

Weryfikacja wytycznych normowych dotyczących oznaczania zawartości części organicznych w gruntach organicznych metodą strat masy przy prażeniu

Mateusz Marut¹, Grzegorz Straż¹



M. Marut



G. Straż

Verification of standard guidelines for organic matter content determination in organic soils by the loss on ignition method. *Prz. Geol.*, 64: 918–924.

A b s t r a c t. The key feature of organic soils is the acquaintance of organic matter content, which determines the possibility of their classification and possible usefulness for building purposes. Information included in Eurocode 7 (PN-EN 1997-1:2008; PN-EN 1997-2:2009), new classification standards (14688-1, 2:2006) and specifications (PKN-CEN ISO/TS 17892:2009) are general and do not specify which method should be applied to determine organic matter content. Therefore, the loss on ignition method according to the Polish standard (PN-B-04481:1988) is often used in Poland, although the standard guidelines are not precise enough, because the temperature range suggested for soil roasting is wide, from 600°C to 800°C, and the time recommended for sample roasting is 4 hours and additionally from 3 to 4

hours. The ambiguity of standard conditions for tests was the basis for undertaking research in order to verify the influence of leading parameters, i.e.: temperature and time, on the results of roasting. The tests were conducted on organic soil samples. A number of tests were conducted for temperatures, from 550°C to 850°C and for different time periods from 3 to 9 hours. In total, 756 samples were tested in 63 testing series. The test results revealed that the only main parameter to decide about the outcome of a roasting test is temperature. This, in turn, has a practical meaning, as it enables the test procedure to be facilitated and the roasting process to be shortened.

Keywords: organic soil, warp, organic matter content, rate of ignition loss

Naturalną konsekwencją intensywnego rozwoju infrastruktury w Polsce jest wzrost zainteresowania lokalizowaniem obiektów budowlanych w bezpośrednim sąsiedztwie aglomeracji miejskich. Tereny sklasyfikowane jako nadające się do posadowienia bezpośredniego zostały w pierwszej kolejności wykorzystane przez przemysł oraz deweloperów, stając się obecnie dobrem deficytowym. Zaistniała więc konieczność lokalizowania budowli również na obszarach zalegania gruntów słabonośnych, w tym organicznych. Ten sam problem dotyczy inwestycji liniowych – drogowych czy kolejowych, których charakter nie pozwala na ominięcie terenów zlokalizowanych na gruntach organicznych. Projektowanie geotechniczne na tych obszarach wymaga szczególnie ostrożnego i indywidualnego rozpoznania parametrów podłoża (Straż, 2011a, b). Jest to podyktowane faktem, że właściwości gruntów organicznych zależą, oprócz ilości i rodzaju zawartej w nich substancji organicznej, od ich składu mineralnego (głównie od frakcji ilowej zawierającej minerały ilaste zaliczane do krzemianów warstwowych). Powoduje to, że ich ocena inżyniersko-geologiczna jest problemem bardziej złożonym niż w przypadku gruntów mineralnych (Myślińska, 2000, 2001).

Podstawowym parametrem klasyfikującym przynależność gruntu organicznego do określonego rodzaju jest zawartość części organicznych, zdefiniowana jako stosunek masy domieszek organicznych obecnych w próbce gruntu do masy jej szkieletu mineralnego, a ich ilość w przypadku gruntów organicznych jest większa niż 2%. Aktualnie w Polsce do celów inżynierskich są stosowane dwa kryteria klasyfikacyjne obejmujące grunty organiczne – opierające się na normie PN-B-02480:1986 oraz wytycznych zawartych w nowych normach: PN-EN ISO 14688-1:2006 i PN-EN ISO 14688-2:2006.

Klasyfikacja gruntów organicznych wg normy PN-B-02480:1986 przedstawia się następująco:

- grunty próchniczne (H) – grunty nieskaliste, w których obecność części organicznych będąca wynikiem vegetacji roślinnej oraz obecności mikroflory i mikrofauny przekracza 2%;
- namuły (Nm) – grunty powstałe na skutek osadzania się substancji mineralnych i organicznych w środowisku wodnym. W zależności od właściwości rozróżnia się dwa rodzaje namułów: piaszczyste (Nmp) o właściwościach gruntu niespoistego oraz gliniaste (Nmg) odpowiadające gruntem spoistym;
- gytie (Gy) – namuły z zawartością węgla wapnia przekraczającą 5%, który może wiązać szkielet gruntu, nadając mu cechy gruntu skalistego o niewielkiej wytrzymałości na ściskanie;
- torfy (T) – grunty powstałe z obumarłych i podlegających stopniowej karbonizacji części roślin, zawierające najczęściej powyżej 30% części organicznych;
- węgle brunatne (WB) i kamienne (WK) – grunty skaliste powstałe na skutek silnej karbonizacji substancji roślinnych.

