

Występowanie agregatów w gruntach spoistych i ich wpływ na ocenę niektórych właściwości tych gruntów

Elżbieta Myślińska*

Occurrence of aggregates in cohesive soils and their influence on evaluation of selected properties. Prz. Geol., 52: 653–656.

S u m m a r y. The paper presents problems linked with the presence of aggregates in cohesive mineral and organic soils. Aggregates are present in almost all of these soil types. They result from the cooperation of clay particles, soil crystallization, cooperation between clay particles and organic matter as well as such factors as soil loading or drying. Aggregates are to a variable degree resistant to external factors. Most resistant are organic-mineral aggregates, particularly after drying. The presence of aggregates decreases the degree of soil dispersion, and thus their total surface and hydrophility. At the same time the porosity and permeability of aggregate soils increases in comparison to more dispersive soils. Examples of changes in the activity value (coefficient *A*) for soils are presented according to the results of microaggregate analysis, that is presence of aggregates, in relation to the coefficient calculated with the use of results of granulometric analysis determining the primary granulometric content. In order to evaluate correctly the different parameters determined basing on the correlation with the clay fraction content, a granulometric analysis of the primary clay fraction content as well as microaggregate analysis should be carried out.

Key words: aggregates, granulometric analysis, microaggregate analysis, aggregate fraction, granulometric fraction, activity

Grunty spoiste mineralne, a także organiczne, składają się nie tylko z pojedynczych ziarn, cząstek mineralnych i organicznych, ale także z agregatów powstałych z połączeń tych elementów.

Tworzenie się agregatów w gruntach spowodowane jest z jednej strony dążeniem wyskodypersyjnych cząstek pierwotnych do zmniejszenia energii powierzchniowej drogą agregacji, z drugiej zaś działaniem sił molekularnego przyciągania między cząstkami pierwotnymi. Przyczyną agregacji może być wiele a agregaty mogą mieć różną trwałość. Jeśli agregaty są utworzone tylko z cząstek mineralnych ilastych połączonych siłami przyciągania międzycząsteczkowego (siłami van der Waalsa), elektrostatycznego czy poprzez wiązania wodorowe, lub cząstki te występują jako lepszycze między cząstkami i ziarnami innych mineralów, są to z reguły agregaty nietrwałe i rozbicie ich może nastąpić pod wpływem wody, lub mechanicznego działania. Jeśli ziarna i cząstki są połączone (scementowane) innymi składnikami mineralnymi, np. wodorotlenkami żelaza i glinu lub węglanami, agregaty mogą nie rozpaść się w wodzie i wykazywać wytrzymałość mechaniczną.

Inny typ agregatów stanowią kompleksy organiczno-mineralne, będące połączeniami substancji organicznej z minerałami ilastymi lub innymi związkami nieorganicznymi. Według Thenga (1979) istnieje kilka typów takich połączeń (związków kompleksowych) o różnym znaczeniu dla struktury gruntu, w którym się znajdują i o różnej trwałości. Za jedno z bardziej typowych autor ten uznał połączenia mineralów ilastych z substancją humusową przez tzw. mostki kationowe. Agregaty powstałe w wyniku połączeń substancji organicznej i mineralnej są zwykle trwałe w obecności wody, zwłaszcza po przesuszeniu.

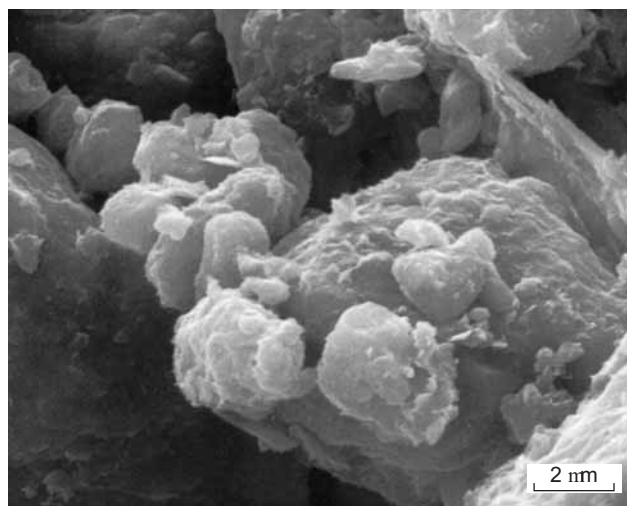
Obecność agregatów w gruntach zmienia obraz ich struktury w porównaniu ze strukturą gruntów składających się tylko z pierwotnych ziarn i cząstek. To z kolei wpływa na modyfikację tych właściwości gruntów, które wynikają z ich stopnia dyspersji (składu granulometrycznego). A więc odzwierciedlają siły związane z ich powierzchnią właściwą. Analizy granulometryczne określające pierwotny skład granulometryczny gruntu nie pozwalają na dokładne ustalenie zależności korelacyjnych między zawartością określonych frakcji znajdujących się w próbce

