

Zależność parametrów gęstościowych od zawartości substancji organicznej dla gruntów okolic Białej Podlaskiej i Kurowa

Adam Stępień*

Badania zależności wartości parametrów gęstościowych gruntów od zawartości substancji organicznej są prowadzone od dawna, ale sporną kwestią jest matematyczne odwzorowanie tej zależności dla gruntów organicznych. Ustalona jest ogólna zależność która mówi, że wraz ze wzrostem zawartości substancji organicznej maleją wartości gęstości właściwej szkieletu gruntowego (ρ_s), gęstości objętościowej gruntu (ρ) oraz gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (ρ_d). Większość publikowanych prac z zakresu geologii inżynierskiej i geotechniki zaleca bardzo ostrożne podchodzenie do tych gruntów, jako potencjalnie słabo nośnych i niebezpiecznych dla stateczności budowli na nich posadowionych. Dotyczy to przede wszystkim wykonywania nasypów budowlanych na gruntach organicznych, a zwłaszcza skomplikowanej metodyki badań tych gruntów na potrzeby budownictwa liniowego (Gestewitz, 1987), oraz dużej ich potencjalnej niestateczności (Niesche & Nowak, 1992).

Do podstawowych danych niezbędnych dla projektowania geotechnicznego należą parametry gęstościowe. Dokładne zbadanie i ustalenie zależności ich wartości od parametru wodącego jakim dla gruntów organicznych jest zawartość substancji organicznej (I_{om}), stało się obecnie pilną koniecznością. Istnieją w literaturze opracowania dotyczące tego zagadnienia ale opisują one tylko wybrane typy gruntów, np.: mady (Myślińska, 1984), gytie (Długaszek, 1988), torfy (Mroczkowski, 1978) lub też dla szerszego zakresu wartości I_{om} poprzez badania nad sztucznie sporządzanymi mieszkankami torfu i gruntów mineralnych (Bartoszewicz, 1987; Bartoszewicz i in., 1986).

Obecnie najczęściej tworzone są matematyczne modele regresji w układzie zależności gęstość–zawartość substancji organicznej (I_{om}) za pomocą różnorodnych programów komputerowych. Rozważania nad zmianami wartości ρ_s , ρ , ρ_d dla gruntów organicznych, autor przeprowadza na podstawie własnych badań próbek z kilku torfowisk z okolic Białej Podlaskiej oraz Kurowa (NW część Wyżyny Lubelskiej). W obrębie występujących tam torfowisk niskich o dolinnej genezie, stwierdzono obecność gruntów o zawartości substancji organicznej od kilku do ponad 90%. Według PN-86/B-02480 są to namuły lub torfy. Na omawianych obszarach na ogół brak jest gytii, natomiast występują bardzo silnie zwiętrzałe utwory torfowe (mursze), znacznie różniące się od gruntów z których powstały. Mursze nie posiadają swego miejsca w wyżej wymienionej klasyfikacji, choć są wyróżniane na przykład w systematykach gleboznawczych (gdzie stanowią osobny typ w obrębie klasy gleb pobagiennych). Wypełniają one zagłębienia o zróżnicowanej powierzchniowo wielkości i niezbyt dużej głębokości. Łącznie stanowią one kilkaset hektarów gruntów organicznych o miąższości do niespełna 4 m (Borowiec, 1990; Stępień, 1993). Torfowiska te leżą na gruntach mineralnych sypkich, głównie piaskach drobnych i średnich, podścielonych osadami spójnymi różnej genezy.