Zasady oznaczania i klasyfikowania gruntów do celów inżynierskich ustalone w normie PN-EN ISO 14688-2:2006 upraszczają rozróżnienie gruntów organicznych, dokonując ich podziału na:

- niskoorganiczne – zawierające od 2 do 6% części organicznych;
- organiczne – zawierające od 6 do 20% części organicznych;
- wysokoorganiczne – zawierające powyżej 20% części organicznych.

¹ Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów; mateusz.marut@tlen.pl, gstraz@prz.edu.pl.

Analiza materiałów źródłowych dotyczących określania zawartości części organicznych w gruntach organicznych wykazała, że wytyczne normowe dotyczące klasyfikacji gruntów, powiązane z Eurokodem 7 (PN-EN 1997-1:2008; PN-EN 1997-2:2009), mają charakter informacyjny. Według normy PN-EN ISO 14688-2:2006 przyporządkowywanie gruntów do określonych grup następuje na podstawie ich składu, uwzględniającego zawartość części organicznych, ale nie zawiera ona informacji na temat metod oznaczania. Specyfikacje techniczne (PKN-CEN ISO/TS 17892:2009), precyzujące zasady większości badań laboratoryjnych próbek gruntu, również nie zawierają dokładnych i wiążących wytycznych. Bardziej szczegółowe informacje, zamieszczono w załączniku N.2.1 do Eurokodu 7 (PN-EN 1997-2:2009), lecz nie zaproponowano metody doboru wysokości temperatury do ustalenia zawartości części organicznych metodą strat masy przy prażeniu. Zawartość części organicznych oblicza się przy założeniu, że masa organiczna jest całkowicie spalana przy prażeniu, a utrata masy jest spowodowana jedynie spaleniem masy organicznej. Uwagi dotyczące oznaczania wielkości strat masy gruntu podczas prażenia (PN-EN 1997-2:2009) nakazują zachowanie szczególnej ostrożności podczas określania temperatury prażenia, np. z uwagi na to, że niektóre minerały ilaste mogą rozpadać się przy temperaturze ok. 550°C, woda związana chemicznie może zaniknąć przy znacznie niższych temperaturach, ponadto siarczki mogą się utleniać, a węglany rozpadać w zakresie temperatur 650–900°C. W analizowanym załączniku odniesiono się do przykładów, gdzie m.in. przyjęto temperaturę prażenia 440 ±25°C, jednocześnie umieszczając informację, że dla większości zastosowań właściwa jest temperatura prażenia równa 500 lub 520°C. Reasumując, w kontekście przykładów zaprezentowanych w normie PN-EN 1997-2:2009 (załącznik N.2.1), wysokość temperatury prażenia gruntu, mająca na celu usunięcie wyłącznie części organicznych z próbki, może być bardzo zróżnicowana w zależności od rodzaju występujących w gruncie minerałów czy związków chemicznych (65–900°C). Informacje dotyczące doboru wysokości temperatury przedstawione w Eurokodzie 7 mają charakter szczegółowy, ale tylko dla prezentowanych przykładów. Nie została zaproponowana generalna procedura postępowania w celu określenia temperatury prażenia właściwej dla gruntów, których przykłady nie obejmują. Konieczność rozpoznania składu mineralnego oraz obecności związków chemicznych rozpadających się w bardzo szerokim zakresie temperatur, wymagają zastosowania aparatury i analiz, które na chwilę obecną nie są powszechnie dostępne i wykorzystywane w praktyce inżynierskiej.

W Polsce, w celu określania zawartości części organicznych w gruntach do celów inżynierskich, jedną z praktykowanych jest metoda normowa (PN-B-04481:1988) opierająca się na ustalaniu strat masy gruntu podczas prażenia. Zaproponowana w polskiej normie procedura postępowania jest dokładna, wątpliwości budzi szeroki zakres dopuszczalnych temperatur (600–800°C). Istniejąca niejednoznaczność zadecydowała o podjęciu badań w celu zweryfikowania wpływu wiodącego parametru testu, jakim jest temperatura prażenia, na uzyskiwane wartości zawartości części organicznych. Czas testu z perspektywy uzyskanych wartości jest czynnikiem nieistotnym, gdyż proces odbywa się do osiągnięcia stałej masy próbki, ale w

zależności od wysokości temperatury może mieć on różną długość trwania. W związku z powyższym przeanalizowano również możliwość prażenia gruntu w różnych czasookresach w pełnym zakresie przyjętych temperatur, mając na uwadze optymalizację procesu oznaczania zawartości części organicznych w gruncie. Ze względu na obszerność materiału statystycznego, zbiór wyników badań podzielono na dwie grupy, uwzględniając czasy prażenia: podstawowy (3, 4, 5 godz.) oraz podstawowy z dodatkowym (3 + 3; 3 + 4; 4 + 3; 4 + 4; 5 + 3; 5 + 4 godz.).

