

BADANIE WILGOTNOŚCI GRUNTU METODĄ MIKROFALOWĄ

Anna Gołębiewska, Mieczysław Połośki, Mariusz Witkowski

Streszczenie: Artykuł przedstawia badania, dotyczące możliwości zastosowania kuchenki mikrofalowej do oznaczenia wilgotności gruntów niespoistych oraz mało i średnio spoistych. Zaletą tej metody jest niski koszt kuchenki (około 75–100 euro), powszechna jej dostępność na rynku, krótki czas oznaczenia wynoszący od 2 do 5 minut, prostota procedury oznaczenia i doskonała korelacja z wynikami uzyskiwanymi metodą normową, suszarkową. Badania wykonano na 19 reprezentatywnych gruntach mineralnych spoistych i niespoistych. W każdym gruncie oznaczenia wilgotności wykonano w pełnym zakresie wilgotności – od stanu powietrznie suchego do stanu płynnego. Określono równania regresji uzależniające wilgotność z metody suszarkowej od wilgotności oznaczonej metodą mikrofalową, w grupach gruntów i dla wszystkich gruntów łącznie. Uzyskano współczynniki korelacji we wszystkich równaniach praktycznie równe jedności, potwierdzające doskonałą zgodność wyników wilgotności oznaczonej tymi dwiema metodami. We wnioskach podano również uwagi metodyczne, umożliwiające powszechne stosowanie metody mikrofalowej do oznaczeń wilgotności w warunkach polowych, w laboratoriach budowlanych.

Słowa kluczowe: wilgotność gruntu, metoda mikrofalowa

WSTĘP

Podstawową właściwością fizyczną gruntu jest jego wilgotność, od której zależy wiele innych istotnych parametrów i charakterystyk gruntu, takich jak: wytrzymałość na ścinanie, ściśliwość, zagęszczalność, stan gruntu, gęstość objętościowa. Oznaczenie wilgotności można wykonywać różnymi metodami, przy czym najczęściej stosowaną w laboratoriach polskich i zachodnich jest metoda suszarkowa. Czas potrzebny do wykonania oznaczenia zależy od rodzaju gruntu i wynosi od kilku do kilkunastu godzin. W niektórych przypadkach, np. podczas kontroli wilgotności gruntu wbudowywanego w nasyp, normowy czas oczekiwania na wynik oznaczenia wilgotności metodą suszarkową okazuje się zbyt długi. Podejmowane były próby zastosowania innych metod oznaczania wilgotności, skracające czas oczekiwania na wynik, jednakże żadna z tych

prób nie uzyskała w Polsce statusu powszechnego zastosowania potwierdzonego zapisem normowym.

W niniejszym artykule przedstawiona zostanie kolejna propozycja – zastosowanie kuchenki mikrofalowej do oznaczenia wilgotności gruntów niespoistych oraz mało i średnio spoistych. Zaletą tej metody jest niski koszt kuchenki (około 75–100 euro), powszechna jej dostępność na rynku, krótki czas oznaczenia wynoszący od 2 do 5 minut, prostota procedury oznaczenia i doskonała korelacja z wynikami uzyskiwanymi metodą normową, suszarkową.

POJĘCIE WILGOTNOŚCI

Wilgotność gruntu określa zawartość wody w porach gruntu w odniesieniu do jego suchej masy. W gruncie występują różne postaci wody: woda tworząca sieć krystaliczną minerałów, woda związana i woda wolna. W geotechnice istotna jest zmienna zawartość tych rodzajów wody, które mają bezpośredni wpływ na inne charakterystyki gruntów – fizyczne i mechaniczne; należą do nich przede wszystkim woda związana i częściowo woda wolna.

Woda związana jest połączona z powierzchnią cząstek gruntu dzięki siłom oddziaływania międzycząsteczkowego, tzw. siłom Van der Waalsa, oraz poprzez przyciąganie elektrostatyczne i wiązania wodorowe. Nie podlega siłom grawitacyjnego przyciągania. Wyróżnia się: wodę silnie związaną, adsorbowaną (tzw. wodę higroskopijną), wodę słabo związaną (tzw. wodę błonkową) i wodę zawieszoną w pionowych kanalikach gruntowych (tzw. wodę włoskową, kapilarną) [Myślińska 1998].

Pojęcie wilgotności obejmuje zawartość w gruncie wody związanej i wody wolnej. Łączną ich zawartość określa się przez suszenie gruntu w suszarce w temperaturze 105–110°C. W normach badań laboratoryjnych zachodnich i polskiej temperatura ta została uznana za wystarczającą do usunięcia z gruntu całej wody wolnej i większości wody związanej. Grunt niespoisty suszony w temperaturze 105–110°C, w czasie kilku (5–6) godzin traci całą wodę wolną i związaną. W gruncie spoistym, aby spowodować prawie całkowite usunięcie wody związanej, wydłuża się czas suszenia do kilkudziesięciu (24) godzin. Nie jest możliwe podwyższenie temperatury, gdyż spowoduje to rozkład substancji organicznej, stanowiącej częstą domieszkę gruntów, co przyczyni się do błędnego zawyżenia wyniku oznaczenia wilgotności. W niektórych gruntach nawet suszenie w temperaturze 105–110°C może powodować błędne wyniki; są to grunty, które tracą część wody krystalizacyjnej w temperaturze niższej od 105°C, lub grunty silnie organiczne, w których w tej temperaturze może następować częściowy rozkład masy organicznej. Norma ASTM D 2216-90 zaleca suszenie gruntów zawierających gips lub dużą ilość części organicznych w temperaturze 60°C lub w ekssykatorze w temperaturze pokojowej.