Metodyka badań

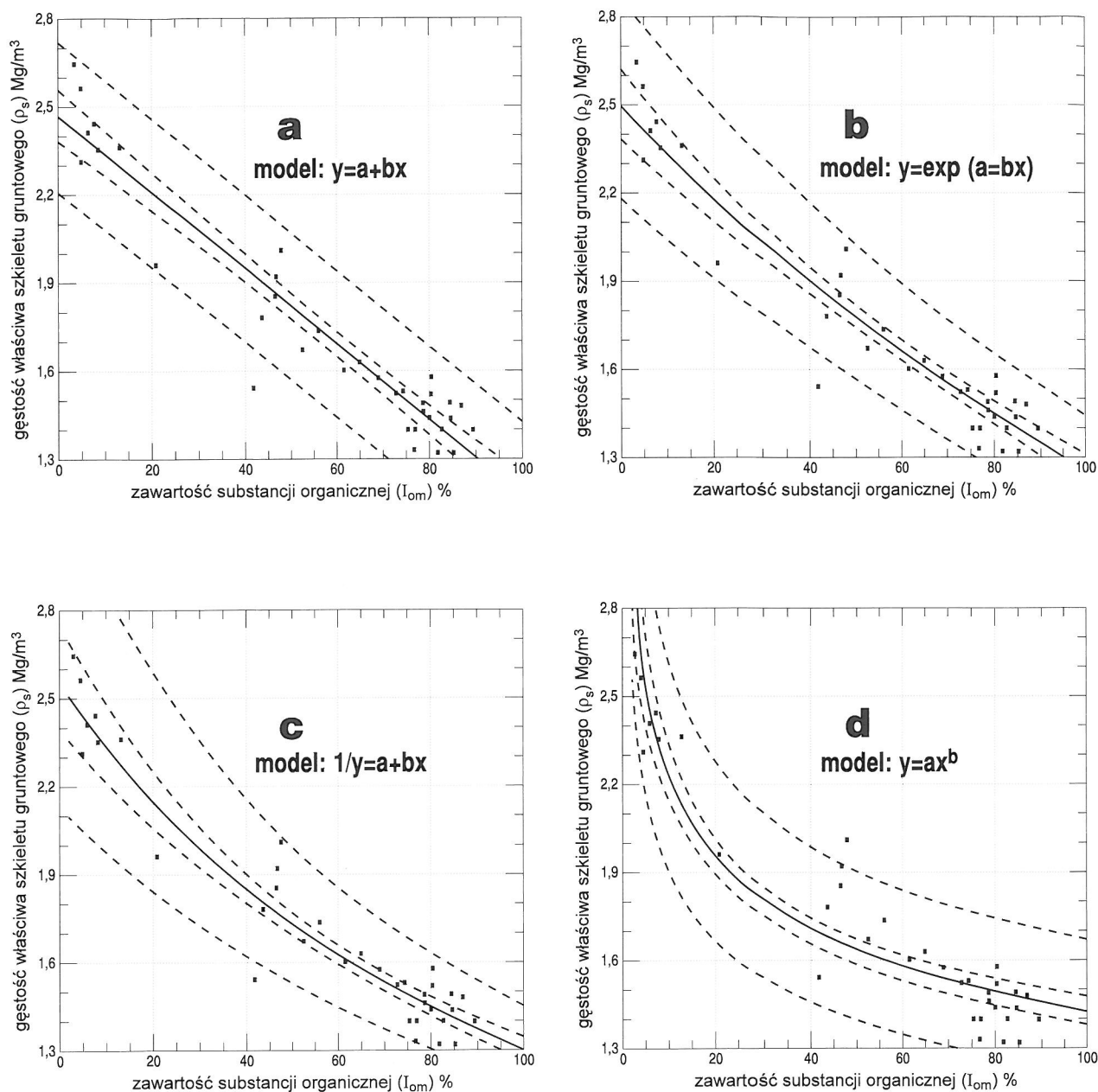
Laboratoryjnie ustalono (zgodnie z PN-88/B-04481) gęstość właściwą szkieletu gruntowego (ρ_s) — metodą kolby Le Chatelliera, gęstość objętościową (ρ) — metodą pierścienia tnącego oraz po oznaczeniu wilgotności naturalnej (w_n) obliczono gęstość objętościową szkieletu gruntowego (ρ_d). Badanie zawartości substancji organicznej (I_{om}) przeprowadzono dwoma metodami: strat prażenia i Tiurina. Metoda Tiurina polegająca na utlenianiu węgla orga-

nicznego za pomocą kwaśnego roztworu $K_2Cr_2O_7$, jest w miarę dokładna dla ogólnej zawartości substancji organicznej do 15%, a przy wartościach I_{om} większych przyjmuje się, że daje ona wyniki tylko przybliżone. Metoda strat prażenia zalecana przez PN — 88/B-04481 (polegająca na wyprażaniu próbki w temperaturze 600–800°C) dla gruntów silnie organicznych wydaje się być najlepszą. Pewne zastrzeżenia budzi jednak dość wysoka temperatura, która nawet przy niedużej zawartości minerałów ilastych (bardzo często powiązanych z substancją organiczną w kompleksy organi-

