

Parametry fizyczne torfów i ocena metod ich oznaczania

Elżbieta Myślińska*

Torfy należą do gruntów organicznych zawierających znaczną ilość substancji organicznej o bardzo zróżnicowanych właściwościach. Powoduje to konieczność stosowania (w większości przypadków) odmiennych metod badania ich właściwości fizycznych, często bardziej skomplikowanych, niż w badaniu gruntów mineralnych. Wartości parametrów fizycznych torfów w znacznym stopniu odbiegają od wartości charakterystycznych dla takich samych parametrów gruntów mineralnych, nawet zawierających wysoko aktywną frakcję ilową. Istnieje możliwość oceny zastosowania tych wzorów dla gruntów z obszaru Polski. Z badań wynika także zależność między różnymi właściwościami torfów.

Słowa kluczowe: torfy, substancja organiczna, straty prażenia, popielność, gęstość właściwa szkieletu gruntowego, porowatość, wskaźnik plastyczności, wykres Casagrande'a

Elżbieta Myślińska — **Physical properties of peats and evaluation of methods of their determination.** Prz. Geol., 47: 676–682.

Peats belong to organic soils containing large amounts of organic matter of very diverse properties. Therefore different methods have to be applied in most cases for the examination of their physical properties, very often more complicated than in mineral soils. Physical properties of peats differ significantly from values typical for these parameters in case of mineral soils, even containing a highly active clay fraction. The paper discusses laboratory methods of determining physical properties of peats as well as some formulas allowing replacing more complex tests, suggested in foreign papers. The possibility of applying these formulas for soils from Poland has been evaluated. Relationships between different properties of peats have also been presented.

Key words: Peats, organic matter, ignition loss, ash content, density of solid particles, porosity, plasticity index, Casagrande plasticity chart

Badania niektórych parametrów fizycznych gruntów organicznych są znacznie trudniejsze od badań tych samych parametrów w gruntach mineralnych a uzyskiwane wyniki często nie mają wymaganej dokładności. Zarówno mineralne grunty spoiste, jak i grunty organiczne zawierają składniki (minerały ilaste w mineralnych gruntach spoistych i substancja organiczna w gruntach organicznych) nadające im hydrofilność i wpływające na kształtowanie się takich parametrów jak np. plastyczność. Substancja organiczna, a zwłaszcza jej aktywna część humus w pewnym stopniu ma właściwości zbliżone do właściwości minerałów ilastych. Cząstki obydwu substancji posiadają ładunek ujemny, charakteryzują się wysoką hydrofilnością i znaczną pojemnością sorpcyjną, co rzutuje na szereg innych właściwości fizycznych i mechanicznych gruntów zawierających te substancje. Różnią się jednak przede wszystkim bezpostaciowym charakterem substancji organicznej i krystaliczną budową minerałów ilastych.

O znacznym wpływie zarówno minerałów ilastych, jak i substancji organicznej na kształtowanie się właściwości inżyniersko-geologicznych gruntów świadczy fakt, że w klasyfikacji gruntów obecność ponad 2% frakcji ilowej powoduje zaliczenie ich do gruntów spoistych (graniczna wartość między gruntami sypkimi i spoistymi), a zawartość ponad 2% substancji organicznej powoduje zaliczenie gruntów do organicznych (graniczna wartość między gruntami mineralnymi i organicznymi).

Przedmiotem rozważań w przedstawianym artykule będzie kształtowanie się wybranych właściwości torfów o różnej genezie i różnej zawartości substancji organicznej, na przykładzie wilgotności, gęstości właściwej, gęstości objętościowej, porowatości oraz parametrów plastyczności. Badania niektórych z tych parametrów nastroczają znacznych trudności technicznych prowadzących do ogra-

niczenia uzyskiwanych dokładności wyników. Wielu autorów występuje więc z propozycjami zastąpienia skomplikowanych badań laboratoryjnych prostszymi a wartości parametrów otrzymywane są ze wzorów przeliczeniowych.

Za torfy wg normy budowlanej PN-86/B-02480 *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów* uznaje się „grunty powstałe z obumarłych i podlegających stopniowej karbonatyzacji części roślin. Torfy cechuje na ogół wartość $I_{om} > 30\%$ ”.

Zgodnie ze *Słownikiem Petrograficznym* (1991) — torf jest to skała osadowa, produkt najwcześniejszego stadium uwęglenia roślin; tworzy się na obszarach podmokłych; charakterystyczną jego cechą jest wysoka zawartość wilgoci — ponad 70%, często ponad 90%. Granicę między torfem a węglem brunatnym wg definicji przedstawionej w słowniku, stanowi umowna wartość 65% wagowo węgla w przeliczeniu na masę suchą i bezpopiołową.

Według normy PN-85/G-02500 — *Torf. Genetyczny podział surowca*: „torf jest utworem akumulacyjnym pochodzenia organicznego, głównie roślinnego, powstały w wyniku procesu torfienia przebiegającego w określonych warunkach wodnych, powietrznych i mikrobiologicznych, składający się ze szczątków roślinnych w różnym stopniu zhumifikowanych oraz humusu torfowego”.

Torfowiskiem nazywamy nagromadzenie torfu o powierzchni ponad 0,5 ha i średniej grubości nie mniejszej niż 0,3 m w stanie naturalnym oraz 0,2 m w stanie osuszonym (Frankiewicz, 1980).

Torfy są gruntami organicznymi powstającymi w strefach brzegowych jezior w warunkach bagiennych; w wilgotnych obszarach różnych stref klimatycznych, w wyniku procesów torfotwórczych. Procesy te polegają na rozkładzie obumarłej roślinności hydrofilowej w warunkach beztlenowych, przy czynnym współdziałaniu mikroflory.

Genetyczny podział torfu podaje norma PN-85/G-02500. Podstawą tego podziału jest położenie

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

torfowiska oraz przewodnie rośliny torfotwórcze. W zależności od powstania na określonym torfowisku wyróżnia się typ torfu (niski, przejściowy, wysoki). W ramach typów wyróżnione są niższe jednostki systematyczne — rodzaje torfu, obejmujący torfy wytworzone z określonych zespołów roślinnych (roślin torfotwórczych). Rodzaje torfu dzielone są na gatunki. Cechą identyfikacyjną gatunku jest występowanie w składzie botanicznym stałej kombinacji roślin przewodnich.

