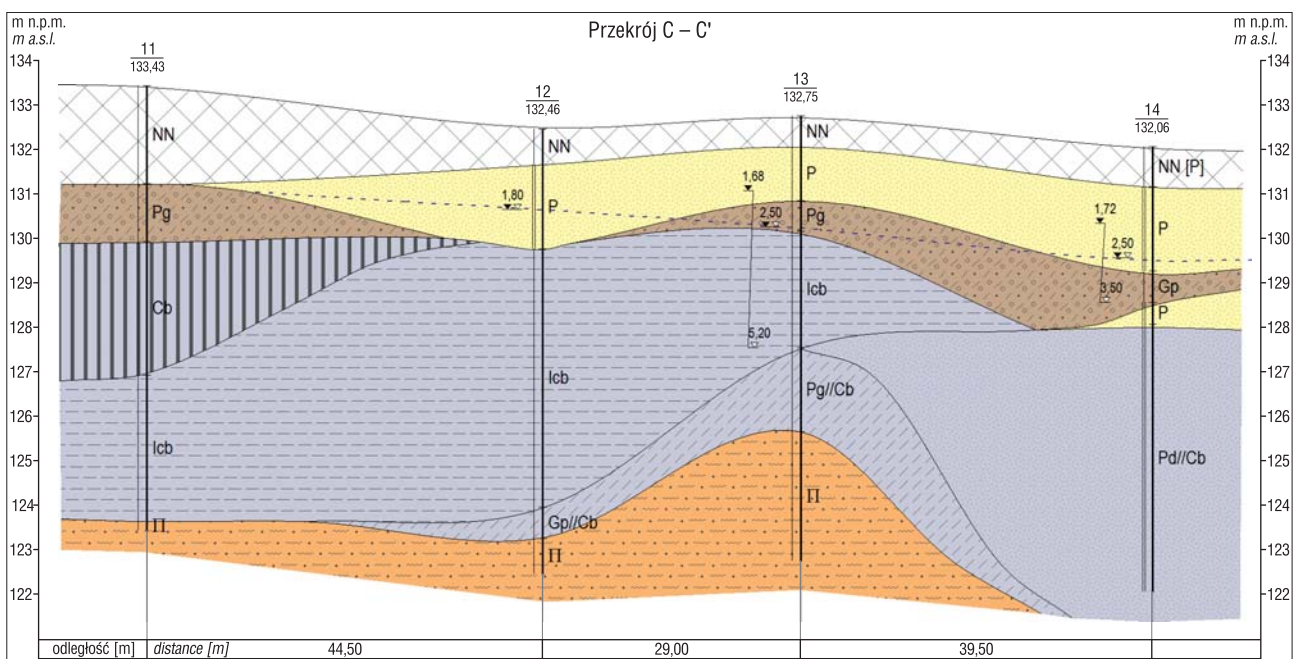
su tworzenia się torfowisk pokładu Henryk. Wiek tego pokładu oraz poziomu iłów szarych został określony na górny torton (miocen górny), m.in. datowaniami na terenie Raculi pod Zieloną Górą (Dyjur, 1970; Dyjur, Wróbel 1978). Nowsze prace określają wiek formacji poznańskiej w zachodniej Polsce na miocen środkowy (Szykiewicz, 2011).

Węgiel brunatny z okolic Zielonej Góry jest najczęściej klasyfikowany w dokumentacjach geotechnicznych i geologicznych jako grunt słabonośny, choć z reguły posiada on wystarczające parametry wytrzymałościowe do posadowienia typowych budynków, w tym wielokondygnacyjnych (Gontaszewska, 2011). Innym problematycznym gruntem jest ił zawęglony (ił z domieszką węgla brunatnego). W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, jakie wykonano na próbkach iłu pochodzącego z podłoża pięciu projektowanych różnych obiektów budowlanych oraz infrastrukturalnych zlokalizowanych na terenie miasta w rejonach ulic Waszczyka, Emilii Plater, Staszica, Węglowej oraz Osiedla Śląskiego. We wszystkich tych miejscach osady miocenne występują płytko, wykształcone jako iły bądź glina pylasta z domieszką węgla brunatnego. Tworzą one wyraźne fałdy. Często w stropie iłów występują gliny zwałowe sanu 1 (ryc. 3–5). Zdeformowane osady miocenne charakteryzują się ogromną zmiennością przestrzenną form struk-



**Ryc. 3.** Przekrój geologiczny z okolic ul. E. Plater w Zielonej Górze. H – gleba, NN – nasyp niekontrolowany, P – piaski, Gp – glina piaszczysta, Pg – piasek gliniasty, Gπ – glina pylasta, I – il, π – pył, Cb – węgiel brunatny, cb – zawęglony