POZYSKANIE MATERIAŁU BADAWCZEGO ORAZ METODOLOGIA BADAŃ

Poligon badawczy zlokalizowano na terenie kampusu Politechniki Rzeszowskiej, który jest położony w zapadlisku przedkarpaccim, na skraju pradoliny rzeki Wisłok. Badania przeprowadzono na próbkach naturalnych gruntu organicznego (namuł gliniasty), o strukturze naruszonej, klasy A2 (PN-EN 1997-2:2009), które pobrano z wydzielonej na podstawie odwiertów próbnych warstwy geotechnicznej. Głębokość zalegania spągu warstwy lokalnie występujących gruntów organicznych (namulów) ustalono na 6,5 m p.p.t. a jej miąższość wahała się od 0,3 do 2,4 m. Zaobserwowano występowanie wody w gruncie w postaci sączeń o dużym nasileniu na głębokości od 0,3 do 2,4 m p.p.t. (Geo-Mar, 1999, 2001). W warunkach laboratoryjnych pozyskany materiał gruntowy dokładnie wymieszano w celu zapewnienia jednorodności, a następnie wysuszono do stałej masy w temperaturze 105–110°C. Kolejnymi etapami prac przygotowawczych było mechaniczne rozdrobnienie materiału do badań, wyeliminowanie części gruntu większych niż 0,25 mm oraz ponowne dokładne wymieszanie. Tak przygotowany materiał poddawano prażeniu, mając na celu określenie zawartości części organicznych, przez określenie strat masy podczas prażenia.

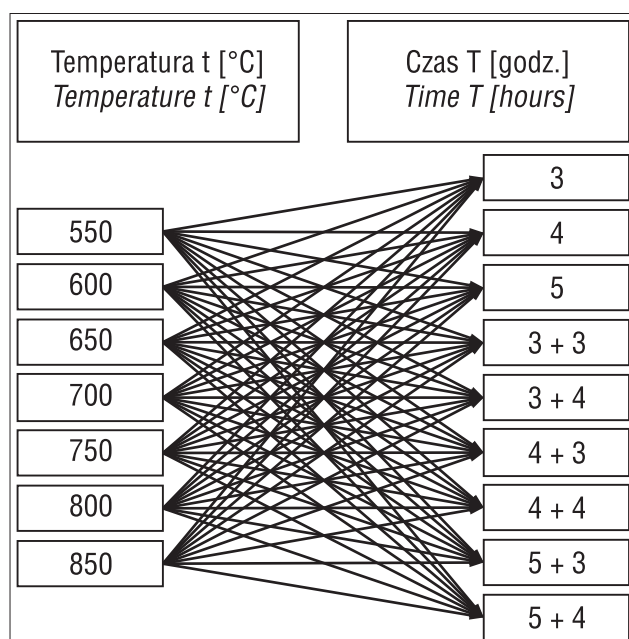
Wielkości strat podczas prażenia obliczono, stosując wzór normowy [1] (PN-B-04481:1988):

$$I_z = \frac{m_{st} - m_u}{m_{st} - m_t} 100\% \quad [1]$$

gdzie:

I_z – procentowa zawartość strat przy prażeniu,
 m_{st} – masa tygielka z próbką gruntu wysuszonego do stałej masy [g],
 m_u – masa tygielka z próbką gruntu wyprażonego do stałej masy [g],
 m_t – masa wyprażonego tygielka [g].

Ustalenie wpływu temperatury na wielkość zawartości części organicznych wymagało szczegółowego zaplanowania badań, przygotowania odpowiedniej ilości materiału badawczego i przeprowadzenia wystarczającej liczby testów. Planując badania, zastosowano własną modyfikację wytycznych, polegającą na rozszerzeniu programu badań o dodatkowe wartości temperatur prażenia, wykraczające poza zalecenia normowe. Zakres zalecanych temperatur rozszerzono z 600–800°C do 550–850°C ze stopniowaniem co 50°C (Marut, 2014). Badania przeprowadzono, stosując wszystkie kombinacje siedmiu wartości temperatury i dziewięciu czasów prażenia, zgodnie ze schematem przedstawionym na rycinie 1. Zaproponowane badania



Ryc. 1. Schemat obrazujący kombinacje podstawowych parametrów testu: temperatury i czasu

Fig. 1. Diagram showing the combination of the main test parameters: temperature and time

wykonano na zbiorze próbek podzielonych na 63 serie, z których każda obejmowała 12 próbek o masie ok. 10g.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Podczas eksperymentu poddano badaniu w sumie 756 próbek gruntu organicznego. Wielkość strat masy gruntu przy prażeniu w odniesieniu do wszystkich zastosowanych temperatur i czasów przedstawiono w postaci wartości uśrednionych w tabeli 1.

