

BADANIA MINERALÓW IŁOWYCH W GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

PRZEDMIOTEM badań geologii inżynierskiej, podobnie jak i wszystkich innych działów nauk geologicznych, jest środowisko geologiczne oraz zachodzące w nim zmiany. Specyficzną cechą geologii inżynierskiej jest nie tylko stwierdzenie aktualnego stanu środowiska geologicznego i jego dotychczasowej ewolucji, lecz również postawienie — z uwzględnieniem zasad prawdopodobieństwa — prognozy zmian tego środowiska w określonym czasie. Środowisko geologiczne wypełniają skały, które z chwilą, gdy stają się podłożem i otoczeniem obiektu inżynierskiego, zostają w geologii inżynierskiej nazwane gruntami. Grunt, z punktu widzenia geologii inżynierskiej, jest bardzo skomplikowanym układem wielofazowym, a jego fizyczne, chemiczne, mechaniczne i technologiczne własności uzewnętrzniają aktualny stan tego układu. Spośród 3 głównych faz układu gruntowego podstawową jest faza stała — szkielet gruntowy (skalny, mineralny). Mimo niewątpliwego bowiem wpływu fazy płynnej i gazowej na stan układu, charakter i zmienność własności gruntu określa jego szkielet mineralny. Pamiętając, iż szkielet skalny (gruntowy) jest najczęściej układem polifrakcyjnym i polimineralnym, zauważyć można, że różne jego składniki wpływają w różny sposób na własności gruntu.

Od dawna wiadomo, iż wśród gruntów nielitych pojawienie się frakcji iłowej (tj. frakcji o wymiarach cząstek mniejszych od 0,002 mm) wpływa w tak zasadniczy sposób na własności gruntów, iż już przy zawartości tej frakcji większej niż 2% grunty nielite drobnoziarniste traktuje się jako grunty spoiste w przeciwieństwie do gruntów sypkich (PN-54/B-02480). W klasyfikacji gruntów spoistych również przyjęto, jako kryterium procentową zawartość frakcji iłowej, wyróżniając grunty przy procentowej zawartości tej frakcji:

- 2 — 10% — słabo spoiste (piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły),
- 10 — 20% — średniospoiste (gliny piaszczyste, gliny, gliny pylaste),
- 20 — 30% — spoiste ciężkie (gliny piaszczyste ciężkie, gliny ciężkie, gliny pylaste ciężkie),
- powyżej 30% — mocnospoiste (ił piaszczysty, ił, ił pylasty).

Oczywiście we frakcji iłowej występują różne minerały, spośród których przede wszystkim należy zwrócić uwagę na — mające decydujące znaczenie dla określenia własności gruntu — minerały iłowe. Z zestawień wyników badań własności gruntów spoistych o identycznym składzie granulometrycznym oraz wilgotności, o podobnej genezie, wieku i historii wynika, iż istnieją znaczne różnice własności fizycznych i mechanicznych między poszczególnymi gruntami. Przyczynę tych różnic może wyjaśnić skład mineralny frakcji iłowej, zwłaszcza sumaryczna zawartość minerałów iłowych, które wraz z substancjami koloidalnymi w decydujący sposób wpływają na powstanie spoistości gruntów oraz poszczególnych minerałów iłowych, w różny sposób modyfikujących własności gruntów. Dlatego też zespół pracowników Katedry Geologii Inżynierskiej, przystępując do rozwiązania ogólnego problemu badania zależności własności inżyniersko-geologicznych