**Fig. 3.** Geological cross-section from E. Plater Street in Zielona Góra. H – humus, NN – anthropogenic soil, P – sand, Gp – clay with silt and sand, Pg – sand with clay and silt, Gπ – clay with silt, I – clay, π – silt, Cb – lignite, cb – with lignite



**Ryc. 4.** Przekrój geologiczny z okolic ul. Staszica w Zielonej Górze. Oznaczenia jak na rycinie 3

**Fig. 4.** Geological cross-section from Staszica Street in Zielona Góra. For explanation see Fig. 3

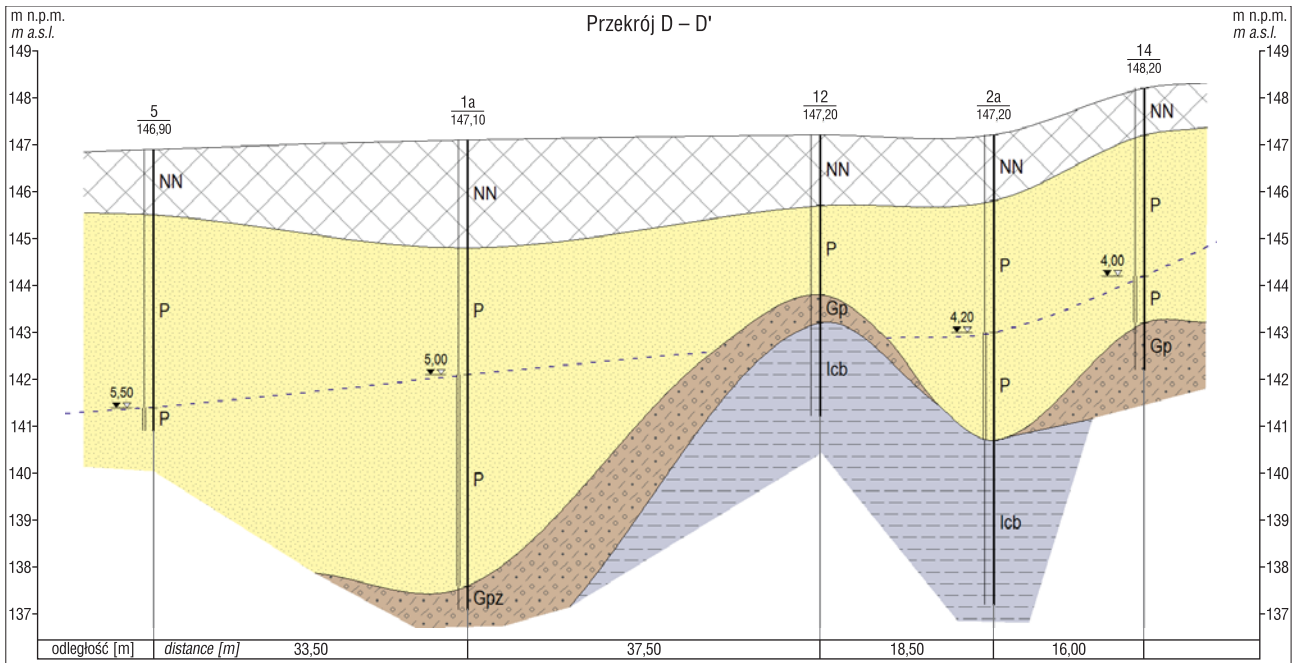
turalnych, także w zakresie upadu poszczególnych skrzydeł fałdów – aż do pionowych, co stwarza dodatkowe problemy projektowe (upad warstwy może być zgodny z potencjalną powierzchnią ścięcia w podłożu fundamentu).