Analizę statystyczną uzyskanych wyników zainicjowano przez ścisłą weryfikację materiału statystycznego, przeprowadzając weryfikację błędów grubych, która miała na celu sprawdzenie, czy w próbie występują wyniki badań obciążone takim błędem, ponieważ należy je wyeliminować z dalszych analiz. Do weryfikacji wykorzystano test Q-Dixona, zakładając zgodnie z Eurokodem 0 (PN-EN 1990:2014), że prawdopodobieństwo wynosi 95%. Wartości pozostałych parametrów testu weryfikacyjnego przyjęto na podstawie tablic i uwag zawartych w materiałach źródłowych (Zajac, 1994).

Tab. 1. Wartości średnie strat masy przy prażeniu uzyskane dla wszystkich zastosowanych temperatur i czasów prażenia
Table 1. Average values of the rate of ignition loss for all temperatures and periods applied for roasting

Czas T [godz.] Time T [hours]	3	4	5	3 + 3	3 + 4	4 + 3	4 + 4	5 + 3	5 + 4
Temperatura t Temperature t [°C]	Wielkość strat masy przy prażeniu I_z The rate of ignition loss I_z [%]								
550	7,69	7,98	7,91	7,55	7,83	7,60	7,44	7,75	7,52
600	7,97	7,70	8,01	7,85	7,79	7,88	8,24	7,88	8,00
650	8,04	8,23	8,06	9,00	7,89	8,72	9,11	8,93	9,09
700	8,88	10,15	10,23	10,09	10,29	9,67	10,00	9,73	10,36
750	9,30	9,62	10,05	9,09	9,39	9,88	10,33	10,27	10,33
800	10,39	9,64	9,81	10,39	10,39	10,42	10,43	10,52	10,47
850	10,74	10,81	10,41	10,72	10,74	10,72	10,75	10,68	10,75

W celu przeprowadzenia sprawdzenia wyniki badań uszeregowano w ciąg niemalejący i obliczono zmienną losową tego testu Q , korzystając ze wzoru [2]:

$$Q = \frac{|X_w - X_s|}{R} \quad [2]$$

gdzie:

Q – wartość zmiennej losowej rozpatrywanego testu,

X_w – wynik wątpliwy,

X_s – wynik sąsiadujący z wynikiem wątpliwym,

R – rozstęp – różnica wyniku najwyższego i najniższego.

Wynik uznawano za wątpliwy i odrzucano, jeżeli przy założonym wcześniej prawdopodobieństwie, wartość zmiennej losowej Q była większa niż wartość parametru krytycznego Q_{kr} . W przypadku sytuacji odwrotnej, czyli kiedy $Q > Q_{kr}$, wynik przyjmowano jako element próby. Weryfikacja nie wykazała pojawienia się błędów grubych w badaniu, zatem wszystkie rezultaty zostały uwzględnione w dalszej części analizy statystycznej. Przykład weryfikacji jednej z serii badawczych przedstawiono w tabeli 2.

Poszukiwany parametr w postaci zawartości części organicznych odpowiadający stratom masy gruntu przy prażeniu, pozostaje w pewnej zależności z zadawanymi parametrami testu (zmiennymi): temperaturą i czasem, dlatego podjęto działania mające na celu potwierdzenie istnienia możliwych zależności oraz określenie siły ewentualnych związków. Analizę wstępną dla dwóch zmiennych przeprowadzono, wykorzystując metody regresji i korelacji. Regresja jest pomocna przy opisie związku pomiędzy cechami testu, natomiast korelacja określa siłę związku między nimi. Do wyznaczenia siły związku wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona [3], będący ilorazem kowariancji zmiennych x i y do iloczynu ich odchyłeń standardowych (Zajac, 1994):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad [3]$$

gdzie:

r_{xy} – współczynnik korelacji liniowej Pearsona,

x_i – zmienna pierwsza,

y_i – zmienna druga.

Tab. 2. Przykład weryfikacji błędów grubych testem Q-Dixona na przykładzie serii próbek wyprażanych w temperaturze 800°C przez 3 godziny

Table 2. An example of the verification of gross errors under the Q-Dixon test on the example of a series of samples roasted at a temperature of 800°C during 3 hours