Tab.1. Parametry badanych gruntów

I_{om} %	ρ_s Mg/m ³	ρ Mg/m ³	w_n %	ρ_d Mg/m ³
3,0	2,64	1,70	16,4	1,46
4,4	2,56	2,48	18,8	2,09
4,6	2,31	1,26	8,7	1,16
6,0	2,41	1,86	20,0	1,55
7,3	2,44	1,53	25,6	1,22
8,2	2,35	1,74	56,9	1,11
12,8	2,36	1,06	49,4	0,71
20,6	1,96	1,12	83,8	0,61
41,7	1,54	1,09	198,2	0,37
43,5	1,78	1,02	160,3	0,39
46,2	1,85	0,81	69,4	0,48
46,5	1,92	0,67	142,6	0,28
47,5	2,01	—	—	—
52,4	1,67	1,01	220,1	0,32
55,8	1,74	0,80	64,2	0,49
61,4	1,60	0,98	405,1	0,19
64,8	1,63	0,99	383,3	0,20
66,8	—	1,01	760,8	0,12
68,8	1,57	—	—	—
72,6	1,52	1,05	400,1	0,21
72,8	—	1,04	379,9	0,22
74,3	1,53	—	—	—
75,3	1,40	—	—	—
76,6	1,33	1,03	376,4	0,22
76,8	1,40	0,58	286,1	0,15
78,5	1,49	0,78	661,4	0,11
78,6	1,46	0,95	497,3	0,16
79,7	1,44	1,08	373,8	0,23
80,2	1,52	—	—	—
80,2	1,44	1,04	432,3	0,20
80,3	1,58	—	—	—
81,1	—	0,57	323,8	0,13
81,7	1,32	—	—	—
82,4	—	0,92	422,9	0,18
82,6	1,40	—	—	—
84,3	1,49	—	—	—
84,5	1,44	—	—	—
85,2	1,32	1,00	553,5	0,15
86,7	1,48	—	—	—
87,5	—	0,92	748,7	0,11
88,2	—	1,10	339,0	0,25
89,3	1,40	0,95	769,6	0,11
94,3	—	1,03	314,3	0,25

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski,
ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa



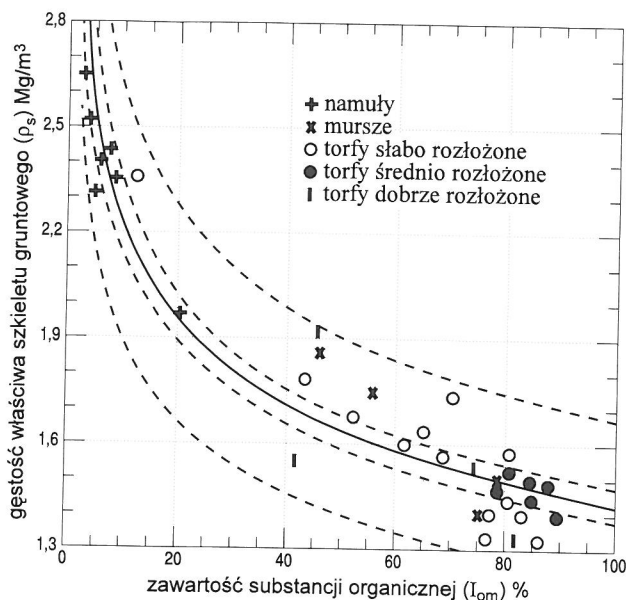
Ryc. 1. Zależność gęstości właściwej szkieletu gruntowego od zawartości substancji organicznej dla modeli: a) $y=a+bx$; b) $y = \exp(a - bx)$; c) $1/y = a + bx$; d) $y = ax^b$