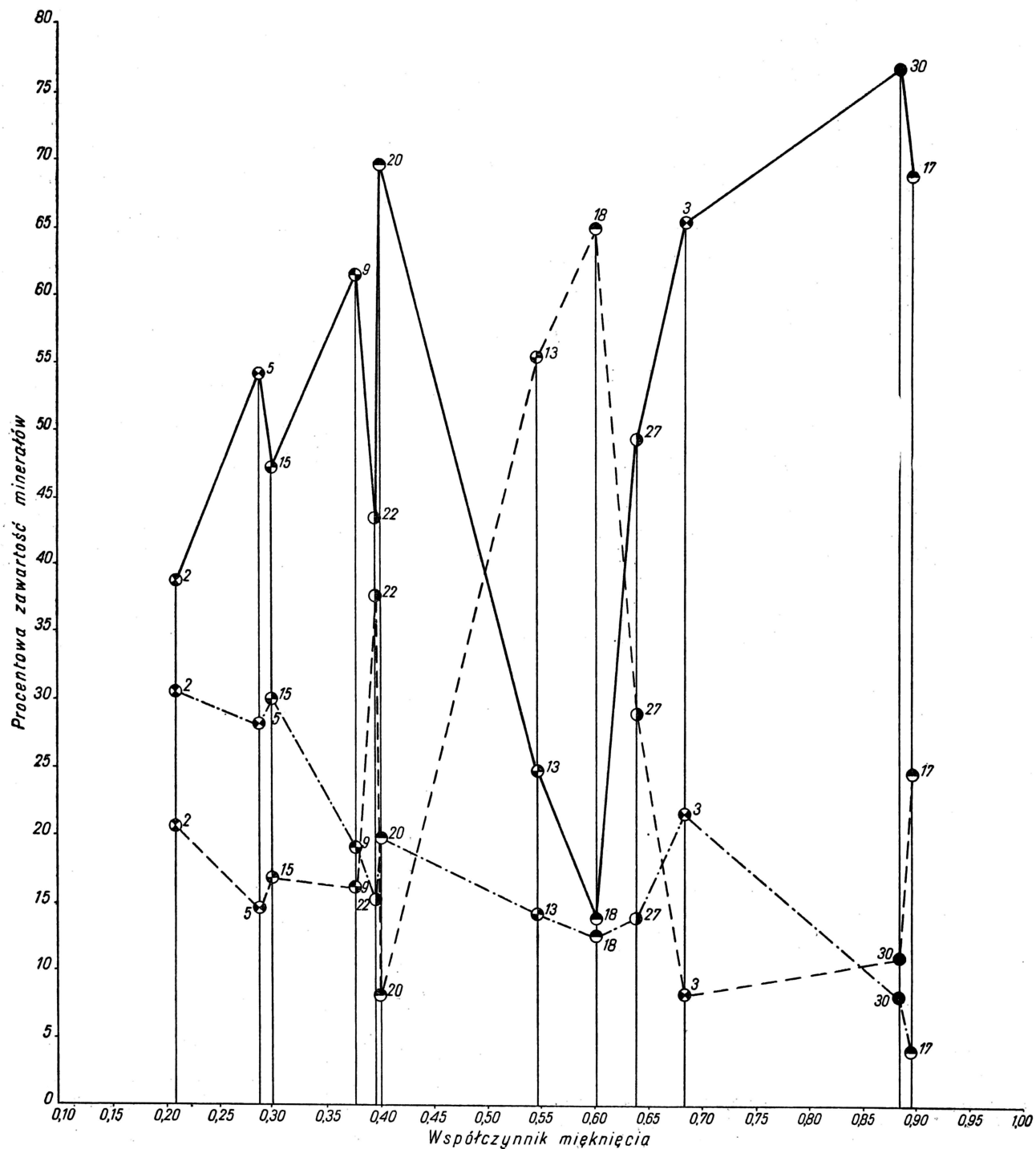
(szczególnie fizyczno-mechanicznych) gruntów od ich litologii, stratygrafii, genezy, ewolucji i obecnych geologicznych warunków występowania zwrócił również uwagę na minerały iłowe, występujące we frakcji o cząstkach mniejszych niż 0,002 mm.