Warunki testu: Test conditions:		Temperatura: $t = 800^{\circ}\text{C}$ Temperature: $t = 800^{\circ}\text{C}$		Czas wyprażania: $T = 3$ godz. Time of roasting: $T = 3$ hours	
X_w	$ X_w - X_s $	R	Q	Q_{kr}	Element próby Element of test
10,16	0,07	0,50	0,140	0,546	Tak / Yes
10,23	0,02	0,50	0,040	0,546	Tak / Yes
10,25	0,07	0,50	0,140	0,546	Tak / Yes
10,32	0,00	0,50	0,000	0,546	Tak / Yes
10,32	0,07	0,50	0,140	0,546	Tak / Yes
10,39	0,01	0,50	0,020	0,546	Tak / Yes
10,40	0,03	0,50	0,060	0,546	Tak / Yes
10,43	0,01	0,50	0,020	0,546	Tak / Yes
10,44	0,08	0,50	0,160	0,546	Tak / Yes
10,52	0,03	0,50	0,060	0,546	Tak / Yes
10,55	0,11	0,50	0,220	0,546	Tak / Yes
10,66	0,11	0,50	0,220	0,546	Tak / Yes

Tab. 3. Analiza zależności dwóch zmiennych (czas T , temperatura t) na wielkość strat masy przy prażeniu

Table 3. Analysis of correlation of the influence of two variables (time T , temperature t) on the rate of ignition loss

Zmienne Variables	Podstawowy czas prażenia Basic time of roasting $\alpha = 0,05; n = 21$					Dodatkowy czas prażenia Additional time of roasting $\alpha = 0,05; n = 42$				
	$r_{x,y}$	t_{obl}	$t_{\alpha}(\alpha; n)$	Hipoteza Hypothesis	Zależność Relationship	$r_{x,y}$	t_{obl}	$t_{\alpha}(\alpha; n)$	Hipoteza Hypothesis	Zależność Relationship
$T(x)$	0,08	0,35	2,08	H_0	nieistotna insignificant	0,09	0,57	2,02	H_0	nieistotna insignificant
$t(y)$	0,91	9,57	2,08	H_1	istotna significant	0,94	16,0	2,02	H_1	istotna significant

Istotność zależności korelacyjnej sprawdzono testem parametrycznym, który polega na postawieniu i sprawdzeniu dwóch hipotez [4]:

$$H_0 : [\rho = 0] \text{ oraz } H_1 : [\rho \neq 0] \quad [4]$$

gdzie:

ρ – współczynnik korelacji całej zbiorowości.

Wykorzystując rozkład t-Studenta, przyjmowano wartość krytyczną statystyki $t_{\alpha}(\alpha; n)$ zależną od poziomu istotności i ilości stopni swobody, a wartość statystyki t ustalono, korzystając ze wzoru [5]:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad [5]$$

W sytuacji, gdy wartość statystyki t była większa od wartości krytycznej statystyki $t_{\alpha}(\alpha; n)$, odrzucano hipotezę zerową H_0 na rzecz hipotezy alternatywnej H_1 . Współczynnik korelacji jest istotny, co świadczy o silnej zależności pomiędzy cechami. Wyniki analizy istotności zależności zawartości części organicznych od zmiennych zaprezentowano w tabeli 3.

Sprawdzając testem parametrycznym zależność dla temperatury w obydwu przypadkach, odrzucono hipotezę zerową H_0 na rzecz hipotezy alternatywnej H_1 , co oznacza, że występuje silna zależność pomiędzy zawartością części organicznych a temperaturą prażenia. W odniesieniu do czasu wyniki obliczeń wykazały nieistotność zależności.

Mając na uwadze wyniki wstępnej analizy statystycznej, która wykazała, że parametrem mającym decydujący wpływ na wyniki prażenia jest temperatura, w kolejnym etapie analiz metodą korelacji i regresji podjęto próbę ustalenia wpływu wyłącznie tej zmiennej na wartości uzyskane metodą strat masy przy prażeniu. Rezultaty analiz przeprowadzonych indywidualnie dla wszystkich zastosowanych czasów prażenia zaprezentowano w tabelach 4, 5 i 6.

Tab. 4. Wyniki wpływu istotnej zmiennej (temperatury) na wielkość strat masy przy prażeniu dla poszczególnych czasów określone metodą korelacji

Table 4. Results of the impact of the essential variable (temperature) on the rate of ignition loss for each periods determined with a correlation method

Czas [godz.] (x) Time [hours] (x)	$\alpha = 0,05; n = 7$				
	$r_{x,y}$	t_{obl}	$t_{\alpha}(\alpha; n)$	Hipoteza Hypothesis	Zależność Relationship
3	0,97	8,922	2,365	H_1	istotna significant
4	0,89	4,365	2,365		
5	0,88	4,143	2,365		
3+3	0,92	5,249	2,365		
3+4	0,90	4,617	2,365		
4+3	0,98	11,12	2,365		
4+4	0,96	7,667	2,365		
5+3	0,97	8,922	2,365		
5+4	0,94	6,161	2,365		

Tab. 5. Wyniki statystyki regresji i analizy wariancji
Table 5. Results of regression statistics and of the analysis of variance