Torfy powstają w torfowiskach wysokich, niskich i przejściowych, różniących się zarówno położeniem (rzeźba terenu, stosunki wodne), jak i zbiorowiskami roślinnymi występującymi na tych obszarach. Różnią się one występującą na nich roślinnością, a także warunkami sedymentacji mineralnej. Torfowiska wysokie porastają mchy torfowe, węłnianka, bagnica, bagno, wrzos i inne rośliny rozwijające się na glebach jałowych. Wykorzystują one głównie wody z opadów, stanowiąc siedliska ubogie w składniki mineralne. Torfowiska niskie porastają trzciny, turzyce, mchy, sitowia, skrzypy i inne rośliny rozwijające się na glebach zasilanych wodami przepływowymi zawierającym składniki mineralne. Torfowiska przejściowe (mieszane) porastają rośliny charakterystyczne zarówno dla torfowisk wysokich jak i niskich i są zasilane przez wody o różnym charakterze. Ponieważ wydzielone przez PN-85/B-02500 typy torfów (niski, przejściowy, wysoki), zarówno z uwagi na charakter wyjściowej masy roślinnej, jak i domieszek mineralnych charakteryzują się odmiennymi właściwościami fizycznymi (a także chemicznymi i mechanicznymi) podział ten stosuje się przy inżyniersko-geologicznej ocenie torfów.

Zawartość substancji organicznej, popielność

Faza stała torfów składa się z części organicznych w różnym stopniu rozłożonych oraz części mineralnych pochodzących z różnych źródeł. Części mineralne, których pochodzenie można określić jako naturalne pochodzą z mineralizacji substancji organicznej oraz z elementów budowy roślin torfotwórczych. Części mineralne określane jako wtórne lub „obce”, mogą pochodzić z innych źródeł, np. naniesione do torfowiska przez wody i wiatr.

Zawartość części organicznych w torfach oznacza się najczęściej metodą prażenia (spalania), uzyskując tzw. straty prażenia I_z . Rzadziej stosuje się inne metody, np. wg Tiurina, lub za pomocą utleniania wodą utlenioną (Maciak & Liwski, 1996; Myślińska, 1998). Na ogół torfy wysokie zawierają więcej substancji organicznej (nawet do 99%) niż torfy niskie. Torfy niskie zawierają większą ilość części mineralnych, pochodzących z roślinności rozwijających się na tego typu torfowiskach oraz naniesionych przez wody powierzchniowe.

Przy ocenie właściwości torfów bardzo często stosuje się pojęcie popielność (A_c), która wyraża zawartość części mineralnych i jest odwrotnością strat prażenia ($A_c = 100 - I_z$). Oznaczana jest przez prażenie (wysuszonej do stałej masy próbki) w temperaturze 450–800°C (w zależności od metodyki badań stosowanej w danym laboratorium). Torf nie zawierający obcych części mineralnych może mieć zawartość popiołu poniżej 2%, co oznacza, że zawartość substancji organicznej przekracza 98%.

Jak wynika z podanego zakresu temperatur prażenia torfów, istnieją różnice w opiniach na temat temperatury prażenia. W wyższych temperaturach rozkładają się niektóre minerały a minerały ilaste tracą wodę. W niższych,

nie cała substancja organiczna ulega spalaniu. Na ogół uznaje się, że im wyższa temperatura, tym krótszy czas prażenia. Wielu autorów uważa jednak, że dla uzyskania wiarygodnych wartości ilości substancji organicznej na podstawie strat prażenia do uzyskanych wyników należy wprowadzić poprawkę wg wzoru:

$$\text{Zaw. subst. org. \%} = 100 - C(100 - N)$$

gdzie: N — straty prażenia (%),
 C — wskaźnik korelacyjny.

Według Hobbsa (1986) najlepsze wyniki dla torfów uzyskuje się stosując temperaturę 450°, przy czasie prażenia 6 godzin i wskaźniku 1,20.

Projekt nowej normy badania gruntów w ramach Eurocodów (norma ENV 1997-2) zakłada, że właściwą temperaturą przy prażeniu gruntów dla oznaczania ilości substancji organicznej (popielności) dla większości gruntów jest 500–520° przy ponad 3-godzinnym czasie spalania (Garbulewski, 1998).

Ponieważ zawartość substancji organicznej jest bardzo ważnym czynnikiem niezbędnym dla oceny innych parametrów fizycznych (i mechanicznych) torfów, takich jak np. gęstość właściwa, konsystencja, oznaczenie to należy wykonywać z dużą dokładnością, a dla uzyskania porównywalnych wyników zawsze w ten sam sposób.

Stopień rozkładu

Pojęcie stopień rozkładu torfu wyraża stosunek zawartości części organicznych rozłożonych — do całkowitej masy torfu, wyrażony w procentach. Określa się go makroskopowo, mechanicznie, mikroskopowo lub chemicznie. Dla makroskopowego określenia stopnia rozkładu stosuje się najczęściej 10-stopniową skalę von Posta lub pięciostopniową skalę Wallgerena. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych proponuje stosowanie także skróconej skali trzystopniowej wg Okruszko (1974). Podobny podział proponowany jest w *Embakment on Organic Soils* (1996) za Karisonem i Harsbo, w którym wyróżniane są trzy typy torfów.

Torf włóknisty — słabo zhumifikowany, z wyraźną strukturą roślinną. Barwy brązowej do brązowo-żółtej. Przy zgnieceniu w rękę, próbka oddaje brązową do bezbarwnej wodę, mętną lub przejrzystą, ale żadnej masy torfowej. Materiał pozostały w rękę ma strukturę włóknistą (stopień humifikacji wg skali von Posta $H_1 - H_4$).

Torf pseudowłóknisty — średnio zhumifikowany z niewyraźną do stosunkowo wyraźnej strukturą roślinną. Zwykle jest brązowy. Przy zgnieceniu w rękę mniej niż połowa masy torfu przeciska się między palcami. Pozostały materiał ma mniej lub bardziej mazistą konsystencję, ale z wyraźną strukturą roślinną (stopień humifikacji wg skali von Posta $H_5 - H_7$).