W ramach tego problemu badano minerały iłowe kompleksowo różnymi metodami, począwszy od analizy mikroskopowej poprzez analizę chemiczną, barwnikową, termiczną-różnicową, rentgenograficzną oraz elektronmikroskopową. Badając własności fizyczno-mechaniczne, reprezentowanych przez grunty słabo-spoiste (piaski gliniaste), średniospoiste (gliny piaszczyste) i spoiste ciężkie (gliny piaszczyste ciężkie) — glin zwałowych środkowego Mazowsza na tle ich litologii i stratygrafii A. Falkiewicz (5, 6) wykazała, iż w skład frakcji iłowej tych gruntów wchodzi następujące minerały iłowe: hydromika (illit) częściowo zmontmorylonityzowana, montmorylonit, kaolinit i haloizyt, a z minerałów nieiłowych: węglany, tlenki żelaza, krystobalit i substancja organiczna, przy czym dominującym składnikiem jest hydromika. Podany przez Falkiewicz skład mineralny frakcji iłowej glin zwałowych odbiega znacznie od opublikowanego przez F. K. Schlünza (23) składu mineralnego glin plejstocenkich z Pappendorf, które we frakcji mniejszej niż 0,002 mm miały zawierać 30 — 50% kwarcu, 30 — 50% muskowitu i 10 — 30% montmorylonitu. Odbiega on również od przytoczonego przez W. N. Szaraja (27) składu frakcji iłowej glin zwałowych Białorusi, na który miałyby się składać minerały grupy montmorylonitu (20,5 — 23,3%) i kaolinitu (6,7 — 7,3%) oraz muskowit i hydromuskowit (15,7%). Wyniki badań Falkiewicza są natomiast zgodne z wynikami badań S. S. Morozowa, który stwierdził występowanie we frakcji iłowej glin zwałowych europejskiej części ZSRR hydromik, kaolinitu, kwarcu, limonitu, hematytu, hydrogetytu, hydrargilitu, węglanów oraz słabo wykrywanego montmorylonitu. Interesujące jest również, iż we frakcji iłowej glin zwałowych z Ohio J. Droste (3) stwierdził występowanie illitu w ilości 55 — 70%, jak również wyjątkowo dużą domieszkę chlorytu (30 — 45%) oraz miejscami kaolinitu (0 — 15%). Illit i montmorylonit w glinach zwałowych z Manitoby stwierdza W. E. Ehrich i H. W. Rice (4). W glinach zwałowych z Minnesoty H. F. Arneman i H. E. Wright (1) stwierdzili, iż montmorylonit dominuje nad illitem i kaolinitem.

Jak należało oczekiwać w skład frakcji iłowej, związanej genetycznie z glinami zwałowymi iłów wstęgowych zlodowacenia środkowo-polskiego okolic Warszawy, reprezentowanej przez grunty spoiste ciężkie (gliny pylaste ciężkie) i mocnospoiste (iły), wchodzi i to zarówno w przypadku wstęg jasnych, jak i ciemnych (21) te same minerały iłowe, które stwierdzono w glinach zwałowych środkowego Mazowsza, a mianowicie: hydromiki z niewielką domieszką montmorylonitu i kaolinitu. Istnienie minerałów iłowych typu illitowego przyjmuje również J. Domański (2) w iłach wstęgowych interglacjalu Mazowien II lub interstadiału Varsovien II z Opalenia. Podany przez E. Myślińską (21) skład mineralny frakcji iłowej różni się znacznie od podanego przez W. N. Szaraja (27) składu mineralnego białoruskich glin jeziorno-lodowcowych, które mają się składać przede wszystkim z montmorylonitu (28,1 — 36,4%), muskowitu i hydromuskowitu (9,1 — 25,4%) oraz kaolinitu (18,1 — 19,52%).