Czas [godz.] Time [hours]	Statystyki regresji Regression statistics					Analiza wariancji Analysis of variance					
	R	R ²	Dopasowany R ² Well-fitting R ²	Błąd standard Standard error	n	Parametry Parameters	df	SS	MS	F	Istotność F Significance F
3	0,973	0,947	0,937	0,302	7	Regresja Regression	1	8,305	8,305	90,896	0,0002
4	0,890	0,792	0,750	0,595	7	Regresja Regression	1	6,762	6,762	19,086	0,0072
5	0,874	0,765	0,718	0,613	7	Regresja Regression	1	6,119	6,119	16,284	0,0099
3+3	0,919	0,845	0,814	0,530	7	Regresja Regression	1	7,696	7,696	27,347	0,0033
3+4	0,895	0,802	0,763	0,646	7	Regresja Regression	1	8,503	8,503	20,351	0,0063
4+3	0,983	0,967	0,961	0,240	7	Regresja Regression	1	8,691	8,691	150,28	0,000064
4+4	0,960	0,921	0,906	0,382	7	Regresja Regression	1	8,613	8,613	58,974	0,0006
5+3	0,970	0,941	0,929	0,325	7	Regresja Regression	1	8,481	8,481	79,833	0,0003
5+4	0,935	0,875	0,850	0,505	7	Regresja Regression	1	8,994	8,994	35,261	0,0019

R – wielokrotność; R² – współczynnik determinacji; n – liczba obserwacji; df – poziom istotności swobody; SS – sumy kwadratów; MS – średnie kwadraty; F – wartość statystyki F

R – multiple; R² – coefficient of determination; n – number of observations; df – significance level of freedom; SS – sum of squares; MS – mean squares; F – value of F statistic

Tab. 6. Wyniki wpływu istotnej zmiennej (temperatury) na wielkość strat masy przy prażeniu dla poszczególnych czasów określone metodą regresji

Table 6. Results of the impact of the essential variable (temperature) on the rate of ignition loss for each periods determined with a regression method

Analiza regresji: Regression analysis:		Współczynniki Ratios	Błąd standardowy Standard error	Wartość statystyki t Value of t statistic	Wartość-p p-value
Czas podstawowy Basic time	Przecięcie Intersection	1,6880	0,9076	1,8597	7,93E-02
	Temperatura Temperature	0,0100	0,0010	9,4996	1,96E-08
	Czas Time	0,1050	0,1292	0,8124	4,27E-01
Czas dodatkowy Additional time	Przecięcie Intersection	1,6880	0,9076	1,8597	7,93E-02
	Temperatura Temperature	0,0100	0,0010	9,4996	1,96E-08
	Czas Time	0,1050	0,1292	0,8125	4,27E-01

Wnioski z analizy wpływu jednej zmiennej – temperatury – na otrzymane wartości dla wszystkich zastosowanych czasów są następujące:

– najwyższa z wartości obliczonych współczynników determinacji R² to wartość 0,9678, a najniższa 0,7651. Oznacza to, że na zmianę zawartości części organicznych temperatura miała wpływ maksymalnie w 96,78%, a minimalnie w 76,51%;