### METODYKA BADAŃ

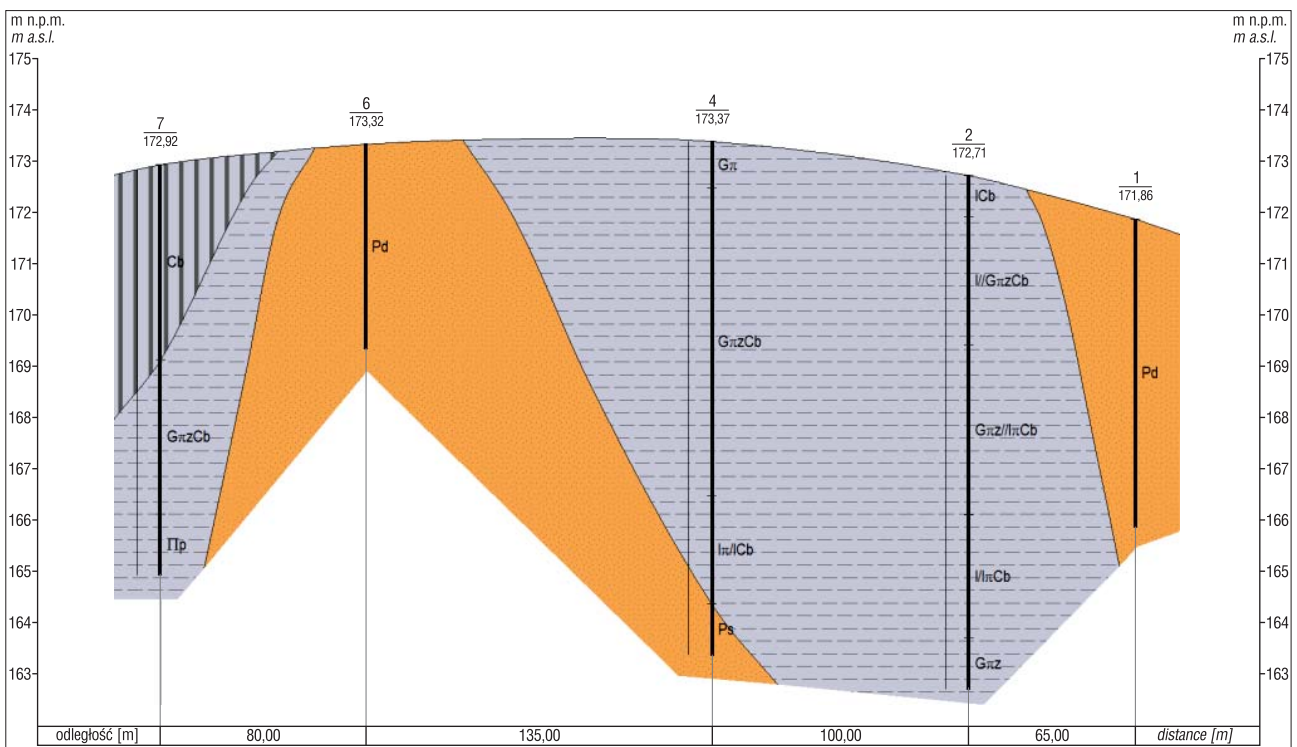
Prezentowane w artykule dane pochodzą z kilku opracowań geotechnicznych sporządzonych w latach 2009–2017 (m.in. Gontaszewska, 2009–2015). Il zawęglony poddawano standardowym badaniom geologiczno-inżynierskim, jednak ich zakres był różny dla poszczególnych lokalizacji ze względu na cele, dla których były wykonywane (pos-

dowanie budynku, wzmocnienie drogi, odwodnienie wykopu dla sieci kanalizacyjnej). Wykonano badania edometrycznych modułów ściśliwości, granic konsystencji, zawartości substancji organicznej oraz swobodnego pęcznienia. W ramach badań terenowych wykonano sondowania CPTu.

Każdą próbkę gruntu poddano standardowym badaniom makroskopowym, zgodnie z normą PN-EN ISO 14688:2006. Próbkę zaklasyfikowano zgodnie z normą PN-EN ISO 14688:2006 oraz PN-B-02480:1986. Badania edometrycznych modułów ściśliwości oraz pęcznienia zostały zrealizowane na próbkach gruntu kategorii A, zgodnie z normą PN-EN ISO 22475-1:2006, pozostałe – na próbkach kategorii B.



Ryc. 5. Przekrój geologiczny z okolic ul. Waszczyka w Zielonej Górze. Oznaczenia jak na rycinie 3  
 Fig. 5. Geological cross-section from Waszczyka Street in Zielona Góra. For explanation see Fig. 3



Ryc. 6. Przekrój geologiczny z okolic Osiedla Śląskiego w Zielonej Górze. Oznaczenia jak na rycinie 3  
 Fig. 6. Geological cross-section from Śląskie estate in Zielona Góra. For explanation see Fig. 3

Badania granic konsystencji oraz edometrycznych modułów ściśliwości przeprowadzono wg normy PN-EN ISO 17892: 2009, natomiast badania pęcznienia swobodnego wg Instrukcji ITB 296 (Myślińska, 1998). Badania zawartości substancji organicznej wykonano zgodnie z normą PN-B-04481:1988 metodą prażenia.