Chociaż badania składu mineralnego utworów lessowych w Polsce mają długą tradycję (29, 30, 31) wyróżnieniem poszczególnych minerałów ilowych w polskich lessach zajęto się dopiero w ostatnich latach. A. Oberc (22) podaje jako minerały główne lessów krakowskich (Zwierzyniec i Mogiła): kaolinit, montmorylonit, kalcyt i „piasek”. Uderza tu brak hydromik, których ze względu na genezę lessów polskich można było się spodziewać również w lessach krakowskich. W lessach występujących między Kazimierzem Dolnym a Nałęczowem J. Malinowski podaje (8) infor-

macje o występowaniu z grupy minerałów ilowych hydrolyszczyków i kaolinitu. W 1963 r. B. Grabowska-Olszewska (8) przeprowadza szczegółową analizę składu mineralnego utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej, reprezentowanych przez grunty słabospoiste (pyły, pyły piaszczyste) i średniospoiste (gliny pylaste) stwierdzając, że z grupy minerałów ilowych głównym składnikiem jest hydromika i hydromika częściowo zmontmorylonityzowana, z podrzędnie występującym kaolinitem, montmorylonitem oraz sporadycznie spo-



Ryc. 1. Wykres zależności współczynnika mięknięcia skał senońskich od ich składu mineralnego.

Fig. 1. Diagram of dependence of softening coefficient of the Senonian rocks upon their mineral composition.

— zawartość węglanów, --- zawartość wolnej krzemionki, -.-.- zawartość minerałów ilowych.

— carbonate contents, --- free silica content, -.-.- clay mineral content.

tykanym: halozytem i nie wykluczonym dykitem. Podobny skład mineralny stwierdzono również w glebach powstałych na lessach Wyżyny Sandomierskiej (32). Ten sam typ mieszaniny minerałów ilowych stwierdzono także na przylegających do Polski terenach Białorusi (17) i Ukrainy (26). Również, jako główne minerały ilowe, tworzące frakcję o cząstkach mniejszych niż 0,001 mm gruntów lessowych jednego z rejonów Federacji Rosyjskiej wymienia S. S. Morozow i W. G. Samożłowa (20): hydromiki i illit zmontmorylonizowany, kaolinit i ferrohaloizyt.

A. K. Larionow, W. A. Prikłoński i W. P. Ananjew (15) stwierdzają, iż wśród 18 koloidalno-dyspersyjnych minerałów spotykanych w lessach ZSRR głównymi minerałami są: hydromika, kwarc, kalcyt, montmorylonit i kaolinit. Jednak S. S. Siergiejew (25) podaje, iż spotyka się również lessy zawierające z grupy minerałów ilowych tylko montmorylonit lub tylko kaolinit. G. A. Lipson i E. M. Tałdykin (14) podają, że we frakcji ilowej gruntów lessowych górnego Donu występować mogą następujące 4 główne typy mieszanin minerałów ilowych: hydromikowo-kaolinitowy, hydromikowo-montmorylonitowy, kaolinitowo-montmorylonitowy oraz getytowo-kaolinitowy. Wobec niewątpliwie poligenetycznego pochodzenia utworów lessowych takie zróżnicowanie ich składu minerałów ilowych jest oczywiste, a określenie go może być użyte, jako kryterium wyróżnienia, czy utwór lessowy jest pochodzenia eolicznego, czy wietrzeniowego (24), co ma istotne znaczenie dla inżyniersko-geologicznej oceny danego lessu.

W 1961 r. D. Szyszło rozpoczęła szerszej zakrojone badania własności fizyczno-mechanicznych osadów płoceńskich wielkiego, śródlądowego zbiornika Polski Środkowej („iłów poznańskich”). W efekcie kilkuletnich prac, przedstawiając fragment badań dotyczących ilów z okolic Dobrzynia nad Wisłą, na podstawie kompleksowych badań frakcji ilowej stwierdza ona występowanie z grupy minerałów ilowych mieszaniny montmorylonitowo-illitowej z domieszką kaolinitu (28). Wyniki badań ilów poznańskich z Dobrzynia odbiegają od wyników różnicowej analizy termicznej oraz ilów z Wielenia podanych przez J. Głogoczewskiego (7), który podając przybliżoną charakterystykę mineralogiczną na podstawie badań termicznych, stwierdził występowanie z grupy minerałów ilowych mieszaniny mont-