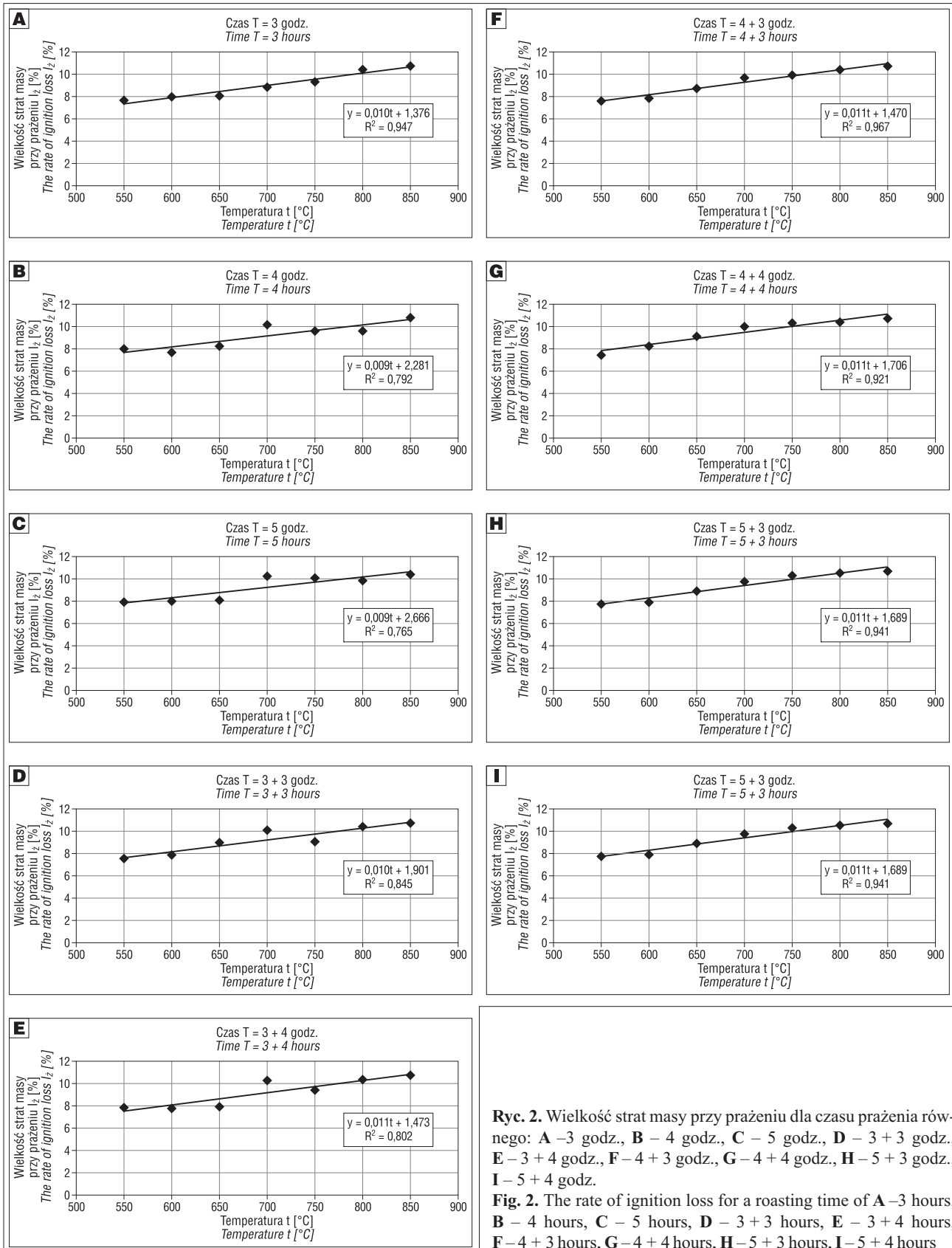
– wartości statystyki F wyniosły od 9,99E-03 do 6,39E-05, potwierdzając istotność zależności pomiędzy zawartością części organicznych a temperaturą;

– wartości współczynnika istotności p miały zawierały się w przedziale od 4,27E-01 do 1,96E-08, świadcząc o statystycznej istotności parametru, jakim jest temperatury prażenia.

Wyniki badań regresji jednej zmiennej – temperatury – przedstawiono w postaci wykresów regresji prostej dla wszystkich zastosowanych czasów prażenia (ryc. 2A–I).

Badania wykazały wysoki stopień dopasowania oraz potwierdziły, że przyrostowi temperatury prażenia towarzyszy wzrost uzyskanych wartości strat masy gruntu przy prażeniu. Decydującym parametrem jest temperatura, gdyż zmienność uzyskanych wyników w każdym z analizowanych przypadków w ok. 80% można wyjaśnić zmiennością temperatury prażenia, co potwierdzają zapisy Eurokodu 7 (PN-EN 1997-2; zał. N.2.1), gdzie czas nie jest uwzględnianym czynnikiem.

Analizując wykresy (ryc. 2A–I), zaobserwowano, że wielkość strat masy uzyskana podczas prażenia stabilizuje się dla temperatur od 700 do 850°C. Natomiast w niższych



Ryc. 2. Wielkość strat masy przy prażeniu dla czasu prażenia równego: **A** – 3 godz., **B** – 4 godz., **C** – 5 godz., **D** – 3 + 3 godz., **E** – 3 + 4 godz., **F** – 4 + 3 godz., **G** – 4 + 4 godz., **H** – 5 + 3 godz., **I** – 5 + 4 godz.

Fig. 2. The rate of ignition loss for a roasting time of **A** – 3 hours, **B** – 4 hours, **C** – 5 hours, **D** – 3 + 3 hours, **E** – 3 + 4 hours, **F** – 4 + 3 hours, **G** – 4 + 4 hours, **H** – 5 + 3 hours, **I** – 5 + 4 hours

temperaturach przyrost strat jest znacznie bardziej gwałtowny, a o obecności innych procesów (niż wyłącznie spalanie substancji organicznych) może świadczyć fakt, że przy zastosowanych temperaturach w zakresie znacznie szerszym niż zalecenia normowe, nie osiągnięto definitywnego ustabilizowania strat masy.