Dodatkowo w jednej z lokalizacji (Os. Śląskie) wykonano sondowania statyczne CPTu wg wytycznych normy PN-EN ISO 22476:2005 oraz PN-EN 1997-2:2009. Do badań zastosowano stożek piezoelektryczny o kącie rozwarcia 60°

i średnicy stożka 35,7 mm, z pomiarem ciśnienia porowego wody wywołanego zagłębieniem stożka. Pomiarów ciśnienia dokonywano w pozycji  $u_2$  (pomiędzy stożkiem a tuleją). Badania wykonano z użyciem siłownika o maksymalnym nacisku 100 kN, przy prędkości wciskania 2 cm/s.

## WYNIKI BADAŃ

Osady określone litogenetycznie jako łyły zawierające węgielny wygląd oraz stanem przypominają typowe łyły szare for-



Ryc. 7. Próbkki (E.Plater1) iłu zawęglonego, stan powietrzno-suchy. Fot. A. Gontaszewska-Piekarcz

Fig. 7. Lignite samples (E.Plater1), air-dried. Photo by A. Gontaszewska-Piekarcz

macji mioceńskiej, z wyjątkiem ciemnobrązowej, charakterystycznej barwy (ryc. 7). Z reguły były one pod względem granulometrycznym klasyfikowane wg normy PN-86/B-02480 jako glina pylasta, glina pylasta zwięzła lub ił z domieszką węgla brunatnego. Według PN-EN ISO 14688:2006 jest to ił z pyłem (rzadziej pył z iłem) oraz substancją organiczną (orsiCl, orclSi), która (pył węgla brunatnego) nie jest widoczna makroskopowo. Iły zawęglone z opisywanych lokalizacji były bardzo podobne makroskopowo, wszystkie występowały w stanie twardoplastycznym, w zakresie  $I_L = 0,1-0,24$ .

Próbkki iłu poddano badaniom laboratoryjnym oraz terenowym w celu określenia parametrów niezbędnych do zaprojektowania posadowienia m.in. kilku budynków wielorodzinnych.

Dla trzech lokalizacji wyznaczono zawartość części organicznych ( $I_{om}$ ), która jest podstawowym parametrem decydującym o właściwościach gruntów organicznych. Wszystkie próbkki charakteryzowały się zawartością części organicznych powyżej 2%, co zgodnie z PN-B-02480:1986 nakazuje sklasyfikować grunt jako organiczny. Zawartość ta jest dość zróżnicowana pomiędzy badanymi lokalizacjami i waha się od 3,7 do 17,1%. Ilość substancji organicznej (w tym wypadku pyłu węgla brunatnego) nie jest makroskopowo możliwa nawet do ogólnego oszacowania, gdyż próbkki pomimo zdecydowanie różnego udziału węgla nie różnią się barwą. Zawartości części organicznych przedstawiono w tabeli 1.

Najważniejszym parametrem z punktu widzenia prognozy reakcji podłoża na obciążenie, wyznaczonym w laboratorium, był edometryczny moduł ścisłości. Wykonano łącznie sześć takich oznaczeń. Na rycinie 8 pokazano przykładową krzywą ścisłości, a w tabeli 2 wyniki wartości edometrycznych modułów ścisłości dla wszystkich próbek, w tym po uwzględnieniu poprawek  $\chi'$  oraz  $\chi''$  wg Wiłuna (2001). Uzyskane wyniki mieszczą się w przedziale 1,99–15,00 MPa (2,49–36,75 MPa z uwzględnieniem poprawek  $\chi$ ). Są one w miarę zgodne z wynikami, jakie inni badacze uzyskali z iłów formacji poznańskiej zaburzonych glacitektonicznie z Zielonej Góry (np. Kotowski, Kraiński, 1992). Natomiast wartości edometrycznych modułów ścisłości, uzyskane drogą korelacji z sondowań CPTu (wykonane w innych lokalizacjach), są zdecydowanie wyższe, co wykazano w dalszej części pracy.

Warto zauważyć, że wartości uzyskane podczas badań edometrycznych w zdecydowanej większości znacznie odbiegają od tych zapisanych w normie PN-B-03020:1981,

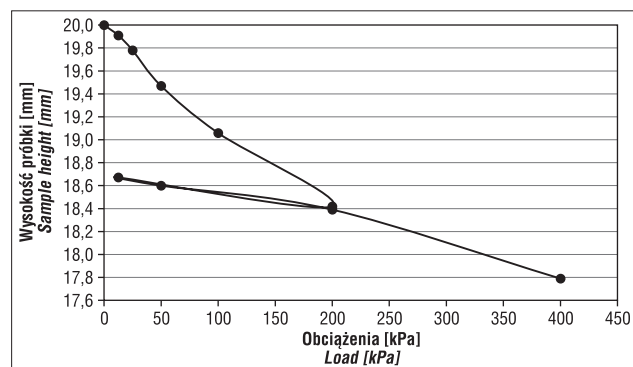
Tab. 1. Zawartość części organicznych ( $I_{om}$ ) oraz wilgotność naturalna iłu zawęglonego