naturalnej, a takimi parametrami inżyniersko-geologicznymi jak porowatość, a więc i przepuszczalność, jak również plastyczność, pęcznienie, ściśliwość i inne, gdyż w naturze frakcje te nie występują w stanie rozproszonym.

Dla pełnego zrozumienia i możliwości prognozy zmiany takich właściwości niezbędna jest zarówno ocena pierwotnego składu granulometrycznego, jak i stopnia agregacji gruntu, zachodzącego w określonych warunkach jego składu, wilgotności i obciążenia.

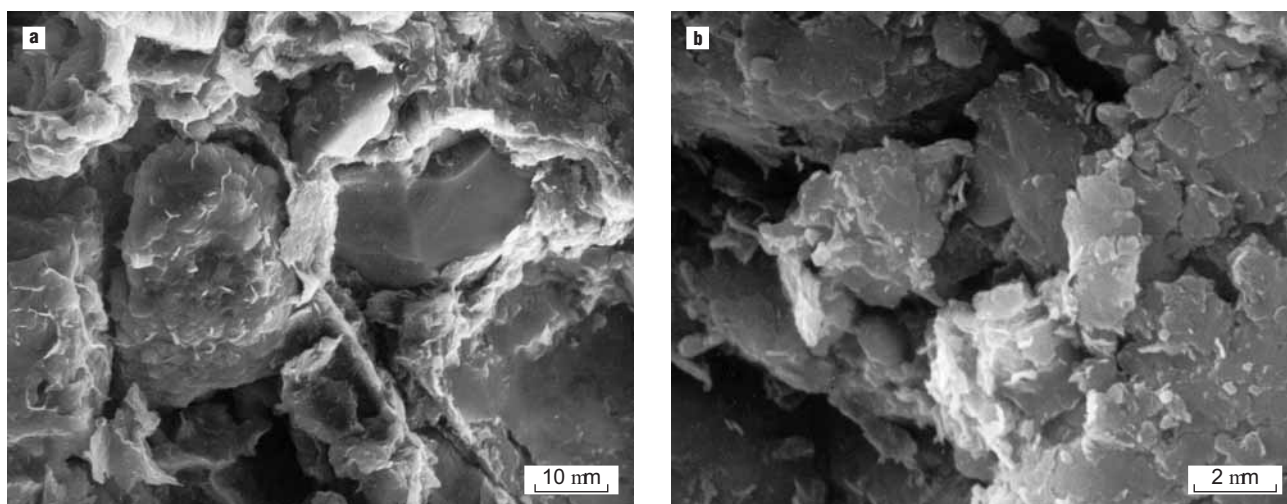
Uwzględnieniem istnienia agregatów i ich charakteru, zwłaszcza w gruntach spoistych mineralnych, zajmowano się już dość dawno, chociaż zdaniem autorki niedostatecznie wykorzystano uzyskaną wiedzę do oceny konkretnych właściwości gruntów.

Obecność agregatów o różnej trwałości stwierdzono w wielu gruntach, przy czym najszerszej zbadane i opisane zostały agregaty występujące w lessach (ryc. 1). Wynika to przede wszystkim z poszukiwania mechanizmu osiadania zapadowego w tych utworach. Zjawiskiem agregacji i reagregacji lessów zachodzącymi przy zmianie ich wilgotności lub zwiększaniu obciążenia zajmował się W.C. Kowalski. Autor ten (Kowalski, 1980) zwraca m.in. uwagę, że wysoka zdolność utworów lessowych do tworzenia agregatów powoduje w wielu przypadkach ich błędną ocenę na podstawie analizy makroskopowej. Opisując obec-



Ryc. 1. Powierzchnia mikrostrukturalna lessu (fot. P. Dzierżanowski)
Fig. 1. Microstructural surface of loess (photo P. Dzierżanowski)