Uwzględniając powyższe uwagi, w celu uzyskiwania porównywalnych wyników oznaczania wilgotności w większości laboratoriów na świecie przyjęta została temperatura suszenia gruntu 105–110°C.

METODY OZNACZANIA WILGOTNOŚCI

Najczęściej stosowaną metodą oznaczania wilgotności gruntu jest – we wszystkich laboratoriach geotechnicznych – metoda suszarkowa.

Podjęmowano próby opracowania innych metod oznaczania wilgotności, szczególnie w warunkach polowych, gdzie oczekiwany jest szybki wynik oznaczenia. Poniżej przedstawione zostaną niektóre z metod oznaczania wilgotności gruntu.

Metoda suszarkowa

Badanie polega na pobraniu próbki gruntu o danej wilgotności (grunt w stanie naturalnym – jeśli określamy wilgotność naturalną, lub w stanie dowolnym, jeśli określa się wilgotność prognozowaną, będącą oznaczeniem pomocniczym do wyznaczenia innych właściwości gruntu takich, jak np. granice konsystencji – wilgotność optymalna) i o odpowiedniej masie.

Według normy polskiej PN-88/B-04481 minimalne masy gruntu do oznaczenia wilgotności wynoszą: 500 g dla gruntów gruboziarnistych (żwiry, pospółki), 50 g dla piasków i pyłów, 30 g dla pozostałych gruntów drobnoziarnistych (gliny, ility).

Według ASTM D 2216-90 minimalna masa gruntu niezbędna do oznaczenia wilgotności zależy od wymiaru największego ziarna w próbce gruntu i od oczekiwanej dokładności oznaczenia wilgotności; wymaganą masę podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagana masa gruntu do oznaczeń wilgotności według ASTM D 2216-90

Table 1. Recommended minimum mass of moist test specimen for water content

Maksymalny wymiar ziarna (100% gruntu przechodzi przez sito) Maximum particle size (100% passing) [mm]	Oczekiwana dokładność oznaczenia wilgotności Recommended minimum mass of moist test specimen for water content reported	
	0,1%	1%
2 lub less	20 g	20 g
4,75	100 g	20 g
9,5	500 g	50 g
19	2,5 kg	250 g
37,5	10 kg	1 kg
75	50 kg	5 kg

Próbka gruntu jest suszona w suszarce do stałej wagi. Po wyjęciu z suszarki próbka jest schładzana w ekzykatorze w obecności silnie absorbującego parę wodną bezwodnego chlorku wapnia, zabezpieczającego przed wchłanianiem przez gorącą próbkę gruntu wilgoci z powietrza.

Wilgotność gruntu określa się według wzoru:

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} \cdot 100\% = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\%$$

gdzie: w – wilgotność gruntu [%],

m – masa gruntu wilgotnego [g],

m_s – masa gruntu wysuszonego do stałej wagi, w temperaturze 105–110°C [g],

m_w – masa wody zawartej w próbce gruntu [g].

Metoda radiometryczna (izotopowa)

Metoda izotopowa wykorzystuje zjawisko spowolnienia i rozproszenia neutronów prędkich wysyłanych przez źródło promieniowania przez jądra atomów wodoru zawartych w gruncie. Ponieważ szkielet gruntowy zawiera nieznaczną liczbę atomów wodoru, stąd o zjawisku spowolnienia i rozproszenia decyduje wodór zawarty w wodzie; im więcej w gruncie jest wody, tym większą liczbę neutronów zarejestruje detektor. Dobłą zgodność wyników badań izotopowych i klasycznych uzyskano przy przeprowadzaniu kontroli zagęszczenia warstw ochronnych rdzenia zapory w Tresnej [Wolski 1973]. Wadami tej metody są: pracochłonność cechowania układu pomiarowego oraz niezbędne uprawnienia do pracy z izotopami osób prowadzących pomiar.

Metoda karbidowa

Pomiar polega na wykorzystaniu reakcji chemicznej karbidu z wodą zawartą w gruncie. Podczas reakcji wydziela się gaz, którego ilość zależy od wilgotności gruntu. Ciśnienie gazu jest miarą wilgotności gruntu. Czas pomiaru nie przekracza 10 minut, a dokładność wynosi około 0,5%. Metoda karbidowa może być stosowana do oznaczania wilgotności gruntów spoiwych i niespoiwych nie zawierających frakcji żwirowych i grubszych [Wolski 1973, Rolla 1985].

Metoda destylacji toluenem

Mendoza i Orozco (1999) podjęli próby określenia wilgotności gruntu metodą destylacji toluenem, spalania alkoholem lub bezpośredniego podgrzewania. Jak podają autorzy, metoda destylacji toluenem jest skomplikowana i daje wyniki mało dokładne; w metodach spalania alkoholem i bezpośredniego podgrzewania również ze względu na brak możliwości kontroli temperatury w próbce gruntu poddanej badaniu wyniki wilgotności są na ogół zawyżone z powodu przesuszenia gruntu.

Metoda mikrofalowa

Zasada oznaczenia wilgotności gruntu metodą mikrofalową jest taka sama jak metodą suszarkową z tą różnicą, że do usunięcia wody z gruntu zamiast suszarki używa się kuchenki mikrofalowej. W kuchence mikrofalowej wytwarzane są mikrofały, które w bardzo krótkim czasie wywołują podgrzanie znajdującego się w nich produktu. Mikrofały są to fale elektromagnetyczne, które są formą energii podobną do fal radiowych, telewizyjnych oraz świetlnych. Są one emitowane przez wszystkie przedmioty martwe oraz organizmy żywe występujące na ziemi. Fale te rozchodzą się na zewnątrz, przekraczają atmosferę i znikają bez żadnego efektu. Konstrukcja kuchenki mikrofalowej umożliwia wykorzystanie mikrofal do wytworzenia ciepła. W kuchence następuje zamiana energii elektrycznej na promieniowanie mikrofalowe poprzez magnetron i fale są wysyłane do komory grzewczej przez otwory w ściankach kuchenki.