Table 1. Contents of organic material ( $I_{om}$ ) and water of lignite clay

Próbkki Samples	Typ gruntu Soil type	$I_{om}$ [%]	Wilgotność naturalna Water content [%]
E.Plater1	GπCb	15,2	–
E.Plater2	GπCb	16,3	–
E.Plater3	ICb	17,1	–
Węglowa1	GπCb	11,5	–
Węglowa2	GπCb	10,3	–
Węglowa3	GπCb	10,7	–
Os.Śląskie2/1	I/ GπzCb	4,8	23,5
Os.Śląskie2/2	Gπz//IπCb	13,6	27,1
Os.Śląskie2/3	I/IπCb	4,6	24,8
Os.Śląskie4/1	GπzCb	4,9	26,8
Os.Śląskie4/2	GπzCb	5,7	26,7
Os.Śląskie4/3	Iπ//ICb	7,4	25,0
Os.Śląskie7/1	GπzCb	3,7	26,4
Os.Śląskie8/1	GπzCb	4,2	27,7
Waszczyka2a	ICb	–	27,8
Waszczyka3a	GπCb	–	26,1

która podaje dla iłów w stanie twardoplastycznym wartości edometrycznego modułu ścisłości w przedziale 22–39 MPa. Choć wartości te, ze względu na metodykę, nie mogą być bezpośrednio porównywane, to jednak można stwierdzić, że normowe mogą być zawyżone. Tymczasem, szczególnie w przypadku niewielkich inwestycji, bywają one bezkrytycznie przyjmowane do obliczeń konstrukcyjnych. Podobnie wygląda wartość wskaźnika skonsolidowania gruntu  $\beta$ , który według wymienionej normy powinien wynosić 0,8.

Dla jednej z próbek (Os. Śląskie2/1) wykonano pomiar pęcznienia swobodnego. Wskaźnik pęcznienia badany w próbie o wilgotności naturalnej (23,5%) wyniósł  $\epsilon_p = 5,63\%$ , co jest wartością niższą, niż zwykle notowane dla iłów formacji poznańskiej. Wartości wskaźnika pęcznienia tych iłów są zmienne w szerokim zakresie i zależne zarówno od składu mineralnego, jak i wilgotności początkowej. Badania iłów serii poznańskiej z terenu Warszawy wykazały wartości  $\epsilon_p$  w zakresie 2–53% (Wójcik, Gawriuczenkow, 2017). Iły mioceńskie z Zielonej Góry charakteryzują się



Ryc. 8. Krzywa ścisłości iłu zawęglonego z okolic ul. Waszczyka w Zielonej Górze, próbka Waszczyka2A

Fig. 8. Graph of compressibility of lignite clay from Waszczyka St. in Zielona Góra, sample Waszczyka 2A

**Tab. 2a.** Edometryczne moduły ścisłości pierwotnej  $M_0$  oraz wtórnej  $M$  iłu zawęglonego [MPa]  
**Table 2a.** Results of oedometer tests of clay with lignite [MPa]

Edometryczny moduł ścisłości <i>Oedometric consolidation modulus</i>	Zakres obciążeń <i>Load range</i> [kPa]	Próbka/typ gruntu <i>Sample/soil type</i>					
		Waszczyka2A ICb	Waszczyka3A GπCb	Staszica12 ICb	Staszica13 ICb	Staszica11 ICb	Staszica9 ICb
$M_0$	0,0–200	3,88	2,53	1,99	5,19	2,78	3,98
$M_0$	12,5–200	3,89	2,50	2,28	5,37	3,91	3,76
$M_0$	200–400	11,27	6,12	3,57	15,00	11,53	9,01
$M$	12,5–200	11,60	12,46	12,79	12,69	13,93	5,97
$\beta$	–	0,34	0,20	0,18	0,42	0,28	0,63

**Tab. 2b.** Edometryczne moduły ścisłości pierwotnej  $M_0$  oraz wtórnej  $M$  iłu zawęglonego [MPa] z uwzględnionymi poprawkami  $\chi$  wg Wiłuna, 2001