czno-mineralne) powoduje ich dehydratację, a nawet dehydroksylację, a ubytek masy powodowany tymi procesami zostaje zaliczony jako reakcja substancji organicznej. W związku z powyższym dla opisanego zależności wykorzystano metodę strat prażenia, ale dla zminimalizowania wpływu wyżej wymienionych procesów zastosowano jednak temperaturę 450°C i ustalono czas prażenia na kilkanaście godzin. Wybór takiej temperatury prażenia nastąpił również na podstawie normy amerykańskiej (ASTM), która zaleca prażenie w temperaturze 440°C . Wyniki oznaczeń opisanych wyżej parametrów zestawiono w tab. 1. Do analizy regresji zależności gęstości od wartości I_{om} zastosowano pakiet obliczeniowy STATGRAPHICS, który w sposób prosty i szybki pozwala na matematyczną interpretację wyników oznaczeń tych parametrów.

Wyniki analiz i ich interpretacja

Analizę regresji dla zależności ρ_s od I_{om} dla badanych gruntów organicznych przedstawiono na ryc. 1 (a, b, c, d).

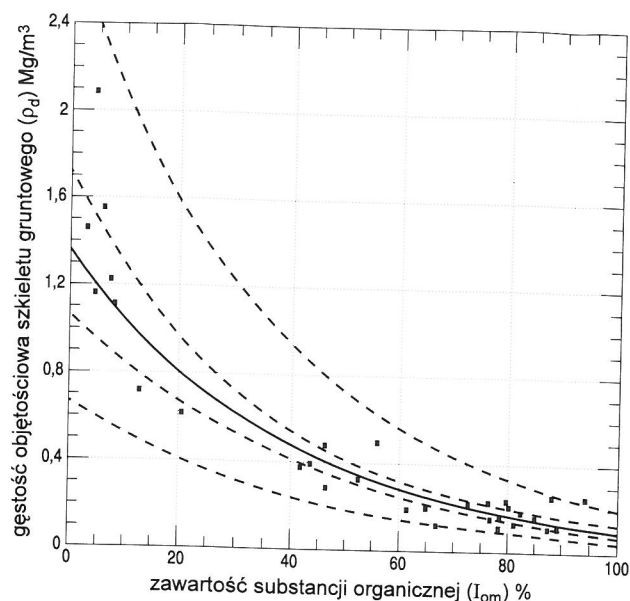
Zależność dla tych samych danych została opisana czterema różnymi funkcjami matematycznymi. Opierając się o zasady statystyki matematycznej należy stwierdzić, że wszystkie te funkcje posiadają współczynnik korelacji (K) powyżej 0,9. Tak więc, z matematycznego punktu widzenia funkcje te dobrze opisują istniejącą zależność. Wydaje się jednak, że nie wszystkie mogą być zaakceptowane z punktu widzenia geotechnik. Model liniowy $y = a + bx$ (ryc. 1a) pomimo bardzo wysokich parametrów statystycznych ($K = -0,96$) należy odrzucić ze względu na jego niedopasowanie do rzeczywistych zmian wartości ρ_s dla gruntów o niskiej zawartości substancji organicznej (gruntów próchnicznych i namulów). Zaznacza się tu bowiem bardzo znaczne zmniejszenie wartości dla gruntów o I_{om} od 2 do ok. 20%. Większość klasyfikacji gruntów dla celów geotechnicznych kładzie nacisk na bardzo znaczne zmiany parametrów fizycznych i mechanicznych w zbliżonym do podanego prze-



Ryc. 2. Zależność gęstości właściwej szkieletu gruntowego od zawartości substancji organicznej

dziale wartości I_{om} . Podobne zastrzeżenia należy wnieść dla modelu wykładniczego $y = \exp(a + bx)$ ($K = -0,96$) (ryc. 1b). Tak więc jako najlepiej odpowiadające rzeczywistości pozostają jedynie funkcje $1/y = a + bx$ (ryc. 1c) i $y = ax^b$ ($K = -0,93$) (ryc. 1d), choć matematycznie nieco dokładniejsza jest pierwsza z tych funkcji ($K = 0,9-5$).