Torf amorficzny — wysoko zhumifikowany. Struktura roślinna jest bardzo niewyraźna bądź całkowicie niewidoczna. Barwa brązowa do brązowo-czarnej. Przy zgnieceniu w rękę ponad połowa masy torfu przeciska się między palcami, natomiast próbka nie oddaje żadnej wody. W rękę pozostaje tylko niewiele składników włóknistych lub korzeni (stopień rozkładu wg skali von Posta $H_8 - H_{10}$).

Wszystkie metody polegają na obserwacji cech świeżego torfu ściskanego w dłoni, a więc stopnia przeciskania się masy między palcami, ilości i barwy wyciskanej wody oraz ilości i wyglądu pozostałych w rękę nie rozłożonych

szczątków. Najbardziej rozpowszechniona w badaniach inżyniersko-geologicznych jest skala von Posta. Jednak praktycznie została ona opracowana dla homogenicznych torfów pochodzących z torfowisk wysokich. Przy stosowaniu jej dla torfów niskich, często silnie zamulonych, otrzymuje się stosunkowo małą dokładność. W ten sposób stosowanie skal uproszczonych (trzy- lub pięciostopniowych) daje podobną dokładność. Maciak i Liwski (1996), proponują m.in. dla torfów niskich stosowanie 7-stopniowej skali opartej na skali von Posta, lecz rozszerzonej o dodatkowe cechy torfu.

Metoda mechaniczna oznaczania stopnia rozkładu torfu polega na przepłukiwaniu torfu przez sito o średnicy oczek 0,10–0,15 cm i oznaczaniu w procentach wagowych (w stosunku do suchej masy próbki użytej do badania) pozostałości na sicie.

Metoda mikroskopowa oceny stopnia rozkładu (tzw. mikroskopowo-procentowa wg Warłygina) polega na obserwacji zawiesiny wodnej torfu w polu widzenia mikroskopu i procentowym oznaczeniu stosunku części rozłożonych (humusu) do ilości całej substancji torfowej widocznej w danym polu. Po przebadaniu w mikroskopie kilkunastu preparatów oznacza się średni stopień rozkładu w badanej próbce (R) ze wzoru (wg Maciaka i Liwskiego, 1996).

$$R = \frac{(h_1 + h_2 + \dots + h_{15})}{(m_1 + m_2 + \dots + m_{15})} \cdot 100\%$$

gdzie: h — powierzchnia zajęta przez humus,
 m — powierzchnia zajęta przez całą próbkę.

Metody chemiczne oznaczania stopnia rozkładu torfu polegają na określeniu ilości substancji, która tworzy się w trakcie rozkładu torfu (np. kwasu huminowego). Metody te są jednak rzadko stosowane w Polsce.

Szczegółowy przegląd metod badania rozkładu torfów i ich ocenę podaje Gawlik (1992).

Według Lazara (1976) stopień rozkładu torfów niskich wynosi 25–60%; wysokich 5–50%; przejściowych 20–45%. Podawany w *Gleboznawstwie* (1996) stopień rozkładu torfowisk niskich może dochodzić do 90%.

Produktem rozkładu torfu jest humus torfowy, czyli bezstrukturalna, brunatna masa koloidalna, charakteryzująca się wysoką hydrofilnością oraz znaczną pojemnością sorpcyjną. Od cech tych zależy wiele inżyniersko-geologicznych właściwości torfu (gęstość, plastyczność, ścisłość i in.). Ze wzrostem stopnia rozkładu zmniejsza się pojemność wodna torfu, zmniejsza się gęstość właściwa szkieletu (w wyniku wzrostu ilości bitumin lekkich), zwiększa natomiast się gęstość objętościowa szkieletu (w wyniku zmniejszenia porowatości).

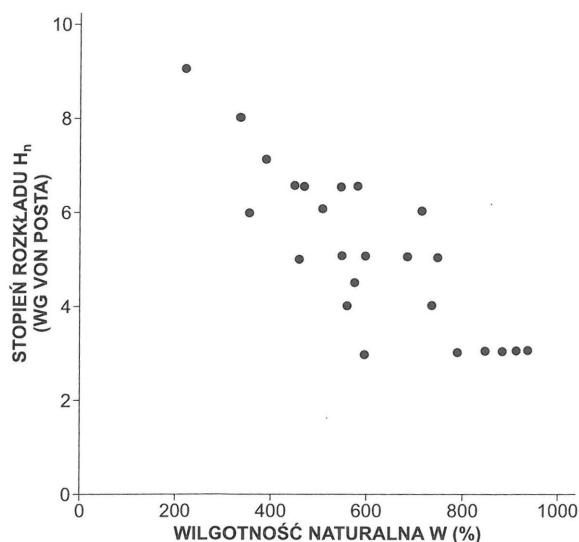
Wilgotność

Wilgotność torfów oznacza się tak jak wilgotność innych gruntów mineralnych i organicznych jako stosunek masy wody zawartej w badanej próbce do masy próbki suchej wyrażony w procentach. Laboratoryjnie wilgotność wyznaczana jest przez suszenie próbki w temperaturze 105°C.

Hobbs (1986) proponuje w warunkach polowych określanie wilgotności torfu według następującej zasady: 1 — torf suchy (kruchy, zagęszczony); 2 — torf wilgotny (niski); 3 — bardzo wilgotny (torf przejściowy); 4 — ekstremalnie wilgotny (torf wysoki) i stosowanie 5-cio stop-

niowej skali do oznaczania połowej wilgotności (od B₁ do B₅). Według tej skali B₁ oznacza torf suchy, B₂ — torf o wilgotności mniejszej niż 500%, B₃ — wilgotność 500–1000%, B₄ — wilgotność 1000–2000% i B₅ — wilgotność ponad 2000%.

Wilgotność torfu zależy od typu torfowiska (najwyższa jest w torfach wysokich), zawartości substancji humusowej (rośnie ze wzrostem ilości humusu), stopnia rozkładu torfu (w obrębie każdego typu torfowiska wilgotność spada ze wzrostem stopnia rozkładu — ryc. 1), głębokości (rośnie ze wzrostem głębokości).