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e.myslinska@uw.edu.pl



Ryc. 2. Powierzchnia mikrostrukturalna: a — iltu miocenijskiego, b — gliny zwałowej; próbka z kolekcji E. Wójcik (fot. P. Dzierżanowski)

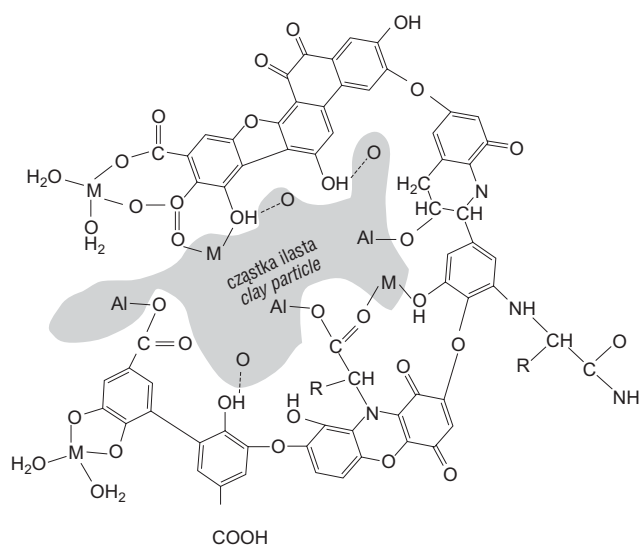
ność agregatów w utworach lessowych stwierdza jednocześnie, że skala zjawiska jest na tyle znaczna, iż może wpływać nawet na zmianę usytuowania lessów w klasyfikacji skał osadowych (Kowalski, 1982). Badając wpływ obciążenia lessów w różnych warunkach wilgotnościowych, na ich agregację i reagregację Kowalski i Hoffmann (1983) stwierdzili, że skład granulometryczny i agregatowy lessów wykazuje tendencję do zmian w wyniku jego obciążenia nadkładem, przy czym zjawisko to może różnić się natężeniem w przypadku różnej wilgotności początkowej. Autorzy wnioskują, że „bardziej precyzyjna prognoza inżyniersko-geologiczna zachowania się podłoża pod obciążeniami budowlanymi powinna uwzględniać możliwość zmian struktury lessów i innych porowatych pylastych i iltastych gruntów spoistych”.

Wpływ wilgotności początkowej jeziornych gruntów spoistych (gliny, gliny pylaste, gliny pylaste zwięzłe i ilt pylaste) na obecność w nich agregatów („procentową zawartość frakcji agregatowej”) wykazała Andrzejczak (1982). Autorka ta stwierdziła, że zjawisko to występuje zarówno w gruntach o strukturze nienaruszonej, jak i w pastach gruntowych, przy czym agregacja jest tym wyższa im niższa jest wilgotność przygotowanej pasty gruntowej. Oznacza to, że więcej agregatów pozostaje w pastach o wilgotnościach bliskich granicy plastyczności, mniej przy wilgotnościach bliskich granicy płynności. W kolejnej pracy Andrzejczak (1984) stwierdza (potwierdzając wcześniejsze dane z literatury), że w budowie agregatów wyżej wymienionych utworów jeziornych, znaczną rolę odgrywają związki żelaza trójwartościowego oraz węglany. Interesujące jest natomiast, że nie stwierdza ona wpływu na tworzenie agregatów substancji organicznej. Należy to jednak przypisać małej jej ilości w prezentowanych próbkach (straty prażenia w granicach 0,6–5,7%).

Autorka (Myślińska, 1974) badając wpływ chemizmu wody porowej gruntów spoistych o różnej genezie, na ich właściwości inżyniersko-geologiczne, stwierdziła znaczny udział tego czynnika na kształtowanie się takich parametrów jak granice konsystencji, pęcznienie, rozmakanie, ściśliwość, upatrując m. in., że istnienie takich zależności jest wynikiem tworzenia się agregatów, przy zwiększeniu mineralizacji wody porowej. Powoduje to jednocześnie zwiększenie porowatości, a więc przepuszczalności i ściśliwości. Agregaty te, powstające w wyniku działania sił międzycząsteczkowych, są w większości przypadków nietrwałe i mogą być niszczone zarówno w procesie badania