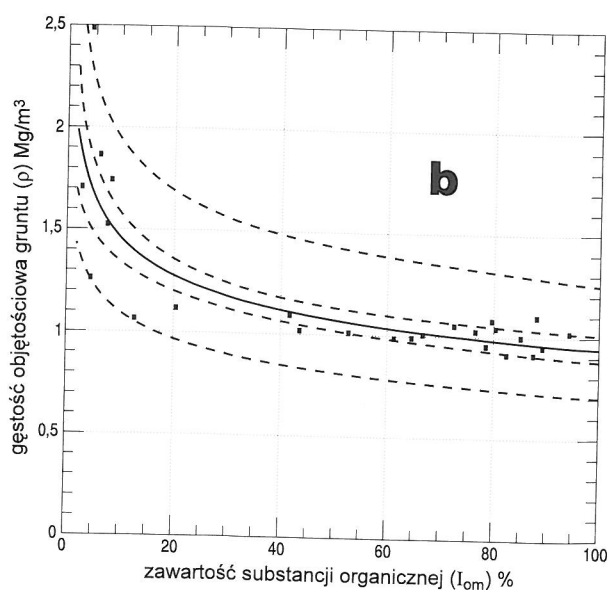
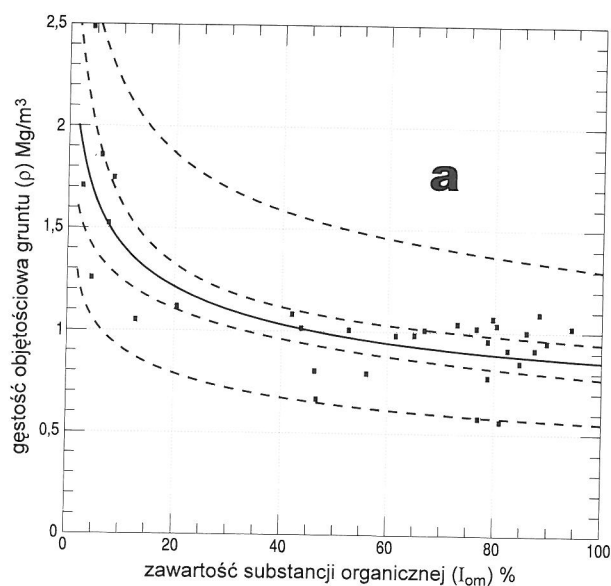
Rozkład punktów w układzie $\rho_s - I_{om}$ można również opisywać przy pomocy dwóch prostych odwzorowań ich współzależność. Pierwsza prosta opisuje grunty o niedużej wartości I_{om} (do 20 %) i ma duże nachylenie. Druga prosta o znacznie mniejszym nachyleniu opisuje grunty silnie organiczne (torfy). Dalszych badań wymagałoby jednak szukanie charakteru zależności dla gruntów o zawartości substancji organicznej odpowiadającej miejscu przecięcia