Mikrofałe prawie bez strat przenikają szkło, porcelanę oraz ceramikę. Ulegają rozbiciu, a następnie rozproszeniu tylko w przypadku metali. Ze względu na ten fakt ścianki kuchenki mikrofalowej są metalowe, natomiast w skład ich wyposażenia wchodzi głównie elementy szklane i ceramiczne. Mikrofałe nie powodują podgrzewania naczyń i dlatego ciepło służące do podgrzania produktu nie pochodzi z naczynia jak w przypadku metod tradycyjnych. W kuchenkach mikrofalowych ciepło w podgrzewanych produktach powstaje w wyniku tarcia drgających i ocierających się o siebie cząsteczek wody, tłuszczu oraz cukru. Wytwarzana podczas tego procesu para wodna jest odprowadzana na zewnątrz przez wywietrzniki.

Pierwsze próby zastosowania kuchenki mikrofalowej do oznaczania wilgotności gruntu podejmowane były w latach 70. w Wielkiej Brytanii i w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Badania były wykonywane na różnych rodzajach gruntów spoistych i niespoistych przy użyciu kuchenek o różnych charakterystykach z zastosowaniem zmiennego czasu suszenia [Hagerty i in. 1990]. W wyniku tych badań opracowana została norma ASTM D 4643-87, opisująca procedurę wykonania oznaczenia wilgotności przy użyciu kuchenki mikrofalowej.

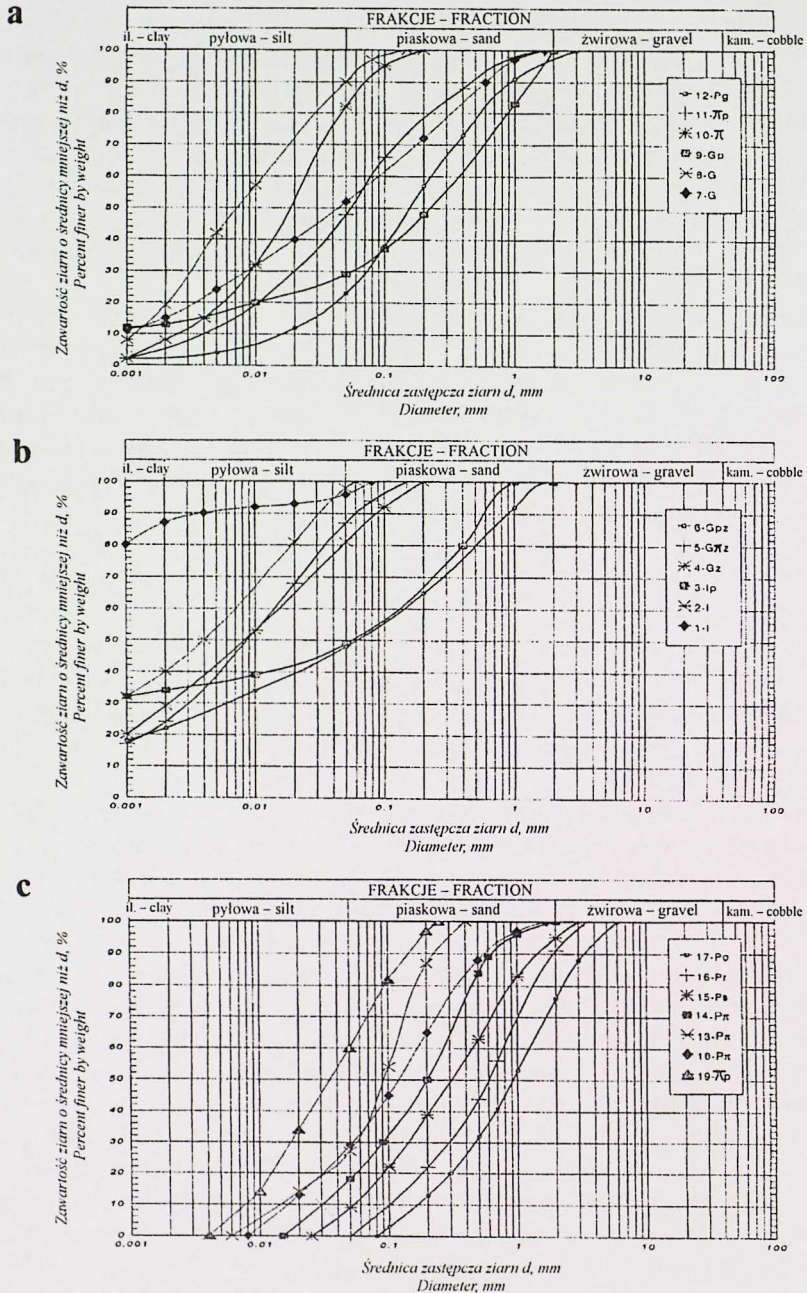
METODYKA BADAŃ

Do badań zastosowano standardową kuchenkę mikrofalową typu MS-1907C, produkcji koreańskiej. Kuchenkę charakteryzują następujące dane techniczne: zasilanie 230 V, AC, 50 Hz, moc wyjściowa 800 W, częstotliwość fal 2450 MHz, zużycie prądu 1250 W, pojemność 40 dm³.