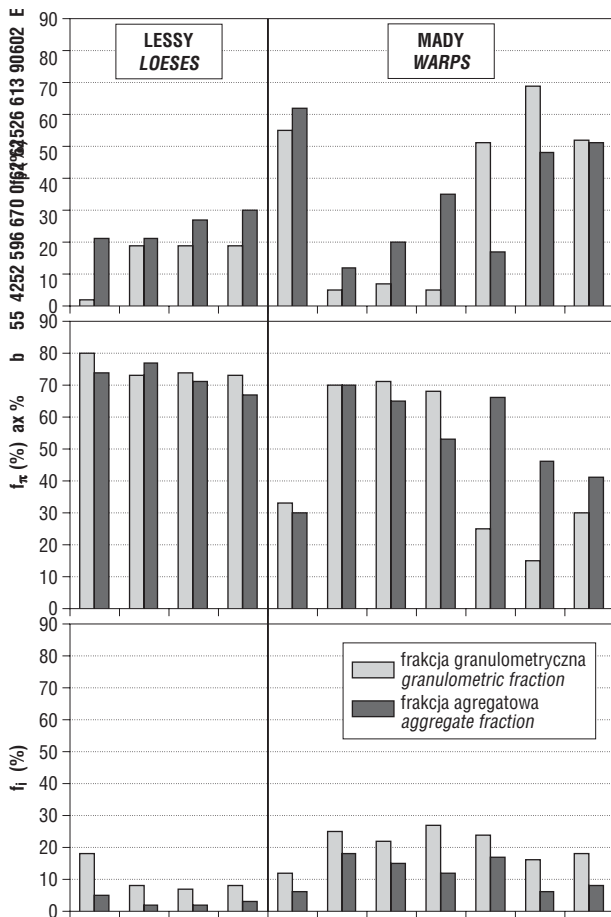
składu granulometrycznego, jak i mikroagregatowego. Przy wysokiej mineralizacji wód porowych i przesuszeniu gruntu mogą jednak powstawać także silniejsze wiązania krystalizacyjne, cementujące cząstki i nie usuwane w czasie przygotowywania próbek do analiz. Obecność agregatów autorka stwierdziła także w innych gruntach spoistych m. in. madach, glinach, iltach (ryc. 2). Problem więc dotyczy całego zespołu gruntów spoistych, niezależnie od ich genezy i warunków występowania. Staje się on zwłaszcza ważny w przypadku prób oceny ich parametrów inżyniersko-geologicznych na podstawie korelacji tych parametrów ze składem granulometrycznym.

Oczywiście należy tu brać pod uwagę nie tylko obecność agregatów w badanych gruntach, ale i ich trwałość w warunkach wykonywanych analiz. Najmniejsze różnice między składem granulometrycznym a mikroagregatowym uzyskuje się w przypadku agregatów nieodpornych na działanie wody. Do takich należą wspomniane wyżej połączenia cząsteczek w wyniku działania sił van der Waalsa działających w warunkach silnej mineralizacji wody porowej (Myślińska, 1974) i osłabianych w wyniku jej rozcieńczenia, przy wykonywaniu analiz. Znacznie bar-



Ryc. 3. Schemat agregatu mineralno-organicznego (wg Koskinen & Harper, 1990 [In:] Pittman & Lewan, 1994)

Fig. 3. Scheme of the mineral-organic aggregate (after Koskinen & Harper, 1990 [In:] Pittman & Lewan, 1994)



Ryc. 4. Porównanie zawartości frakcji granulometrycznych i agregatowych w wybranych próbkach lessów i mad (cytowane dane na ryc. 5)
 Fig. 4. Comparison of the granulometric and aggregate fraction contents in samples of loesses warps and (data cited on Fig. 5)