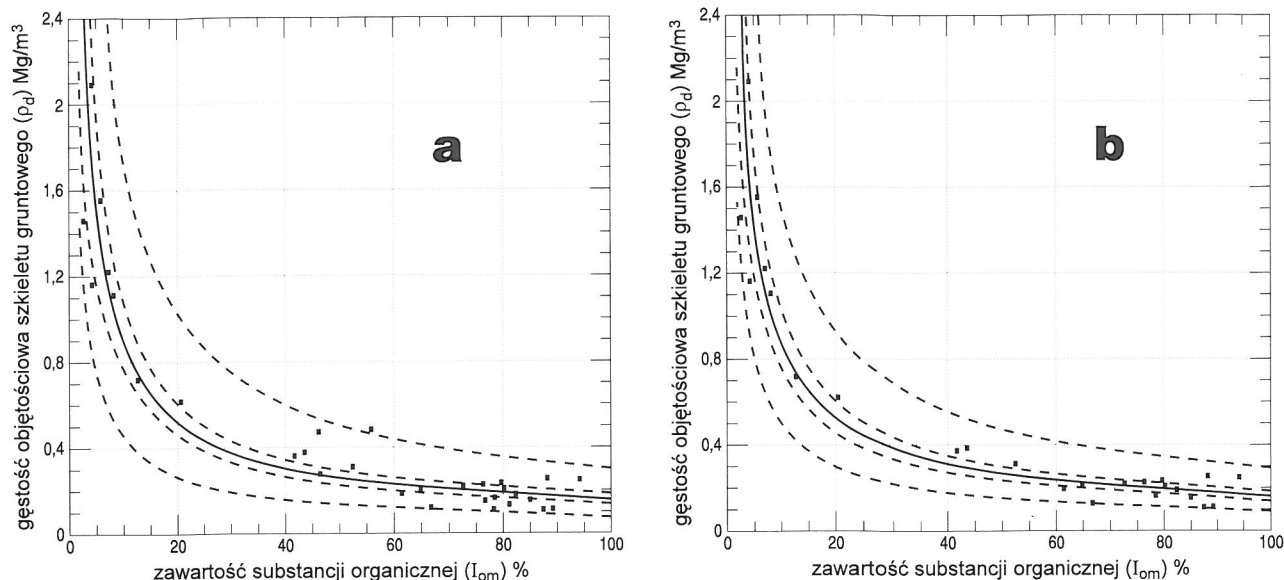
Ryc. 4. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od zawartości substancji organicznej dla modelu $y = \exp(a+bx)$

tych dwu prostych. Grunty te występują raczej nielicznie i na omawianych torfowiskach prawie ich nie stwierdzono.

Na ryc. 2 pokazano tę samą zależność rozróżniając grunty organiczne: namuły, mursze i torfy, jak również dzieląc te ostatnie ze względu na ich stopień rozłożenia (wg skali van Posta). Z wykresu widać wyraźnie, że dobre dopasowanie modelu występuje dla namulów (ale o $I_{om} < 20\%$) oraz murszy i torfów średnio rozłożonych. Torfy słabo rozłożone na wykresie stanowią „chmurę” punktów trudną do interpretacji, a torfy dobrze rozłożone wykazują bardzo znaczny rozrzut nawet dla wartości I_{om} zbliżonych do siebie. Tłumaczyć to można przede wszystkim innym składem chemicznym substancji organicznej dla torfów znajdujących się w różnym stopniu przeobrażenia (humifikacja — mineralizacji).



Ryc. 3. Zależność gęstości objętościowej gruntu od zawartości substancji organicznej dla modelu $y = ax^b$: a) dla wszystkich gruntów; b) bez murszy i torfów dobrze rozłożonych



Ryc. 5. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od zawartości substancji organicznej dla modelu $y = ax^b$: a) dla wszystkich gruntów; b) bez murszy i torfów dobrze rozłożonych

Jest to bardzo istotne dla różnych gatunkowo torfów. Badania nad tymi zagadnieniami nadal są prowadzone.

Podobną procedurę ustalania zależności przeprowadzono w stosunku do gęstości objętościowej dla części tych samych gruntów organicznych. Wszystkie funkcje opisujące badane zależności niestety wykazały słabą korelację, którą podano na przykładzie modelu $y = ax^b$ ($K = 0,76$) (ryc. 3a). Tak duży rozrzut punktów w układzie — I_{om} , zwłaszcza dla gruntów o zawartości substancji organicznej powyżej 40 %, spowodowany może być różnicą strukturalną pomiędzy torfami słabo i średnio rozłożonymi (H_1-H_7), a torfami dobrze rozłożonymi (H_8-H_{10}) z jednej strony, a murszami z drugiej.

Jeśli w rozważaniu pominiemy tę ostatnią grupę gruntów, zależność $y = ax^b$ dla pozostałych gruntów organicznych staje się statystycznie istotna ($K = -0,86$) (ryc. 3b). Z powyższego wynika, że przy ustalaniu zależności gęstości objętościowej gruntów organicznych od zawartości substancji organicznej, należy osobno rozpatrywać zwietrzałe torfy (mursze), które ze względu na swoją agregatową strukturę, w strefie przypowierzchniowej występują jako pojedyncze rozsypujące się „ziarna” o średnicach kilku milimetrów.