W metodzie tradycyjnej stosowano suszarkę produkcji polskiej typu KBC G-100/250 z wewnętrznym obiegiem powietrza. Oznaczenie wilgotności metodą suszarkową wykonano zgodnie z procedurą podaną w polskiej normie PN-88/B-04481. Masa próbek wynosiła od 30 do 500 g, zależnie od rodzaju gruntu. Próbkki były suszone od 8 do 24 godzin do pierwszego kontrolnego ważenia. Kolejne kontrolne ważenia następowały po dalszym godzinnym suszeniu. Każdorazowo przed ważeniem wyjęte z suszarki próbki były schładzane w eksykatorze w obecności bezwodnego chlorku wapnia.

Przed rozpoczęciem zasadniczych badań, mających na celu porównanie wilgotności oznaczonej dwiema metodami, wykonano badania metodyczne z zastosowaniem kuchenki mikrofalowej. Badania miały na celu określenie niezbędnego czasu suszenia próbek i określenie wymaganej masy próbki. Badania wykonano na pięciu rodzajach gruntów spoistych (po jednym z każdej grupy spoistości: piasek gliniasty, pył, glina, glina zwięzła, ił) i jednym gruncie niespoistym (piasek średni). Krzywe uziarnienia gruntów przedstawiono na rysunku 1, a zawartość frakcji w badanych gruntach podano w tabeli 2 i na rysunku 2.

Każdy grunt doprowadzano do stanu płynnego (do wilgotności odpowiadającej w przybliżeniu granicy płynności). W pierwszej serii badań, w trakcie suszenia w kuchenke mikrofalowej, próbki kontrolnie ważono co 1 minutę w zakresie od 1 do 10 minut. Wyniki oznaczeń wilgotności zestawiono w tabeli 3 i na rysunku 3.



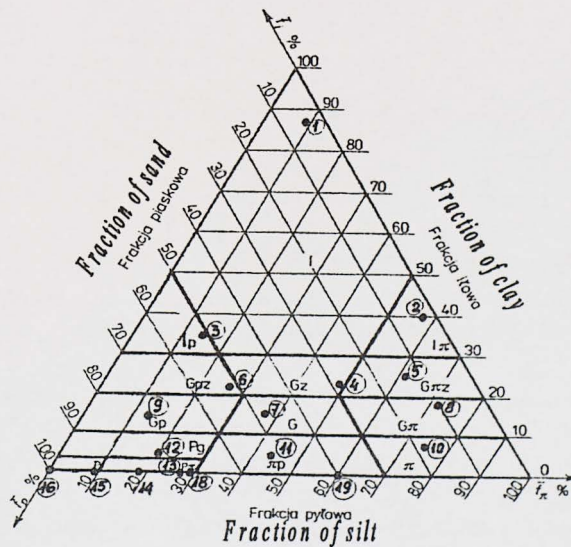
Rys. 1. Krzywe uziarnienia badanych gruntów: a – grunty 7–12 według tabeli 2, b – grunty 1–6 według tabeli 2, c – grunty 13–19 według tabeli 2

Fig. 1. Grain size distribution of the tested soils: a – soils 7–12 by table 2, b – soils 1–6 by table 2, c – soils 13–19 by table 2

Tabela 2. Zawartość frakcji w badanych gruntach

Table 2. Distribution of selected granulometric fractions in the tested soils

Nr gruntu Number of soil	Rodzaj gruntu Type of soil	f_i	f_{π}	f_p	f_z
1	ił – clay	87	9	4	0
2	ił pylasty – silty clay	40	57	3	0
3	ił piaszczysty – sandy clay	34	15	51	0
4	głina zwięzła – clay loam	29	49	22	0
5	głina pylasta zwięzła – silty clay loam	24	72	14	0
6	głina piaszczysta zwięzła – sandy clay loam	22	36	52	0
7	głina – loam	15	37	48	0
8	głina pylasta – silty loam	19	71	10	0
9	głina piaszczysta – sandy loam	13	16	71	0
10	pył – silt	8	74	18	0
11	pył piaszczysty – sandy silt	5	43	52	0
12	piasek gliniasty – slightly clayey sand	3	20	77	3
13	piasek pylasty – silty sand	0	27	73	0
14	piasek pylasty – silty sand	0	18	82	0
15	piasek średni – medium sand	0	9	86	5
16	piasek gruby – coarse sand	0	0	91	9
17	pospółka – sandy gravel	0	0	76	24
18	piasek pylasty (popiół) – fine sand (ash)	0	29	71	0
19	pył piaszczysty (popiół) – silty sand (ash)	0	60	40	0



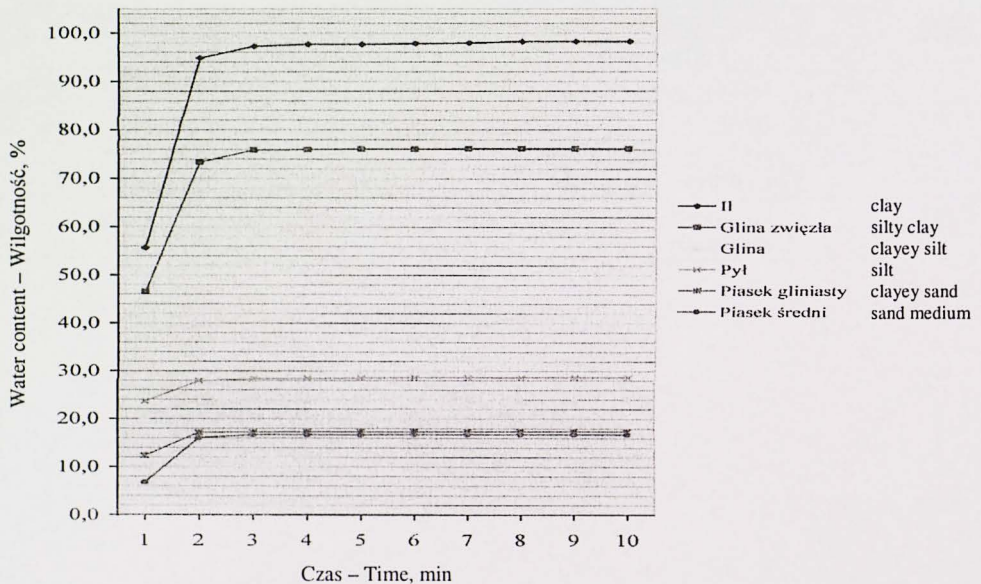
Rys. 2. Trójkąt Fereta z badanymi gruntami (numery odpowiadają liczbom porządkowym w tabeli 2)