Ryc. 1. Wpływ stopnia rozkładu torfu (H_n) na zmianę jego wilgotności (w) (Hobbs, 1986)

Fig. 1. Influence of degree of decomposition of peat (H_n) on its moisture (w) (Hobbs, 1986)

Gęstość właściwa szkieletu gruntowego, porowatość

Gęstość właściwa szkieletu gruntowego torfu (ρ_s) jest to stosunek masy suchej próbki torfu do objętości tej masy. Charakteryzuje więc fazę stałą torfu — część organiczną i mineralną, ich właściwości i ilościowy stosunek. Jest ona wprost proporcjonalna do popielności torfu i odwrotnie proporcjonalna do stopnia rozkładu substancji organicznej. Gęstość właściwa szkieletu jest oznaczana w przypadku torfów metodą piknometru (w próżni) lub metodą Kolby Le Chateliera. Gęstość właściwa (oraz gęstość objętościowa) są bardzo często stosowane do obliczania objętości fazy stałej oraz porowatości gruntu. O ile oznaczenie gęstości objętościowej nie sprawia specjalnych trudności metodycznych, to laboratoryjne oznaczanie gęstości właściwej, zwłaszcza gruntów organicznych jest znacznie bardziej skomplikowane, a uzyskiwane wyniki nie zawsze mają wymaganą dokładność. Właściwości substancji organicznej zmieniają się w trakcie suszenia próbek, a wysuszoną próbkę trudno jest całkowicie nasycić wodą w celu całkowitego usunięcia z niej powietrza, co jest warunkiem prawidłowego oznaczenia gęstości właściwej. Stosowanie różnych zabiegów (gotowanie próbki w wodzie, zastępowanie wody cieczami nie polarnymi, trzymanie próbki w próżni) nie zawsze daje zadowalające pod względem dokładności wyniki. Dlatego też różni autorzy próbują ustalić wzory dla obliczeniowego uzyskania wartości

gęstości właściwej. Wszystkie wzory opierają się na założeniu, że grunty organiczne (lub gleby) składają się z części mineralnej i organicznej, których wartości gęstości właściwej mieszczą się w określonych zakresach a podstawą obliczeń jest zawartość w danym gruncie części organicznych. Okruszko (1971) m.in. uznaje, że proporcjonalnie do wzrostu zawartości substancji organicznej (a tym samym spadku zawartości części mineralnych) obniża się wartość gęstości właściwej gleb. Zależność tę opisuje równaniem regresji:

$$y = 0,011x + 1,451 \quad (\text{przy } r = 0,960)$$

gdzie: y — gęstość właściwa (g/cm^3),
 x — zawartość części mineralnych.

Autor ten na podstawie badań ok. 3000 próbek uznał, że wzór ten można stosować dla gleb hydrogenicznych (w tym torfów) o zawartości substancji organicznej od 0,5 do 99,3%.

Najczęściej stosowany wzór w literaturze anglojęzycznej został zaproponowany przez Skempton i Petleya (1970), przy założeniu, że średnia wartość gęstości właściwej szkieletu mineralnego w torfach wynosi $2,7 \text{ g/cm}^3$, a średnia gęstość właściwa części organicznych $1,4 \text{ g/cm}^3$. Według tych autorów wzór ma następującą postać:

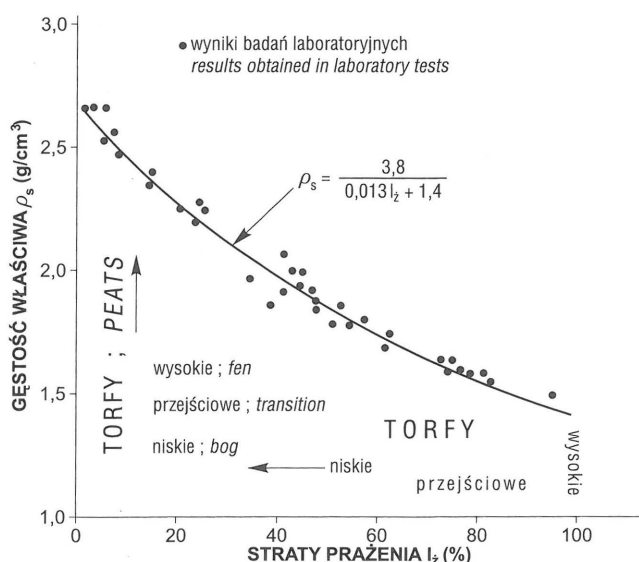
$$\rho_s = \frac{3,8}{(0,013N + 1,4)}$$

gdzie: ρ_s — gęstość właściwa szkieletu gruntowego (g/cm^3),

N — zawartość substancji organicznej oznaczona przez straty prażenia

Uzyskane na podstawie tego wzoru wartości gęstości właściwej szkieletu mieszczą się w granicach wartości ustalonych laboratoryjnie ($N = 1 - A_c$) %.

Na ryc. 2 przedstawiono wykres zależności wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (obliczonej z powyższego wzoru) od wartości strat prażenia oraz warto-



Ryc. 2. Zależność gęstości właściwej szkieletu gruntowego (ρ_s) torfu od strat prażenia (I_z) (Hobbs, 1986)

Fig. 2. Relationship of density of solid particles (ρ_s) of peat to ignition losses (I_z) (Hobbs, 1986)

ści r_s uzyskane dla torfów z różnych torfowisk w Anglii (za Hobbsem, 1986). Na ryc. 3 znajduje się ta sama zależność uzyskana dla torfów z różnych torfowisk w Polsce badanych przez różnych autorów. Analiza obu rycin wskazuje, że: 1 — wartości gęstości właściwej torfów z obszaru Polski mieszczą się w granicach wartości tego parametru oznaczonego dla torfów z Anglii; 2 — wzór zaproponowany przez Skempton i Petleya można z dużym powodzeniem stosować dla torfów z Polski, co w znakomity sposób uprości badania tego parametru.

Gęstość objętościowa

Gęstość objętościowa torfu (nazywana także w gleboznawstwie gęstością pozorną lub pozorną chwilową) wyraża stosunek masy próbki wilgotnej do jej objętości. Zależy ona głównie od zawartości części organicznych i maleje w miarę wzrostu tej zawartości. Gęstość objętościowa przy jednakowej wilgotności torfu wzrasta w miarę zwiększenia się stopnia rozkładu a przy jednakowym stopniu rozkładu zwiększa się wraz ze wzrostem wilgotności. Na ogół przy jednakowej wilgotności gęstość objętościowa torfów wysokich jest niższa od gęstości objętościowej torfów niskich.