**Table 2b.** Results of oedometer tests of clay with lignite [MPa] with  $\chi$  corrections after Wiłun, 2001

Edometryczny moduł ścisłości <i>Oedometric consolidation modulus</i>	Zakres obciążeń <i>Load range</i> [kPa]	Próbka/typ gruntu <i>Sample/soil type</i>					
		Waszczyka2A ICb	Waszczyka3A GπCb	Staszica12 ICb	Staszica13 ICb	Staszica11 ICb	Staszica9 ICb
$M_0$	–	5,63	3,29	2,49	7,79	3,753	5,77
$M_0$	0,0–200	5,64	3,25	2,96	8,32	5,67	5,45
$M_0$	12,5–200	23,67	10,1	5,36	36,75	24,79	17,12
$M$	200–400	15,66	17,44	17,91	17,77	19,50	7,16
$\beta$	12,5–200	0,36	0,18	0,17	0,47	0,29	0,76

wysokim i bardzo wysokim stopniem ekspansywności (Kotowski, Kraiński, 1999). Jednak wskaźniki swobodnego pęcznienia iłów serii poznańskiej z okolic Zielonej Góry, wykazywane w różnego rodzaju dokumentacjach geotechnicznych i geologicznych, wynoszą zwykle ok. 8–10%.

W jednej z opisywanych lokalizacji (Osiedle Śląskie) wykonano również badania terenowe – sondowania statyczne CPTu. Przeprowadzono trzy sondowania do głębokości 9–10 m, w bliskiej okolicy wykonanych wcześniej odwier-

tów, zatem możliwa była weryfikacja rodzaju gruntu. Za pomocą analizy makroskopowej określono je jako iły, glina pylasta oraz glina pylasta zwięzła z węglem brunatnym wg normy PN-B-02480:1986. We wszystkich trzech przypadkach nie osiągnięto spągu osadów zawęglonych. Tworzą one w tym miejscu (widoczną m.in. w skarpie przekopu) wyraźną antyklinę.

Klasyfikacja gruntu na podstawie sondowania według różnych autorów (Robertsona, Schmertmanna, Douglasa

**Tab. 3.** Zestawienie parametrów wyznaczonych na podstawie sondowania CPTu wg PN-EN ISO 22476:2005

**Table 3.** Parameters of lignite clay determined from CPTu test after PN-EN ISO 22476:2005

Punkt sondowania <i>Sample</i>	Głębokość p.p.t. <i>Depth b.g.l.</i> [m]	Opór stożka <i>Cone resistance</i> $q_t$ [MPa]	Stopień plastyczności <i>Liquidity index</i> $I_L$	Kąt tarcia <i>Friction angle</i> $\varphi'$ [°]	Spójność <i>Cohesion</i> $c'$ [kPa]	Edometryczny moduł ścisłości pierwotnej $M_0$ <i>Primary oedometric consolidation modulus <math>M_0</math></i> [MPa]
Os. Śląskie2	0,2–0,8	1,5	0,23	22,8	15,6	12,1
	0,8–3,0	3,0	0,04	26,1	20,0	23,6
	3,3–6,6	4,9	0,00	26,6	20,5	40,0
	6,6–9,0	4,9	0,00	27,5	20,9	38,1
Os. Śląskie4	0,9–3,9	2,6	0,09	25,2	17,1	21,4
	3,9–6,9	4,6	0,00	27,5	17,8	36,6
	6,9–8,0	4,9	0,00	27,5	20,9	40,1
	8,0–9,0	6,3	<0,00	28,4	21,2	50,9
Os. Śląskie7	3,8–4,8	3,4	0,03	26,6	17,4	24,9
	4,8–6,0	2,8	0,06	24,7	19,0	22,6
	6,0–6,8	1,5	0,24	19,8	10,0	11,6

**Tab. 4.** Zestawienie średnich wartości wybranych parametrów iłów formacji poznańskiej (wg Kraińskiego, 2002) oraz iłów zawęglonych  
**Table 4.** Average values of some parameters of Formacja Poznańska clay (after Kraiński, 2002) and clay with lignite

Lokalizacja <i>Location</i>	Stopień plastyczności <i>Liquidity index</i> $I_L$	Wilgotność naturalna <i>Water content</i> [%]	Spójność <i>Cohesion</i> $c'$ [kPa]	Kąt tarcia wewnętrzny <i>Friction angle</i> $\varphi_u$ [°]	Edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej $M_o$ <i>Primary oedometric</i> <i>consolidation modulus</i> $M_o$ [MPa]
Iły formacji poznańskiej z Zielonej Góry <i>Clays of Poznań Formation from Zielona Góra</i>	0,08	29	61,1	14,3	6,4
Iły formacji poznańskiej zaburzone glacitektonicznie z regionu lubuskiego <i>Clays of Poznań Formation</i> <i>glaciotectonically deformed from Lubuskie</i> <i>region</i>	0,1	27,6	60	12,0	6,7
Iły zawęglone z terenu Zielonej Góry <i>Lignite clays from Zielona Góra</i>	0,16	26,19	–	–	5,53

oraz Olsena za PN-EN ISO 22476:2005, a także Sikory, 2006) jest zgodna i wskazuje na iły, ewentualnie iły i gliny pylaste.