Fig. 2. Feret's ternary diagram for tested soil (numbers according to table 2)

Tabela 3. Wyniki wilgotności gruntu oznaczonej metodą mikrofalową w zależności od czasu suszenia

Table 3. Soil water content against time of drying in microwave oven

Rodzaj gruntu Type of soil (look at Fig. 3)	Wilgotność [%], przy czasie suszenia [min] Water content [%], against time of drying [min]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il	55,69	94,85	97,26	97,69	97,69	97,84	97,98	98,27	98,27	98,27
Gлина zwięzła	46,58	73,35	75,89	76,00	76,00	76,10	76,20	76,20	76,20	76,20
Gлина	20,55	23,83	23,99	23,99	24,04	24,09	24,09	24,14	24,14	24,14
Pył	23,66	27,93	28,48	28,48	28,59	28,64	28,64	28,70	28,70	28,70
Piasek gliniasty	12,33	17,18	17,32	17,32	17,34	17,37	17,40	17,40	17,40	17,40
Piasek średni	6,77	16,06	16,71	16,71	16,74	16,76	16,76	16,76	16,76	16,76



Rys. 3. Zależność wilgotności gruntu od czasu suszenia w kuchence mikrofalowej

Fig. 3. Soil water content against time of drying in microwave oven

W gruntach niespoistych, mało spoistych i średnio spoistych stabilizacja masy następowała po 3 minutach suszenia, dalszy niewielki spadek masy przy suszeniu w ciągu 10 minut nie przekraczał 0,8% wartości bezwzględnej wilgotności, co stanowiło nie więcej niż 2,9% wartości oznaczonej wilgotności. W gruntach spoistozwięzłych i bardzo spoistych próbka uzyskiwała stałą masę po 4 minutach suszenia, przy dalszym suszeniu w czasie 10 minut, wartość dodatkowego zmniejszenia wilgotności nie przekraczała 0,6%, co stanowiło nie więcej niż 0,6% wartości oznaczanej wilgotności. Do dalszych badań przyjęto czas suszenia próbek w mikrofalówce równy 4 minutom.

W drugiej serii badań zmieniano masę próbek. Grunty mało spoiste i niespoiste suszono w próbkach o masie 20, 50, 100 g. Grunty średnio spoiste, spoiste zwarte i bardzo spoiste suszono w próbkach o masie 10, 30, 60 g. Wyniki oznaczeń zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki wilgotności gruntu oznaczonej metodą mikrofalową w zależności od masy próbki
Table 4. Water content determined by microwave oven method against mass of soil sample

Rodzaj gruntu Type of soil (look at Fig. 3)	Wilgotność [%], przy masie próbki [g] Water content [%], against mass of soil sample [g]					
	10	20	30	50	60	100
II	94,10		92,62		92,04	
Gлина звязла	69,03		68,36		67,97	
Gлина	24,09		23,66		23,43	
Pył		28,85		28,61		28,47
Piasek gliniasty		17,93		17,91		17,79
Piasek średni		16,98		16,98		16,89

Widoczne jest, że zmiana masy próbki w zakresie 10–100 g nie ma znaczącego wpływu na wartość oznaczanej wilgotności. Różnice wilgotności oznaczonej na próbkach o masie zalecanej przez normę PN-88/B-04481 i innych masach stosowanych w badaniach nie przekraczają w wartościach bezwzględnych 1,5%, a w wartościach względnych (w stosunku do wilgotności określonej na próbkach o masie normowej) 1,8%, zatem różnice względne są dużo mniejsze niż dopuszcza norma w stosunku do trzech wymaganych oznaczeń wilgotności dla tej samej próbki (5%). Suszenie w kuchenke mikrofalowej próbek o zbyt małej masie może powodować ich przesuszenie i zawyżenie wartości oznaczanej wilgotności. W dalszych badaniach stosowano masę próbek zalecaną przez normę PN-88/B-04481.

Badania zasadnicze, porównujące metodę suszarkową z metodą mikrofalową, wykonywano zgodnie z normą PN-88/B-04481, za wyjątkiem czasu suszenia, który w metodzie mikrofalowej wynosił 4 minuty. Każde oznaczenie wilgotności wykonywano na trzech próbkach. Badania przeprowadzono na 19 gruntach mineralnych i jednym organicznym. Każdy grunt mineralny przygotowano w sześciu stanach uwilgotnienia od powietrznie suchego do płynnego w gruntach spoistych i nawodnionego w gruntach niespoistych. Zwiększanie wilgotności następowało przez dodanie odpowiedniej ilości wody destylowanej do gruntu, staranne wymieszanie gruntu z wodą i pozostawienie na 1 dobę w celu równomiernego uwilgotnienia całej masy gruntu.