Gęstość objętościową torfu suchego (ρ_d) oblicza się ze wzoru:

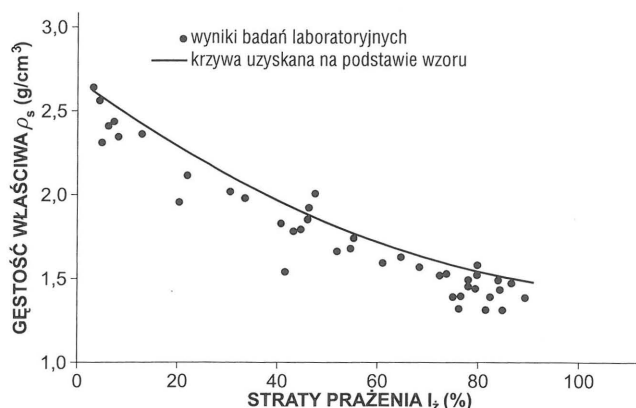
$$\rho_d = \frac{100 \times \rho}{100 + w_n}$$

gdzie: ρ — gęstość objętościowa (g/cm^3),
 w_n — wilgotność naturalna.

Wartość gęstości objętościowej torfu suchego zależy przede wszystkim od stopnia jego rozkładu oraz popielności i wynosi wg Lazara (1976) $0,04 - 0,08 \text{ g/cm}^3$ dla torfów wysokich, $0,11 - 0,26 \text{ g/cm}^3$ dla torfów niskich i $0,11 - 0,16 \text{ g/cm}^3$ dla torfów przejściowych. Według Fürstenberga (1980) wartości te wynoszą: dla torfów wysokich $0,02 - 0,15 \text{ g/cm}^3$ i $0,05 - 0,17 \text{ g/cm}^3$ dla torfów niskich.

Porowatość

Porowatość (n) torfów wraza się stosunkiem objętości porów w próbce (V_p), do jej całkowitej objętości (V) przedstawionym w procentach: $n = V_p : V \times 100\%$.



Ryc. 3. Zależność gęstości właściwej szkieletu gruntowego (ρ_s) torfu z obszaru Polski od strat prażenia (I_z)

Fig. 3. Relationship of density of solid particles (ρ_s) of peat from Poland to ignition losses (I_z)

Wskaźnikiem porowatości (e) nazywa się stosunek objętości porów do objętości szkieletu gruntowego:

$$e = V_p : V_s \times 100\%$$

Porowatość można wyliczyć ze wzoru:

$$n = 1 - [\rho : \rho_s (w_n - 1)],$$

a wskaźnik porowatości ze wzoru:

$$e = [\rho_s (w_n + 1) : \rho] - 1$$

gdzie: ρ — gęstość objętościowa (g/cm^3),
 ρ_s — gęstość właściwa (g/cm^3),
 w_n — wilgotność naturalna (%).

Okruszeko (1971) uznał, że dla gleb hydrogenicznych, mało zmienionych pod wpływem procesów murszenia (średnio zagęszczonych) porowatość można obliczać także na podstawie gęstości objętościowej, według wzoru:

$$y = 95,89 - 36,5x \quad (\text{przy } r = 0,994),$$

gdzie: y — porowatość (n),

x — gęstość objętościowa ($\rho \text{ g/cm}^3$)

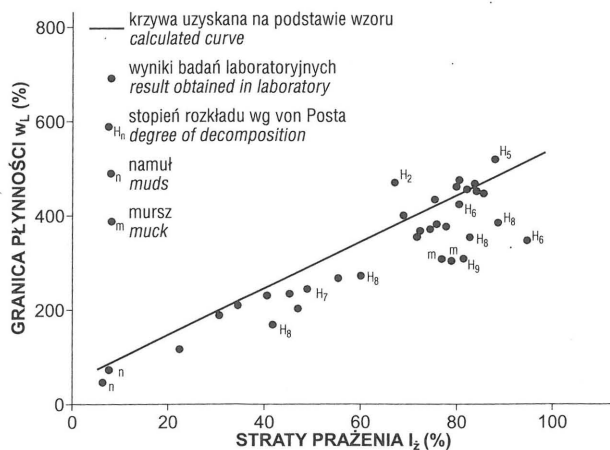
Porowatość torfów jest znacznie wyższa od porowatości gruntów mineralnych. Wartość jej zależy od składu botanicznego torfu (rodzaju i gatunku torfu) i jest odwrotnie proporcjonalna do stopnia jego rozkładu. Według Fürstenberga (1980) wskaźnik porowatości (e) torfu niskiego przy stopniu rozkładu 15% wynosi 20,6, a przy stopniu rozkładu 45% — 11,3, a wskaźnik porowatości torfu wysokiego odpowiednio 27,9 oraz 12,5.

Konsystencja

Konsystencję torfów opisują: granica płynności, granica plastyczności i wskaźnik plastyczności. Granice te mogą być oznaczane metodą Casagrande'a lub metodą stożka (penetrometru). Wybór metody zależy od stopnia rozkładu torfu i zawartości części mineralnych. Włóknista struktura torfów utrudnia badania zarówno granicy płynności jak i plastyczności. Stąd też najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się dla torfów dobrze rozłożonych i zawierających znaczną ilość części mineralnych (zazwyczaj cechy te posiadają torfy niskie). Według Hobbsa (1986) badania plastyczności torfów można przeprowadzać bez specjalnych trudności przy stopniu rozkładu powyżej H_3 wg skali von Posta. Torfy dobrze rozłożone o podwyższonej zawartości części mineralnych, mogą być badane metodą Casagrande'a. Stosuje się jednak zamiast ryłca płaskiego ryłce zakrzywione o przekroju trójkąta. Granice konsystencji torfów włóknistych, słabo rozłożonych bada się na ogół różnego typu penetrometrami. Przed przystąpieniem do badań należy jednak zawsze usunąć z próbki większe włókna i fragmenty drewna. Należy pamiętać, że próbki nie mogą być przed badaniem przesuszone (nawet na powietrzu, gdyż powstające trwałe wiązania w substancji organicznej mogą zniekształcać wyniki). Do badania stosuje się wodę destylowaną lub wodę z danego torfowiska, przechowywaną w ciemnych szklanych słojach w chłodnych pomieszczeniach.