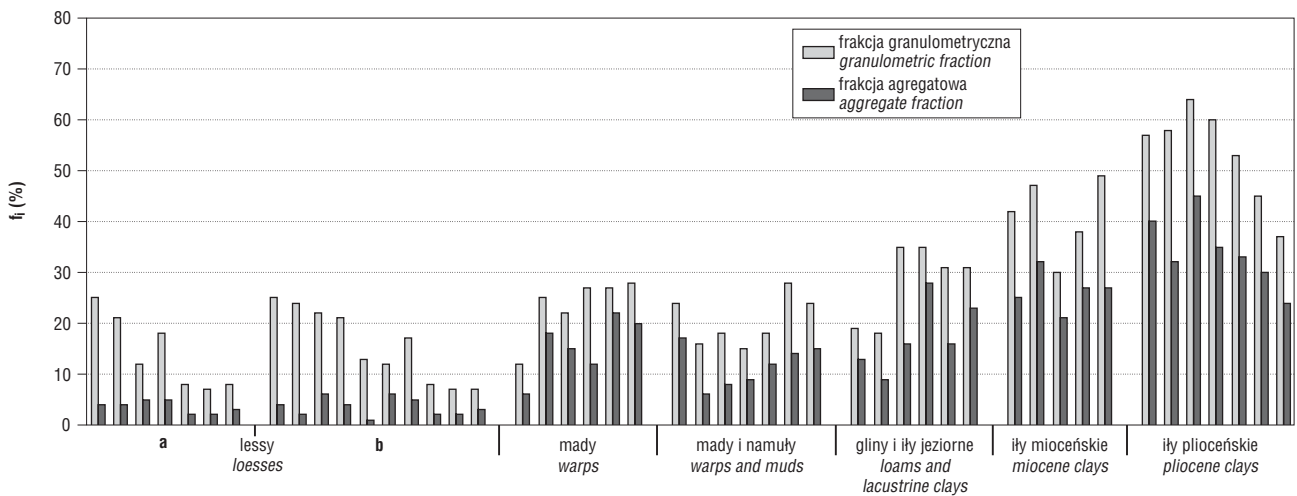
dziej trwałe, zwłaszcza w środowisku wodnym, nie podlegające rozbijaniu za pomocą chemicznych środków (tzn. stabilizatorów stosowanych w analizie areometrycznej) są agregaty, w których siłą wiążącą cząstki i ziarna stanowią

tlenki żelaza trójwartościowego, węglany i inne sole. Ich obecność w pastach, z których wykonuje się oznaczenie granic płynności i plastyczności, powoduje zjawiska, o których wyżej wspomniano — brak możliwości właściwej korelacji tych parametrów i składu granulometrycznego. Dotyczy to m. in. wykresów ekspansywności gruntów i obliczeń aktywności koloidalnej. Jeszcze większe rozbieżności uzyskuje się korelując parametry mechaniczne (ściśliwość, przepuszczalność) próbek z ich składem granulometrycznym. Podobne zjawiska odnotowujemy w przypadku obecności w gruntach agregatów powstałych w wyniku obecności w gruncie substancji organicznej (ryc. 3). Są to jednak na ogół agregaty znacznie bardziej trwałe, zwłaszcza, gdy grunt ulegnie przesuszeniu. Jak potwierdzili Filius i in. (2000) oraz Violante i in. (1999), różnego typu kompleksy (związki organiczno-mineralne) mogą być trwałe w środowisku wodnym, np. w wyniku trwałych połączeń grup funkcyjnych cząsteczek organicznych z cząstkami mineralnymi

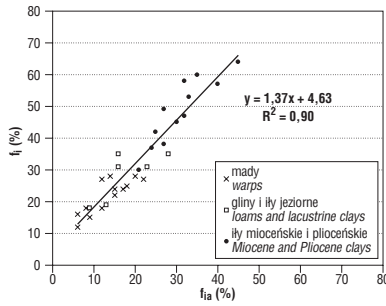
Występowanie agregatów w różnych gruntach

Na ryc. 4 przedstawiono porównanie wyników typowych analiz granulometrycznych wykonanych metodą standardową, tak aby otrzymać procentową zawartość pojedynczych cząstek i ziarn w gruntach o różnej genezie, z analizą określaną jako analiza mikroagregatowa. Proces przygotowania próbek dostosowany jest tak, aby w badanej zawieszynie pozostały tylko agregaty odporne na działanie wody, tzn. próbka nie jest gotowana i nie stosuje się stabilizatorów (Myślińska, 2001). Przedstawione wyniki w większości przypadków stanowią średnią z kilku do kilkunastu próbek. Z analizy ryciny wynika, że we wszystkich próbkach w mniejszym lub większym stopniu znajdują się agregaty. Zwłaszcza wyraźne różnice między składem granulometrycznym a składem agregatowym są widoczne przy porównaniu zawartości frakcji iltowej (ryc. 5), która w warunkach naturalnych, tworząc agregaty „przechodzi” do frakcji grubszych.