W tabeli 3 podano parametry gruntów obliczone na podstawie korelacji z oporu stożka  $q_c$  oraz oporu tarcia na tulei  $f_s$  dla tych gruntów. Opór stożka był dość mały i wynosił 1,5–6,3 MPa, natomiast opór tarcia na tulei 100–200 kPa. Są to wartości typowe dla iłów i dużo wyższe (w szczególności  $f_s$ ) niż dla gruntów organicznych.

Parametry wyznaczone na podstawie sondowania statycznego różnią się od wyznaczonych laboratoryjnie, co jest widoczne m.in. w odniesieniu do edometrycznych modułów ściśliwości. Moduły wyznaczone z sondowania są wyższe o 100–200%. Zwraca uwagę wysoka wartość kąta tarcia wewnętrznego. Należy jednak pamiętać, że parametry te zostały wyznaczone na podstawie wzorów opartych na korelacji dla gruntów nie zawierających węgla brunatnego.

## WNIOSKI

Przedstawione w pracy właściwości iłów zawęglonych z terenu Zielonej Góry zbadano na podstawie kilkunastu próbek, wyniki mają więc charakter wstępny i niepełny. Brak jest jednak dotychczas w literaturze danych na temat tego specyficznego gruntu. Geotechniczne dane archiwalne z terenu miasta zawierają niekiedy opisy brunatnych iłów, iłów z humusem czy też z torfem, lecz są one trudne do weryfikacji.

Z przedstawionych powyżej danych wynika, że pomimo wysokiej zawartości części organicznych, ił zawęglony nie może być traktowany jak typowy grunt organiczny. Jego parametry geologiczno-inżynierskie są zbliżone z parametrami iłów formacji poznańskiej (tab. 4), ił zawęglony wykazuje również pewną ekspansywność.

Ił zawęglony, występujący dość często w podłożu różnych inwestycji budowlanych na terenie Zielonej Góry z pewnością jest gruntem nośnym dla budynków typowych, choć nie cechuje się wysokimi parametrami.

Należy jednak zwrócić uwagę na znaczny rozrzut wartości parametrów, co powoduje konieczność każdorazowego wykonywania przynajmniej podstawowych oznaczeń parametrów laboratoryjnie.

Nie powinno się (jak ma to często miejsce) przyjmować parametrów gruntów, drogą korelacji, z tabeli w nor-

mie PN/B-03020:1981, ponieważ zawarte w niej wartości dotyczą iłów bez domieszek organicznych.

Iły zawęglone z okolic Zielonej Góry zawsze występują w strukturach zaburzonych (zdeformowanych) glaciitektonicznie. Deformacje te powodują bardzo wysoką zmienność przestrzenną warunków gruntowych, zatem występowanie iłów zawęglonych czy też samego węgla brunatnego powinno prowadzić do zwiększenia zakresu badań laboratoryjnych dla danej inwestycji.

Wyniki uzyskane w zacytowanych badaniach edometrycznych oraz sondowaniach statycznych pozwoliły na bezpieczne posadowienie na terenie Zielonej Góry kilku budynków wielorodzinnych na fundamentach bezpośrednich. W przypadku skomplikowanej budowy geologicznej (dodatkowe występowanie węgla brunatnego, znaczne zróżnicowanie przestrzenne gruntów) czy też złożonej konstrukcji budynku konieczne jest wykonanie modelu numerycznego podłoża, który pozwoli na symulację współpracy podłoża z budynkiem.

Składam serdeczne podziękowania recenzentom – dr hab. Krystynie Chomie-Moryl oraz dr. hab. Pawłowi Dobakowi za cenne i merytoryczne uwagi.