Do badań przyjęto po jednym gruncie mineralnym z każdego rodzaju, według PN-86/B-02480, dwa grunty antropogeniczne z osadów poflotacyjnych zbiornika Żelazny Most i jeden grunt organiczny – torf średnio rozłożony. Uziarnienie gruntów mineralnych przedstawiono w tabeli 2, na rysunkach 1 i 2.

ANALIZA WYNIKÓW

Wyniki oznaczeń wilgotności metodą suszarkową i metodą mikrofalową dla wszystkich badanych gruntów zestawiono w tabeli 5. W gruntach spoistych wilgotność oznaczona metodą mikrofalową jest nieznacznie większa od wilgotności oznaczonej

metodą suszarkową, w gruntach niespoistych występuje odwrotna relacja. We wszystkich gruntach widoczna jest duża zbieżność wyników oznaczeń. W większości przypadków bezwzględna różnica wilgotności określonej w metodzie suszarkowej i metodzie mikrofalowej nie przekroczyła, w odniesieniu do wyniku z metody suszarkowej, 5%. Różnica 5% została dopuszczona w oznaczeniach wilgotności metodą suszarkową według normy PN-88/B-04481, uzyskanych dla trzech niezależnych próbek tego samego gruntu. Różnice bezwzględne większe od 5% wystąpiły w 13 przypadkach na 114 oznaczeń, co stanowi 11,4% wszystkich wyników; przypadki te dotyczyły małej wilgotności, odpowiadającej stanowi powietrznie suchemu gruntu. Różnice bezwzględne wilgotności nieznacznie rosną wraz ze wzrostem zawartości frakcji pyłowej i ilowej.

Tabela 5. Zestawienie wyników wilgotności oznaczonej metodą suszarkową i metodą mikrofalową
Table 5. Soil water content determined by standard oven drying and microwave oven method

Lp.	Rodzaj gruntu Type of soil	Wilgotność według metody Water content [%]		Różnice Differences [%]	
		suszarkowej standard oven drying method	mikrofalowej microwave oven method	bezwzględne absolute	względne relatives
1	2	3	4	5	6
1		7,82	8,57	-0,75	-9,59
2		16,56	17,60	-1,04	-6,28
3	II Clay	28,41	29,70	-1,29	-4,54
4		43,78	45,30	-1,52	-3,47
5		61,16	62,86	-1,70	-2,78
6		90,67	92,52	-1,95	-2,15
7		3,29	3,59	-0,30	-9,12
8		11,78	12,37	-0,59	-5,01
9	II pyłasty Silty clay	23,05	23,80	-0,75	-3,25
10		30,51	31,53	-1,02	-3,34
11		41,07	42,26	-1,19	-2,90
12		48,47	49,81	-1,34	-2,76
13		3,01	3,29	-0,28	-9,30
14		13,04	13,53	-0,49	-3,76
15	II piaszczysty Sandy clay	19,27	19,79	-0,52	-2,69
16		25,84	26,51	-0,67	-2,59
17		33,72	34,41	-0,69	-2,05
18		38,30	39,08	-0,78	-2,04
19		6,38	6,90	-0,52	-8,15
20		15,62	16,09	-0,47	-3,01
21	Gлина zwięzła Clay loam	23,40	24,14	-0,74	-3,16
22		39,87	40,76	-0,89	-2,23
23		53,21	54,41	-1,20	-2,25
24		66,91	68,36	-1,45	-2,17

cd. tab. 5
cont. tab. 5

1	2	3	4	5	6
25		2,97	3,15	-0,18	-6,06
26		11,03	11,42	-0,39	-3,54
27	Gлина пыlasta	24,36	24,89	-0,53	-2,18
28	zwięzła	31,14	31,82	-0,68	-2,18
29	Silty clay loam	39,51	40,25	-0,74	-1,87
30		47,25	48,10	-0,85	-1,80
31		2,69	2,83	-0,14	-5,20
32		7,88	8,23	-0,35	-4,44
33	Gлина piaszczysta	14,18	14,38	-0,20	-1,41
35	zwięzła	20,37	20,65	-0,28	-1,37
36	Sandy clay loam	25,75	26,07	-0,32	-1,24
37		34,16	34,67	-0,51	-1,49
38		1,05	1,11	-0,06	-5,71
39		6,12	6,26	-0,14	-2,29
40	Gлина	11,48	11,64	-0,16	-1,39
41	Loam	15,72	15,83	-0,11	-0,70
42		19,29	19,48	-0,19	-0,98
43		23,42	23,66	-0,24	-1,02
44		2,84	3,00	-0,16	-5,63
45		7,49	7,73	-0,24	-3,20
46	Gлина пыlasta	13,02	13,28	-0,26	-2,00
47	Silty loam	20,87	21,26	-0,39	-1,86
48		24,76	25,23	-0,47	-1,90
49		30,63	31,64	-1,01	-3,30
50		1,87	1,97	-0,10	-5,35
51		8,23	8,33	-0,10	-1,22
52	Gлина piaszczysta	12,29	12,45	-0,16	-1,30
53	Sandy loam	19,40	19,69	-0,29	-1,49
54		23,95	24,17	-0,22	-0,92
55		27,49	27,64	-0,15	-0,55
56		1,68	1,75	-0,07	-4,17
57		5,23	5,28	-0,05	-0,96
58	Pył	14,71	14,74	-0,03	-0,20
59	Silt	19,05	19,20	-0,15	-0,79
60		24,75	24,84	-0,09	-0,36
61		28,57	28,61	-0,04	-0,14
62		1,70	1,70	0,00	0,00
63		4,59	4,59	0,00	0,00
64	Pył piaszczysty	11,38	11,42	-0,04	-0,35
65	Sandy silt	14,91	14,96	-0,05	-0,33
66		18,00	18,10	-0,10	-0,56
67		23,21	23,33	-0,12	-0,52