Mając na uwadze optymalizację procesu oznaczania zawartości części organicznych metodą strat masy podczas prażenia w odniesieniu wyłącznie do wytycznych normowych (PN-B-04481:1988), stwierdzono, że jest to możliwe przez zastosowanie maksymalnie wysokiej temperatury prażenia w czasie skróconym do minimum. Badania wyka-

zały, że uśredniona wielkość strat masy podczas prażenia, wynosząca 10,39%, została uzyskana przez prażenie gruntu organicznego przez 3 godziny w temperaturze 800°C, natomiast przy maksymalnie (trzykrotnie) wydłużonym do 9 godzin (5 + 4) czasie, wartość ta była bardzo zbliżona i wynosiła 10,47%. Dodatkową korzyścią może być możliwość przeprowadzenia testu jednoetapowo, przyjmując na podstawie prezentowanych wyników, że straty masy w proponowanym czasie osiągną stałą wartość.

PODSUMOWANIE

Określenie zawartości części organicznych w gruncie organicznym jest elementem niezbędnym zarówno do oceny ich właściwości inżyniersko-geologicznych, jak i do celów klasyfikacyjnych. W nawiązaniu do nieścisłości zawartych w wytycznych normowych dotyczących metodologii prowadzenia badań, podjęto działania mające na celu weryfikację jednego ze sposobów określania zawartości części organicznych metodą strat masy gruntu przy prażeniu wyłącznie wg zaleceń normy PN-B-04481:1988. Przeprowadzone analizy sugerują pewien pogląd na przebieg procesu, lecz nie rozwiewają w pełni wątpliwości związanych z oznaczaniem zawartości części organicznych w gruncie z uwagi na procedurę, która nie uwzględnia składu mineralnego czy zawartości związków chemicznych, mogących mieć wpływ na końcowy rezultat oznaczeń. Niniejsze opracowanie może być jednak przyczynkiem do dalszych badań uwzględniających w coraz większym stopniu zalecenia zawarte w Eurokodzie 7, które rozszerzyłyby analizę o wpływ składu mineralnego czy problematykę uwalniania związków chemicznych wskutek wygrzewania. W przypadku gruntów organicznych, które często ze względu na ich charakterystyczne właściwości (wysoką ściśliwość i niską wytrzymałość w stosunku do gruntów mineralnych) są traktowane jako grunty zupełnie pozbawione nośności. Rzadko są prowadzone szczegółowe i kompleksowe badania laboratoryjne, co powoduje że niewiele laboratoriów badawczych ma wystarczające doświadczenie w ich badaniu (Myślińska, 2001) oraz dysponuje odpowiednią aparaturą badawczą. Dlatego, zdaniem autorów, konieczne jest przygotowanie kompletnej i jednoznacznej procedury badawczej, która zapewne będzie wymagać wielokierunkowych, długotrwałych badań z wykorzystaniem zaawan-

sowanej technologicznie aparatury oraz metod analizy. Ze względu na dostępność i stopień skomplikowania mogą one aktualnie wykraczać poza zakres typowych badań prowadzonych do celów inżynierskich, ale są zasadne z uwagi na ważność problematyki, której dotyczą.

Autorzy pragną podziękować Recenzentom za merytoryczne i cenne uwagi dotyczące publikacji.

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej w Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza (U-196/DS).

LITERATURA

- GEO-MAR sp. z o.o. 1999 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska pod budowę Domu studenckiego nr 2 przy ulicy Poznańskiej w Rzeszowie. Rzeszów.
- GEO-MAR sp. z o.o. 2001 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska pod budowę pływalni stanowiącej I etap inwestycji p.n. „Centrum Sportowo-dydaktyczne” dla Politechniki Rzeszowskiej przy ulicy Poznańskiej w Rzeszowie. Rzeszów.
- MARUT M. 2014 – Wpływ temperatury prażenia z uwzględnieniem czynnika czasu na wartości liczbowe zawartości części organicznych w gruntach organicznych. [Praca magisterska]. Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska.
- MYSLIŃSKA E. 2000 – Laboratoryjne badania gruntów. PWN, Warszawa.
- MYSLIŃSKA E. 2001 – Grunty organiczne i laboratoryjne, metody ich badania. PWN, Warszawa.
- PKN-CEN ISO/TS 17982-1-12:2009. Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1-12.
- PN-B-02480:1986. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-04481:1988. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PN-EN 1990:2014. Eurokod 0. Podstawy projektowania konstrukcji.
- PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- STRAŻ G. 2011a – O niektórych problemach związanych z określaniem parametrów geotechnicznych gruntów organicznych. [W:] Bzówka J. (red.), Badania i analizy wybranych zagadnień z budownictwa. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice: 141–150.
- STRAŻ G. 2011b – Parametry wytrzymałościowe rzeszowskich namulów i torfów. Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- ZAJĄC K. 1994 – Zarys metod statystycznych. Państw. Wyd. Ekonom., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 29.04.2015 r.
Akceptowano do druku 3.02.2016 r.