Pochodną gęstości objętościowej gruntu jest gęstość objętościowa szkieletu gruntowego charakteryzująca fazę stałą i gazową gruntu. Tworzone proste modele regresji dla zależności $\rho_d - I_{om}$, wykazują istnienie statystycznie uzasadnionej zależności. Modele regresji: $y = ax+b$ i $1/y = ax+b$ mają najmniejsze współczynniki korelacji, natomiast modele: $y = \exp(a+bx)$ i $y = ax^b$ mają bardzo dobre parametry statystyczne (dla obu $K = -0,93$) (ryc. 4 i 5a). Z punktu widzenia gruntoznawstwa, zależność $y = ax^b$ (ryc. 5a) wydaje się być bardziej słuszną (z tych samych powodów co zależność $\rho_s - I_{om}$) dla niskich wartości zawartości substancji organicznej. Również tu można stwierdzić, że torfy dobrze rozłożone oraz mursze posiadają znaczny rozrzut punktów na wykresie. Gdy w rozważaniu ogólnej zależności $\rho_d - I_{om}$ pominiemy zwłaszcza mursze, które zostały silnie zmineralizowane ($I_{om} = 46,2\%$ i $I_{om} = 55,8\%$) korelacja tych parametrów ulega poprawie ($K = -0,96$) (ryc. 5b).

Wnioski

1. Możliwe jest wykorzystanie prostego komputerowego pakietu obliczeniowego STATGRAPHICS dla uzyskania statystycznie istotnych modeli regresji opisujących istniejącą korelację pomiędzy parametrami gęstościowymi gruntów organicznych (gęstością właściwą szkieletu gruntowego, gęstością objętościową gruntu i gęstością objętościową szkieletu gruntowego), a zawartością substancji organicznej.

2. Dla badanych gruntów organicznych z okolic Białej Podlaskiej i Kurowa modelem regresji jest $y = ax^b$, a dokładniejsze jego dopasowanie (ustalenie konkretnej wartości parametrów a i b) jest dość proste, po stwierdzeniu ogólnego charakteru zależności.

3. Przy ustalaniu szczegółowych zależności parametrów gęstościowych od zawartości substancji organicznej należy szczególną uwagę poświęcić murszom, które niekiedy dość wyraźnie odbiegają od ogólnego charakteru tych zależności. Dowodzi to już wcześniej zauważonej konieczności traktowania murszu jako odrębnej grupy gruntów organicznych, co powinno znaleźć swoje odbicie w klasyfikacji tych gruntów.

Literatura

- BARTOSZEWICZ A. 1987 — Próba klasyfikacji gruntów organicznych dla potrzeb inżynierskich. Pr. dokt. (maszynopis), Polit. Gdańska.
- BARTOSZEWICZ A., DŁUGASZEK M. & PRZEWŁÓCKI Z. 1986 — Z. Nauk. ART, 15: 187–202.
- BOROWIEC T. 1990 — Torfowiska regionu lubelskiego. PWN.
- DŁUGASZEK M. 1988 — Ocena właściwości fizyczno-mechanicznych gytii Pojezierza Olsztyńskiego dla potrzeb inżyniersko-geologicznych. Pr. dokt. (maszynopis), Uniw. Warsz.,
- GESTEWITZ P. 1987 — Pr. Nauk. Inst. Geotech. Polit. Wr., 52: Konferencje: 24: 45–50.
- MROCKOWSKI M. 1978 — Wiad. Inst. Melior. Użytk. Ziel., 14: 49–57.
- MYŚLIŃSKA E. 1984 — Kwart. Geol., 28: 143–162.
- NIESCHE H. & NOWAK H. 1992 — Wiad. Inst. Melior. Użytk. Ziel., 17: 323–326.
- STĘPIEŃ A. 1993 — Tech. Poszuk. Geol. Geosynop. i Geoterm., 2: 77–81.