cd. tab. 5
cont. tab. 5

1	2	3	4	5	6
68		0,58	0,56	0,02	3,45
69		3,76	3,74	0,02	0,53
70	Piasek gliniasty	6,30	6,32	-0,02	-0,32
71	Slightly clayey sand	11,05	10,96	0,09	0,81
72		14,84	14,78	0,06	0,40
73		17,93	17,91	0,02	0,11
74		0,32	0,32	0,00	0,00
75		5,92	5,82	0,10	1,69
76	Piasek pylasty	8,07	8,02	0,05	0,62
77	Silty sand	11,95	11,77	0,18	1,51
78		17,23	17,11	0,12	0,69
79		20,10	19,83	0,27	1,34
80		0,26	0,26	0,00	0,00
81		1,25	1,23	0,02	1,60
82	Piasek drobny	3,22	3,14	0,08	2,48
83	Fine sand	8,49	8,49	0,13	1,53
84		15,02	14,85	0,17	1,13
85		19,72	19,50	0,22	1,11
86		0,21	0,21	0,00	0,00
87		1,30	1,28	0,02	1,54
88	Piasek średni	4,54	4,50	0,04	0,88
89	Medium sand	11,39	11,19	0,20	1,76
90		15,87	15,47	0,40	2,52
91		17,32	16,98	0,34	1,96
92		0,18	0,17	0,01	5,56
93		1,84	1,80	0,04	2,17
94	Piasek gruby	6,61	6,53	0,08	1,21
95	Coarse sand	9,06	8,94	0,12	1,32
96		12,37	12,27	0,10	0,81
97		14,96	14,87	0,09	0,60
98		0,16	0,15	0,01	6,25
99		2,62	2,60	0,02	0,76
100	Pospółka	5,42	5,35	0,07	1,29
101	Sandy gravel	8,82	8,72	0,10	1,13
102		11,56	11,42	0,14	1,21
103		14,27	14,06	0,21	1,47
104		0,73	0,70	0,03	4,11
105		2,20	2,11	0,09	4,09
106	Piasek drobny (popiół)	5,40	5,36	0,04	0,74
107	Fine sand (ash)	11,77	11,54	0,23	1,95
108		21,06	20,92	0,14	0,66
109		24,85	24,66	0,19	0,76

cd. tab. 5
cont. tab. 5

1	2	3	4	5	6
110		0,92	0,93	-0,10	-1,09
111		2,70	2,80	-0,10	-3,70
112	Pył piaszczysty (popiół)	4,44	4,59	-0,15	-3,38
113	Silty sand (ash)	8,38	8,57	-0,19	-2,27
114		16,07	16,34	-0,27	-1,68
115		26,64	27,04	-0,40	-1,50

Różnica względna = różnica bezwzględna odniesiona do wartości wilgotności oznaczonej metodą suszarkową.
Relatives of difference = Absolute of difference in relation to water content determined by standard oven drying method.

Tabela 6. Zestawienie parametrów równań regresji wilgotności oznaczonej metodą suszarkową od wilgotności oznaczonej metodą mikrofalową

Table 6. Linear regression parameters derived from comparison between standard oven drying and microwave oven method

Rodzaj gruntu Type soil	r_{xy}	r_{xy}	b_1	b_0	r_{xy}	b_1	b_0	r_{xy}	b_1	b_0
Po	1,000									
Pr	0,999	0,999	1,009	0,013						
Ps	0,999				0,999	1,013	0,002			
Pd	1,000	0,999	1,014	0,003						
Pл	0,999									
Pg	0,999									
Пp	1,000	0,999	0,997	0,007						
П	0,999									
Gp	0,999									
G	0,999	0,999	0,985	-0,019				0,999	0,978	0,048
GП	0,999				0,999	0,978	0,024			
Gpz	0,999									
Gz	0,999	0,999	0,982	-0,119						
GПz	1,000									
Ip	1,000									
I	0,999	0,999	0,981	-0,353						
ИП	1,000									
Pd	0,999									
Пp	0,999	0,999	0,997	-0,002						

Oznaczenia – Explanations:

r_{xy} – współczynnik korelacji, coefficient of correlation,

$y = b_0 + b_1 x$,

y – wilgotność oznaczona metodą suszarkową, water content determined by standard oven drying method,

x – wilgotność oznaczona metodą mikrofalową, water content determined by microwave oven method.

W tabeli 6 zestawiono parametry równań regresji wyrażających zależność wilgotności oznaczonej metodą suszarkową od wilgotności oznaczonej metodą mikrofalową. Określono równania regresji w różnych grupach gruntów i dla wszystkich gruntów

łącznie. Współczynniki korelacji we wszystkich równaniach są bardzo wysokie; mają wartość bliską jedności. Można zatem przyjąć, że wilgotność oznaczona metodą mikrofalową odpowiada wilgotności oznaczonej metodą suszarkową.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność kuchenki mikrofalowej do oznaczania wilgotności gruntów mineralnych w szerokim zakresie wilgotności – od stanu powietrznie suchego do stanu płynnego. Oznaczenia porównawcze wilgotności metodą suszarkową i mikrofalową, wykonane na wszystkich rodzajach gruntów drobnoziarnistych (piaski, pyły, gliny, ły) i jednym gruboziarnistym (pospółka) wykazały bardzo dobrą zgodność wyników; współczynniki korelacji równań regresji we wszystkich gruntach są równe jedności. Jedynie w gruntach powietrznie suchych, o wilgotności poniżej 2%, różnice wilgotności oznaczonej metodą suszarkową i metodą mikrofalową przekraczały w kilku przypadkach wartość 5% w stosunku do wilgotności oznaczonej metodą suszarkową.