Na ryc. 6 przedstawiono porównanie procentowej zawartości frakcji iltowej „agregatowej” w określonych próbkach, z zawartością frakcji iltowej określonej jako granulometryczna (pierwotna). Z wykresu wynika wyraźnie,



Ryc. 5. Porównanie zawartości frakcji iltowej granulometrycznej i agregatowej w próbkach lessów (a — wg Kowalskiego, 1980, b — wg Myślińskiej i in., 1978), mad (wg Myślińskiej i Jaworskiego, 1998), mad i namułów (wg Kępy, 2003), glin i iltów jeziornych (wg Andrzejeszczaka, 1988), iltów miocenijskich i pliocenijskich (wg Myślińskiej, 1974)
 Fig. 5. Comparison of the granulometric and aggregate clay fraction content in samples of: loesses (a — after Kowalski, 1980; b — after Myślińska et al., 1978), warps (after Myślińska & Jaworski, 1998), warps and muds (after Kępa, 2003), boulder and lacustrine clays (after Andrzejeszczak, 1980), Miocene and Pliocene clays (after Myślińska, 1974)



Ryc. 6. Zależność między zawartością frakcji iłowej granulometrycznej (f_i) i frakcji agregatowej (f_{ia})

Fig. 6. Relation between the granulometric (f_i) and aggregate clay fraction content (f_{ia})

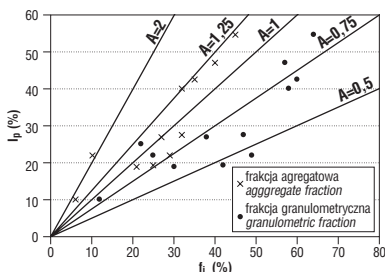
że ilość agregatów zależy od ilości frakcji iłowej i wzrasta z jej zawartością. Zależność tę stwierdzono dla próbek mad oraz iłów pliocenu i miocenu. Nie stwierdzono natomiast takiej prawidłowości dla utworów lessowych, co może świadczyć o tym, iż większy udział w tworzeniu agregatów mają tu frakcje grubsze (głównie pyłowa).

Parametry plastyczności a zawartość frakcji iłowej granulometrycznej i agregatowej

Badania składu agregatowego past gruntowych wykazały, że w trakcie przygotowywania past do oznaczania granicy płynności nie są rozbijane wszystkie agregaty, co jest zgodne ze stwierdzeniem przedstawionym wyżej o różnej trwałości agregatów. Jak wynika z uzyskanych danych (Andrzejczak, 1982; Myślińska & Jaworski, 1998) im większa wilgotność pasty, tym agregatów, zwłaszcza we frakcji iłowej jest mniej. Tak więc, najwięcej ich znajduje się w próbce, z której oznacza się granicę plastyczności (niekiedy nawet jest to próbka o wilgotności zbliżonej do naturalnej, a więc pierwotnej zawartości agregatów). W związku z tym wskaźnik plastyczności, będący różnicą wartości granicy płynności i granicy plastyczności jest oznaczany nie dla próbek o pierwotnej zawartości tej frakcji, lecz w rzeczywistości dla próbek o mniejszej dyspersji. Daje to jego wartość niższą, niż mogłaby wynikać ze zwiększonej, rzeczywistej zawartości frakcji iłowej. Powstaje pytanie, jakie to ma dalsze skutki przy ocenie właściwości gruntów, a zwłaszcza prognozie jego zachowania dokonywanej na podstawie analizy granulometrycznej.

Aktywność koloidalna (A)

W wielu przypadkach przy analizie wartości aktywności koloidalnej gruntów zawierających we frakcji iłowej tak aktywne minerały, jak minerały z grupy smektytów, zwraca uwagę ich niska aktywność. Zauważono to analizując prace dotyczące



Ryc. 7. Przykłady zmiany aktywności koloidalnej (A) przy zastosowaniu do obliczeń zawartości frakcji iłowej agregatowej (f_{ia}) zamiast zawartości frakcji granulometrycznej (f_i); I_p — wskaźnik plastyczności

Fig. 7. Examples of changes in the colloidal activity calculated for the aggregate (f_{ia}) and granulometric fraction (f_i); I_p —

w próbkach w stanie naturalnym. Błąd ten może niekiedy spowodować mylną ocenę aktywności gruntu, przy prognozowaniu jego zachowania w zmiennych warunkach wilgotnościowych. Przy rozpatrywaniu, np. iłów o zawartości frakcji iłowej granulometrycznej 30–64 % i agregatowej 21–45 %, aktywność może zmieniać się z 0,46–0,85 do 0,78–1,26. Może to dawać zmianę ich stopnia aktywności z nie aktywnych do normalnie aktywnych (wg klasyfikacji Skempton; ryc.7).