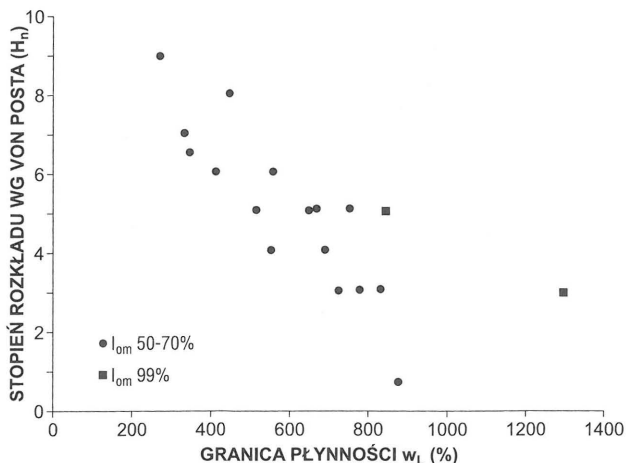
Granica płynności. Wartość granicy płynności torfów zależy od zawartości substancji organicznej, jej charakteru (rodzaj i gatunek torfu), stopnia rozkładu oraz od ilości i charakteru części mineralnych. Ogólnie torfy wysokie

mają znacznie wyższe wartości granic płynności niż torfy niskie. Według Hobbsa (1986) wartości granic płynności wahają się od ok. 200 do 600% dla torfów niskich i od ok. 800 do 1500% dla torfów wysokich (dla porównania granica płynności montmorillonitu sodowego wynosi ok. 1100%). Na ryc. 4 przedstawiono zależność wartości granicy płynności torfów niskich z różnych obszarów Polski od zawartości substancji organicznej wyrażonej stratami prażenia. Z wykresu wyraźnie wynika, że wartość granicy płynności wzrasta ze wzrostem zawartości substancji organicznej. Świadczy to m.in. o tym, że substancja organiczna jest na ogół bardziej hydrofilna niż części mineralne. Tak więc dla torfów ilość i charakter substancji organicznej jest w przypadku kształtowania się granicy płynności czynnikiem podstawowym a zawartość i charakter części mineralnych czynnikiem modyfikującym. Podane przykładowo na wykresie dla niektórych próbek wartości stopnia rozkładu wg skali von Posta wskazują, że wartość granicy płynności wzrasta ze zmniejszeniem się stopnia rozkładu torfu. Potwierdza to ryc. 5, na której przedstawiono za Hobbem (1986) zależność granicy płynności od stopnia rozkładu torfu (wg skali von Posta) dla torfów o zawarto-



Ryc. 4. Zależność granicy płynności (w_L) od strat prażenia (I_z) dla torfów z obszaru Polski

Fig. 4. Relationship of liquid limit (w_L) to ignition losses (I_z) for peats from Poland

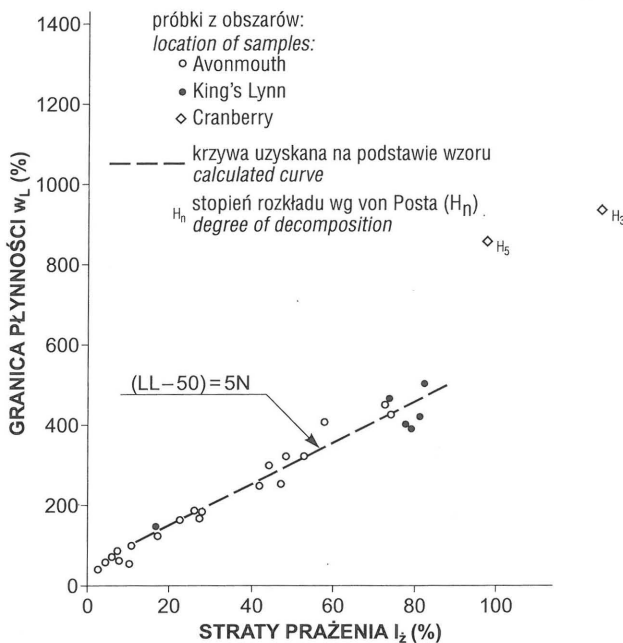


Ryc. 5. Zależność granicy płynności (w_L) od stopnia rozkładu torfu (H_n) (Hobbs, 1986)

Fig. 5. Relationship of liquid limit (w_L) to degree of decomposition of peat (H_n) (Hobbs, 1986)

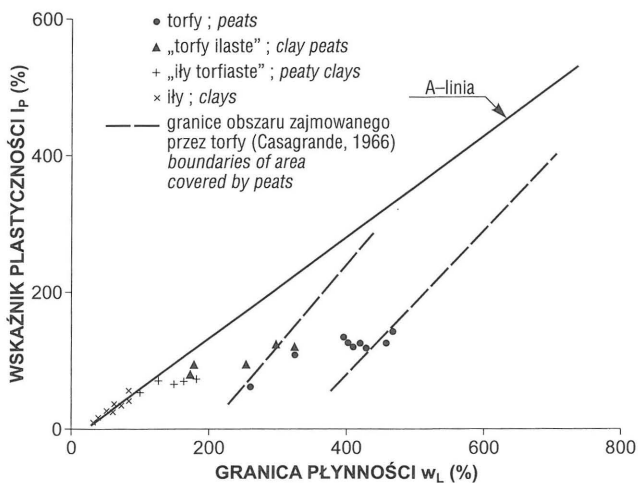
ści substancji organicznej w granicach 50–70%. Umieszczone na wykresie dwa punkty charakteryzujące torfy wysokie o zawartości substancji organicznej 99% (a więc bez części mineralnych modyfikujących wartość granicy płynności), lecz niskim stopniu rozkładu, wyraźnie podkreślają tę zależność.