## LITERATURA

- DYJOR S. 1970 – Seria poznańska w Polsce Zachodniej. Kwart. Geol., 14: 819–835.  
 DYJOR S., SADOWSKA A. 1977 – Problem wieku i korelacja górnomiocenijskich pokładów węgla brunatnych w Polsce Zachodniej. Geol. Sudet., 12 (1): 121–136.  
 DYJOR S., WRÓBEL I. 1978 – Rozwój formacji trzeciorzędowej i czwartorzędowej oraz surowce mineralne Ziemi Lubuskiej. Przew. 50. Zjazdu PTG. Wyd. Geol., Warszawa: 66–94.  
 GONTASZEWSKA A. 209–2015 Materiały niepublikowane: Dokumentacja geotechniczna działki przy ul. Waszczyka w Zielonej Górze, październik 2009; Dokumentacja geotechniczna działki przy ul. Emilii Plater w Zielonej Górze, marzec 2012; Dokumentacja geotechniczna terenu przy ul. Staszica w Zielonej Górze, styczeń–luty 2012; Dokumentacja badań podłoża gruntowego wraz z opinią geotechniczną projektowanej ulicy Aglomeracyjnej w Zielonej Górze, kwiecień 2015. Opracowania przekazane inwestorom.  
 GONTASZEWSKA A. 2011 – Węgiel brunatny jako podłoże budowlane – przykład Zielonej Góry. Biul. Państw. Inst. Geol., 446/2: 297–304.  
 GONTASZEWSKA A., KRAIŃSKI A. 2008 – Złoże węgla brunatnego na terenie gminy Świdnica, Wyd. UNIVERS-D.K.M., Zielona Góra.  
 JAROSZEWSKI W. 1991 – Rozważania geologiczno-strukturalne nad genezą deformacji glaciitektonicznych, Ann. Soc. Geol. Pol., 61: 155–206.  
 KASIŃSKI J.R. 2008 – Zasoby węgla brunatnego w Polsce – stan rozpoznania i podstawowe problemy. Konf. „Przyszłość górnictwa i energetyki opartej na węglu brunatnym w Polsce i Europie”. Mat. pokonf. Pań. Inst. Geol., Warszawa: 1–7.

- KOSTRZEWSKI A. 1967 – Morfologia zachodniej części Wału Zielonogórskiego. *Bad. fizjograf. nad Polską Zach.*, 19: 55–79.
- KOTOWSKI J., KRAIŃSKI A. 1986 – Kry glacitektoniczne w Wale Zielonogórskim, V<sup>th</sup> Glaci-tectonics Symposium. Wyd. WSI, Zielona Góra: 85–98.
- KOTOWSKI J., KRAIŃSKI A. 1992 – Analiza wskaźnika skonsolidowania gruntu w ilach serii poznańskiej zaburzonych glacitektonicznie na terenie Wału Zielonogórskiego. *Acta. Univer. Wratisl.*, 1354.
- KOTOWSKI J., KRAIŃSKI A. 1997a – Uwagi o budowie geologicznej Bramy Letnickiej. *Zesz. Nauk. PZiel.-Górs.*, 113: 49–63.
- KOTOWSKI J., KRAIŃSKI A. 1997b – Budowa geologiczna sandru Ochli. *Zesz. Nauk. PZiel.-Górs.*, 113: 15–24.
- KOTOWSKI J., KRAIŃSKI A. 1999 – Ekspansywność gruntów ilastych okolic Zielonej Góry. *Zesz. Nauk. PZiel.-Górs.*, 119: 153–159.
- MYŚLIŃSKA E. 1998 – Laboracyjne badania gruntów. PWN, Warszawa.
- PIWOCKI M. 1992 – Zasięg i korelacja głównych grup trzeciorzędowych pokładów węgla brunatnego na platformowym obszarze Polski. *Prz. Geol.*, 40 (5): 281–285.
- PN-B-02480:1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntów.
- PN-B-03020:1981 – Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PN-EN ISO 22476:2005 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe.
- PN-EN ISO 14688:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów.
- PN-EN ISO 22475-1:2006 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych – Część 1: Techniczne zasady wykonania.
- PN-EN ISO 17892:2009 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów.
- SIKORA Z. 2006 – Sondowanie statyczne. Metody i zastosowanie w geoinżynierii. WNT, Warszawa.
- SZAJNA W., GONTASZEWSKA A. 2015 – Shallow site investigation of Quaternary sands inside and in the vicinity of a sinkhole in the former lignite mining area in Zielona Góra (western Poland). *Geol. Quart.*, 59 (2): 347–357.
- SZYKIEWICZ A. 2011 – Wiek utworów neogenu w Zachodniej części Dolnego Śląska. [W:] Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Ciężkowski W. (red.), *Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska*. Wrocław: 11–18.
- URBAŃSKI K. 2002 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, arkusz Buchałów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WÓJCIK E., GAWRIUCZENKOW I. 2017 – Determination of swell index and swelling pressure from suction tests – a case study of Neogene clays from Warsaw (Poland), *Geol. Quart.*, 61 (4).
- WIŁUN Z. 2001 – Zarys geotechniki, Wyd. Kom. i Łącz., Warszawa.