Podsumowanie

Wobec stwierdzonych faktów obecności agregatów prawie we wszystkich gruntach spoistych mineralnych oraz organicznych, przy ocenie inżyniersko-geologicznych właściwości tych gruntów należy wykonywać zarówno analizę granulometryczną dla oceny pierwotnej zawartości frakcji, jak i analizę mikroagregatową dla oceny ilości agregatów. Dotyczy to przede wszystkim badań, w których ustalane są zależności korelacyjne między zawartością frakcji iłowej a ogólnie jego plastycznością, zwłaszcza przy ustalaniu aktywności koloidalnej gruntów dla oceny ekspansywności gruntów.

Odrębną grupą zagadnień jest wpływ obecności agregatów na rzeczywistą porowatość gruntów, która jest na ogół wyższa niż może to wynikać z oceny pierwotnego składu granulometrycznego. Może to spowodować wyciąganie mylnych wniosków co do przepuszczalności i ścisłości gruntu w warunkach naturalnych. Uwagę na ten fakt zwracała autorka we wcześniejszych pracach dotyczących wpływu wody porowej m.in. na tworzenie agregatów (Myślińska, 1974). Zjawisko to wymaga jednak dalszych, bardziej szczegółowych badań.

Literatura

- ANDRZEJCSZAK B. 1982 — Zmiany strukturalne zachodzące w procesie wysychania wybranych gruntów spoistych jako wyraz ich agregacji i reagregacji. *Biul. Geol.*, 27: 67–138.
- ANDRZEJCSZAK B. 1984 — Rozmieszczenie substancji mineralnej jako czynnik agregacji i reagregacji wybranych gruntów spoistych w procesie ich wysychania. *Biul. Geol.*, 28: 55–104.
- FILIUS J.D., LUMSDON D.G., MEEUSEN J.C.L., HIEMSTRA T. & VAN RIEMSDIJK W.H. 2000 — Adsorption of fulvic acid on goethite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, t. 64: 50–60.
- KĘPA M. 2003 — Wpływ zawartości substancji organicznej na właściwości wybranych gruntów organicznych z okolic Warszawy (na południe od Konstancina). Praca magisterska. Arch. IHiGI. Wyd. Geol. Warszawa: 53–54.
- KOWALSKI W.C. 1980 — Makroskopowy paradoks agregacji utworów lessowych i lessopodobnych. *Prz. Geol.*, 28: 648–688.
- KOWALSKI W.C. 1982 — Pozycja lessów i innych skał słabo- i średnio-spoistych w klasyfikacji petrograficznej. *Prz. Geol.*, 30: 406–409.
- KOWALSKI W.C. & HOFFMANN E. 1983 — Tendencje do zmian struktury lessów podczas ich obciążania. *Prz. Geol.*, 31: 598–606.
- MYŚLIŃSKAE. 1974 — Wody porowe gruntów spoistych. *Biul. Geol.*, 17: 73–163.
- MYŚLIŃSKA E. 2001 — Laboratoryjne badania gruntów. *Wyd. III: 68–94.* Wyd. Naukowe PWN.
- MYŚLIŃSKA E., KOWALSKI W.C., KULESZA-WIEWIÓRA K. & HOFFMANN E. 1978 — Ustalanie parametrów geotechnicznych dla mad oraz gruntów lessowych i lessopodobnych z uwzględnieniem ich litologii i warunków występowania. Sprawozdanie. Archiwum Zakładu Prac Geologicznych Wydziału Geologii UW. Warszawa.
- MYŚLIŃSKA E. & JAWORSKI P. 1998 — Zmiany struktury mad w różnych warunkach wilgotności i obciążenia. Materiały archiwalne. Archiwum IHiGI Wydziału Geologii UW. Warszawa.
- PITTMAN E.D. & LEWAN M.D. (eds) 1994 — Organic acids in geological processes. Springer-Verlag. Berlin.
- THENG B.K.G. 1979 — Formation and properties of clay-polymer complexes. Elsevier. Amsterdam.
- VIOLANTE A., ARIENZO M., SANNINO F., COLOMBO C., PICCOLO A. & GIANFREDA L. 1999 — Formation and characterization of OH–Al–humate–montmorillonite complexes. *Organic Geochemistry*, 30: 461–468.