Biorąc pod uwagę błędy wynikające z techniki oznaczania granicy płynności oraz wyraźną zależność jej wartości od ilości substancji organicznej Skempton i Petley (1970) zaproponowali wyliczanie granicy płynności na podstawie wzoru: $LL - 50 = 5N$; ($LL = 5N - 50$), w którym LL oznacza granicę płynności (w_L %), a N zawartość substancji organicznej uzyskaną na podstawie strat prażenia (I_z %). Autorzy ci stwierdzają, że wzór daje wyniki z dokładnością $\pm 20\%$ w stosunku do wartości uzyskanych doświadczalnie dla torfów o wartościach strat prażenia w granicach 20–80% oraz o średnim i wysokim stopniu



Ryc. 6. Zależność granicy płynności (w_L) od strat prażenia (I_z) (Skempton & Petley, 1970)

Fig. 6. Relationship of liquid limit (w_L) to ignition losses (I_z) (Skempton & Petley, 1970)

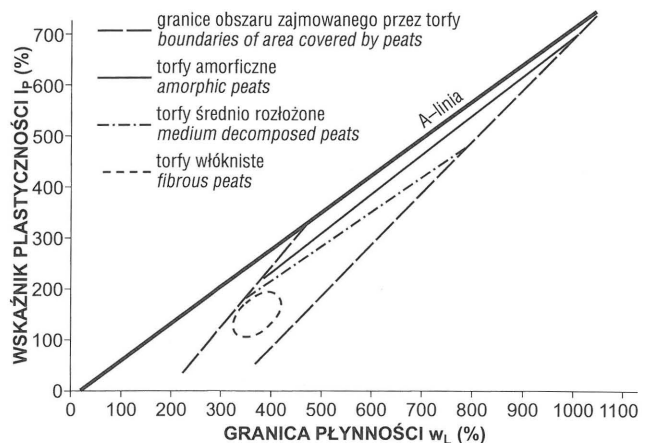


Ryc. 7. Położenie różnych gruntów na wykresie Casagrande'a (Skempton & Petley, 1970)

Fig. 7. Position of various soils on the Casagrande chart (Skempton & Petley, 1970)

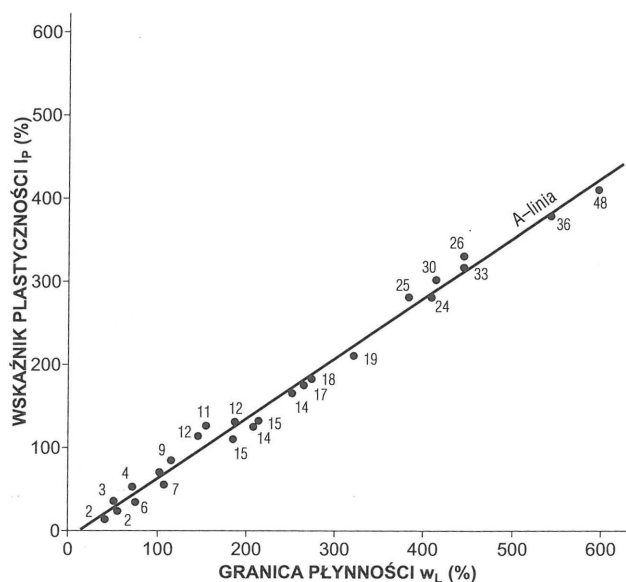
rozkładu (ryc. 6). Na ryc. 4 znajduje się wykres uzyskany dla torfów niskich z obszaru Polski. Z przedstawionego wykresu wynika, że wzór wg Skempton i Petleya daje zadawalające wyniki dla torfów o stopniu rozkładu średnim ($H_5 - H_7$ wg skali von Posta). Torfy o wyższym stopniu rozkładu oraz mursze osiągają niższe wartości granicy płynności niż to wynika ze wzoru. Dla torfów z obszaru Polski o niskim stopniu rozkładu nie stwierdzono tak znacznych odstępstw od wartości uzyskanych ze wzoru, jak to przedstawiają Skempton i Petley (1970).

Wskaźnik plastyczności, wykres Casagrande'a. Opisanie plastyczności torfów za pomocą wykresu Casagrande'a (zależność wskaźnika plastyczności od granicy płynności) stwarza trudności wynikające z różnego charakteru struktury torfów (stopnia rozkładu, zawartości części mineralnych itp.). Na ryc. 7 za Skemptonem i Petleyem (1970) przedstawiono położenie różnych gruntów na wykresie Casagrande'a. Na wykresie tym próbki charakteryzujące iły mineralne położone są na „linii — A”, co uznano za typowe dla tych gruntów, iły organiczne (torfowe) poniżej tej linii, natomiast torfy ilaste stanowią przedłużenie tej tendencji, charakteryzując się wyższymi wartościami granicy płynności, przy mniejszym proporcjonalnie (w porównaniu z gruntami mineralnymi) wzroście wskaźnika plastyczności. Na ryc. 8 przedstawiono przedział wartości, w którym wg Casagrande (1966) mieszczą się torfy o różnym stopniu rozkładu. Torfy słabiej rozłożone mieszczą się w dolnych partiach przedziału, natomiast bardziej amorficzne, silniej rozłożone znajdują się bliżej „linii — A”. Tendencję tę potwierdza ryc. 9, na której na wykresie Casagrande'a przedstawiono dla porównania punkty charakteryzujące mady o wysokiej zawartości frakcji ilowej i niskiej zawartości dobrze rozłożonej substancji organicznej oraz gytie o wysokiej zawartości amorficznej substancji organicznej. Punkty charakteryzujące próbki tych gruntów leżą bezpośrednio na „linii — A”. Na ryc. 10 na wykres Casagrande'a, uzupełniony przez L. Casagrande'a (1966) i Hobbsa (1986), naniesiono wyniki badań plastyczności próbek z obszaru Polski. Przy punktach zaznaczono także zawartość substancji organicznej w danej próbce (straty prażenia). Z wykresu tego wynika, że wartości granicy płynności i wskaźnika plastyczności w znacznym stopniu zależą od zawartości substancji organicznej, zwiększając wartości ze wzrostem ilości tej substancji



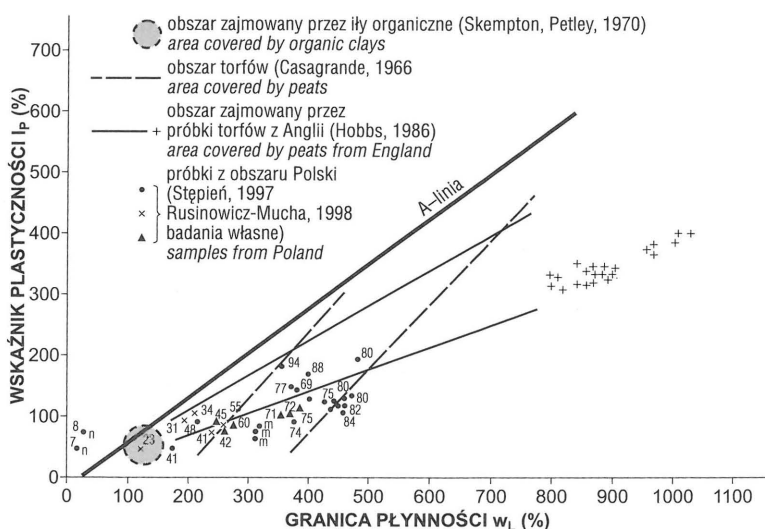
Ryc. 8. Położenie torfów na wykresie Casagrande'a (L. Casagrande, 1966)