Pomimo bardzo dobrej zgodności wyników oznaczeń wilgotności metodą suszarkową i metodą mikrofalową, należy zwrócić uwagę na pewne trudności i ograniczenia metody mikrofalowej. Niemożliwe jest stosowanie tej metody do gruntów silnie organicznych. Podczas suszenia w kuchenie mikrofalowej torfu nastąpiło jego samozapalenie.

W trakcie suszenia zbrylonych gruntów średnio i bardzo spoistych oraz zwięzłospoistych następowało ich rozerwanie i czasami rozrzucenie poza parowniczkę. Przy oznaczaniu wilgotności gruntów powietrznie suchych, zawierających dużo frakcji pyłowej, niekiedy występowało zjawisko wywiewania frakcji drobnych poza parowniczkę. Aby zabezpieczyć się przed tymi zjawiskami należało próbki gruntów średnio i bardziej spoistych rozdrabniać i umieszczać w naczynkach z pokrywkami.

Kuchenka mikrofalowa może być stosowana do masowych oznaczeń wilgotności gruntów mineralnych drobnoziarnistych i gruboziarnistych w warunkach budowlanych przy zachowaniu poniższych wytycznych.

1. Do oznaczeń wilgotności gruntu może być stosowana kuchenka o mocy od 1 do 2 KW [ASTM D 4643-87]. Hagerty i in. [1990] zalecają stosowanie kuchenki o mocy 0,7 KW dla zminimalizowania efektu możliwego nadmiernego przesuszenia gruntu. W badaniach przedstawionych powyżej stosowano kuchenkę o mocy 0,8 KW.

2. Masa próbki nie powinna być mniejsza niż 100 g [ASTM D 4643-87], ze względu na możliwy efekt niekontrolowanego przesuszenia gruntu. Jak wynika z tabeli 4, oznaczana wilgotność rośnie wraz ze zmniejszeniem masy próbki. Suszenie gruntów gruboziarnistych, w których wymagana jest duża próbka o masie co najmniej 500 g, może być zrealizowane poprzez rozdzielenie próbki do suszenia na mniejsze porcje.

3. Czas suszenia powinien być określony na podstawie badań wstępnych dla danej kuchenki i danej partii gruntu. Jak wynika z tabeli 3, czas suszenia dostateczny dla badanych gruntów, przy zastosowaniu kuchenki MS-1907C, zawierał się w przedziale 3–4 minut. Powyżej tego czasu następowała stabilizacja suchej masy próbki i stabilizacja oznaczanej wilgotności.

Ponadto wskazane jest przestrzeganie następujących zaleceń, dotyczących procedury oznaczania wilgotności:

– aby zabezpieczyć się przed rozrywaniem zbrylonych gruntów spoistych, należy je rozdrobnić na cząstki o średnicy około 6mm [ASTM D 4643-87],

– aby zabezpieczyć próbki gruntu przed rozrzuconiem bądź wywianiem poza parowniczkę, należy umieszczać je w szklanych naczynkach z pokrywkami bądź przykryć parowniczkę ręcznikiem papierowym lub kartonem,

– nie należy umieszczać w kuchence pojedynczej próbki na środku talerza; zaleca się suszyć równocześnie trzy próbki umieszczone na obwodzie talerza,

– w przypadku suszenia gruntu gruboziarnistego, zaleca się wstawiać go do kuchenki w płaskiej kuwecie, opierającej się na obwodzie talerza,

– po każdorazowym wykonaniu oznaczenia wilgotności wewnątrz kuchenki należy dokładnie oczyścić,

– kuchenka przeznaczona do oznaczeń wilgotności nie może być wykorzystywana do celów spożywczych,

– korzystając z kuchenki, należy przestrzegać wymogów bezpieczeństwa zawartych w instrukcji obsługi.

PIŚMIENNICTWO

ASTM D 2216-90 Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock and Soil-Aggregate Mixtures.

ASTM D 4643-87 Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Microwave Oven Method.

Hagerty D.J., Ullrich C.R., Denton M.M., 1990. Microwave Drying of Soils. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 22, 4, 138–141.

Mendoza M.J., Orozco M., 1999. Fast and Accurate Techniques for Determination of Water Content in Soils. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 22, 4, 301–307.

Myślińska E., 1998. Laboratoryjne badania gruntów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.

Rolla S. 1985. Badania materiałów i nawierzchni drogowych. WKŁ, Warszawa.

Wolski W., 1973. Zapory ziemne. Arkady, Warszawa.

DETERMINATION OF WATER CONTENT OF SOIL BY MICROWAVE OVEN METHOD

Abstract: The paper concerns the use of microwave oven in determination of water content in soils. Major advantages of microwave oven based method consist in easy access to the equipment and its low cost (around 75–100 €). Besides the method is relatively quick (2–5 minutes). The tests results presented in the paper were obtained on the basis of 19 representative cohesive and cohesionless soils. For each soil water content was determined in the wide range of its state: from air-dry to liquid state. The carried out tests made possible to obtain very good correlation between water content determined in standard oven and microwave oven methods. In conclusion some hints concerning test

procedure were given which might be helpful in its wide application in geotechnical laboratory at site.

Key words: water content, Microwave Oven Method

*A. Gołębiewska, M. Połoński, M. Witkowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: Golebiewska@alpha.sggw.waw.pl*