Fig. 8. Position of peats on the Casagrande chart (L. Casagrande, 1966)



Ryc. 9. Położenie mady ($I_{om} = 2 - 12\%$) i gytii ($I_{om} = 12 - 48\%$) na wykresie Casagrande'a (cyfry na rycinie oznaczają zawartość substancji organicznej)

Fig. 9. Position of alluvial soils ($I_{om} = 2 - 12\%$) and gyttia ($I_{om} = 12 - 48\%$) on the Casagrande chart (numbers on figure correspond to organic matter content)



Ryc. 10. Położenie próbek torfów z obszaru Polski i innych państw na wykresie Casagrande'a

Fig. 10. Position of samples of peats from Poland and other countries on the Casagrande chart

Wnioski

1. Podstawowymi czynnikami kształtującymi właściwości fizyczne torfów są: geneza, zawartość substancji organicznej i stopień rozkładu tej substancji, przy czym geneza torfu w znacznym stopniu określa kształtowanie się pozostałych czynników a zwłaszcza zawartość substancji organicznej.

2. Od ilości substancji organicznej zależą m.in. wilgotność, gęstość właściwa, granica płynności, stopień plastyczności.

3. Przy takiej samej zawartości substancji organicznej podstawowym czynnikiem wpływającym na wartości parametrów fizycznych jest stopień rozkładu tej substancji.

4. Od stopnia rozkładu substancji organicznej zależą m. in. takie parametry jak wilgotność, porowatość, granica płynności.

5. Oznaczanie laboratoryjne gęstości właściwej torfów można zastąpić metodą obliczeniową wg Skempton'a i Petley'a (1970), uzyskując dużą dokładność wyników.

6. Oznaczanie granicy płynności torfów jest utrudnione jego włóknistą strukturą, dlatego też zadowalające wyniki uzyskuje się dla torfów ilastych i torfów o wysokim i średnim stopniu rozkładu ($H_6 - H_{10}$ wg skali von Posta).

7. Zadowalające wyniki przy stosowaniu wzoru dla obliczania granicy płynności uzyskuje się tylko dla torfów o zawartości substancji organicznej ponad 20%.

Literatura

- CASAGRANDE L. 1966 — Construction of embankments across peaty soils. Proceed. Boston Soc. Civil Engineer., 53: 272-317.
- DOBRAŃSKI B. & ZAWADZKI S. (red) 1995 — Gleboznawstwo. PWRiL: 440-452.
- FRANKIEWICZ J. K. 1980 — Własności torfu, [W:] Surowce mineralne świata. Torf. Wyd. Geol.: 2-45.
- FÜRSTENBERG A. 1980 — Posadawianie budowli melioracyjnych na podłożu organicznym. Inż.-geol. problemy badań pokrywy czwartorzędowej w Polsce. Narada naukowa Geoprojekt, Bocheniec: 148-179.
- GARBULEWSKI K. 1998 — Badania laboratoryjne pr. ENV 1997-2 (porównanie ze stanem aktualnym w Polsce). Konf. Nauk.-Techn.: Harmonizacja polskich norm geotechnicznych z systemem norm europejskich. Pułtusk, 1998: 35-66.
- GAWLIK J. 1992 — Wpływ stopnia rozkładu torfu i jego zagęszczenia na właściwości wodno-retencyjne utworów torfowych. IMUZ, Lublin - Falenty: 1-52.
- HARTLEN J. & WOLSKI W. (eds) 1996 — Embankments on Organic Soils. Elsevier, Amsterdam -Tokyo: 4-84.
- HOBBS N. B. 1986 — Mire morphology and the properties and behaviour of some foreign peats. Quarter. J. Engineer. Geol., 19: 7-80.
- LAZAR J. 1976 — Gleboznawstwo z podstawami geologii. PWN: 390-398.
- MACIAK F. & LIWSKI S. 1996 — Ćwiczenia z torfoznawstwa. Wyd. SGGW. Warszawa: 41-47.
- MYŚLIŃSKA E. 1998 — Laboratoryjne badania gruntów. PWN: 187-203.
- OKRUSZKO H. 1971 — Określanie ciężaru właściwego gleb hydrogenicznych na podstawie zawartości w nich części mineralnych. Wiad. IMUZ, 10: 47-54.
- OKRUSZKO H. 1974 — Zasady rozpoznawania i podziału gleb hydrogenicznych z punktu widzenia potrzeb melioracji. Bibl. Wiad. IMUZ, 52: 7-54.
- PN-85/G-02500. Torf. Genetyczny podział surowca.
- RUSINOWICZ-MUCHA A. 1998 — Inżyniersko-geologiczna charakterystyka gruntów na zachód od Pruszkowa ze szczególnym uwzględnieniem gruntów organicznych. Pr. magister. Arch. IHiGI. Wyd. Geol. Warszawa: 40-42.
- RYKA W. & MALISZEWSKA A. 1991 — Słownik petrograficzny. Wyd Geol.: 375.
- SKEMPTON A. W. & PETLEY D. J. 1970 — Ignition loss and other properties of peats and clays from Aronmouth Kings, Lynn and Cranberry Moss. Geotechnique, 20: 343-356.
- STĘPIEŃ A. 1993 — Wpływ cyklicznych zmian termicznych i wilgotnościowych na niektóre parametry fizyczne i chemiczne torfów. Tech. Poszuk. Geol. Geosynop. Geoterm., 2: 77-81.
- STĘPIEŃ A. 1996 — Zależność parametrów gęstościowych od zawartości substancji organicznej dla gruntów okolic Białej Podlaskiej i Kurowa. Prz. Geol., 44: 801-804.