morylonitu i haloizytu. W ilach z okolic Konina J. Kuźniar (12) również głównie na podstawie wyników różnicowej analizy termicznej wyróżnia illy illitowe z domieszką montmorylonitu oraz illy illitowo-montmorylonitowe, w których: „minerały grupy montmorylonitu występują w stosunku do hydromikowych w ilościach prawdopodobnie równorzędnych”. W dwu próbkach na podstawie analizy rentgenogramów stwierdza on występowanie kaolinitu. W przeciwieństwie do poprzednio wymienionych autorów A. Langer-Kuźniarowa (13), charakteryzując na podstawie różnicowej analizy termicznej i analizy rentgenostrukturalnej próbki ilów z Konina, Pętnowa i Warszawy z grupy minerałów ilowych wymienia tylko hydromiki.

Również w przypadku badania fizycznych, mechanicznych i technologicznych własności skał litych ujawnia się zależność tych własności od zawartości i składu minerałów ilowych w szkieletie skalnym. Poprzednio wykazano, iż pęcznienie i skurcz skał senońskich przelomowego odcinka Wisły środkowej (opok i margli) zależy w znacznym stopniu od zawartości i składu minerałów ilowych (9), spośród których stwierdzono: montmorylonit, illit, glaukonit oraz sporadycznie kaolinit (10, 11). Również wyraźnie zaznacza się zależność między procentową zawartością minerałów ilowych, a ich współczynnikami mięknięcia (ryc. 1) określonymi, jako:

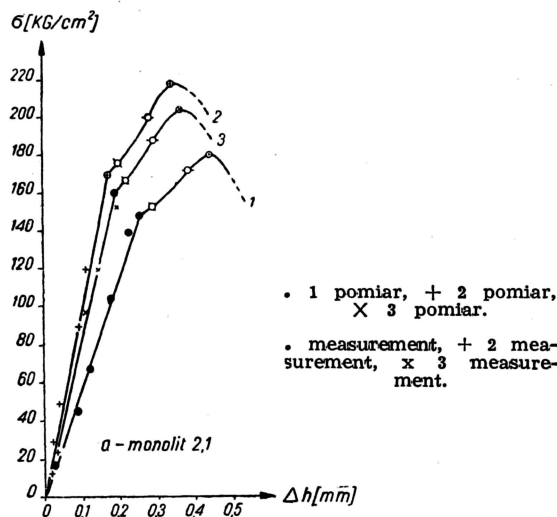
$$M_c = \frac{R_{cw}}{R_{cs}} \quad \text{i} \quad M_t = \frac{R_{tw}}{R_{ts}}$$

gdzie: M_c i M_t — współczynniki mięknięcia przy zgniataniu i ścinaniu,

R_{cw} i R_{tw} — wytrzymałości na zgniatanie i ścinanie w danym — względem uwarstwienia — kierunku nasyconych wodą próbek, w kg/cm^2 ,

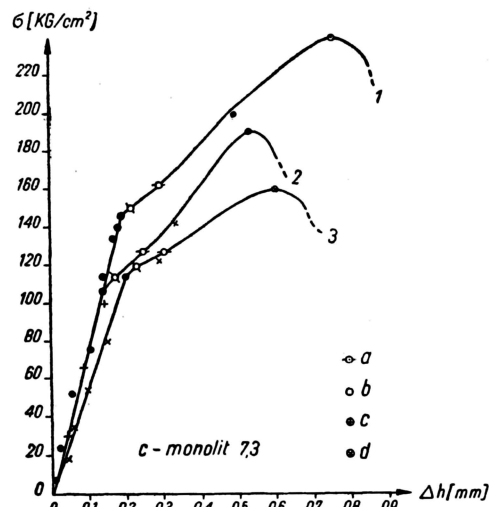
R_{cs} i R_{ts} — wytrzymałość jak wyżej, lecz próbek powietrzno-suchych, w kg/cm^2 .

Jak wynika z przeprowadzonych przez H. Łozińską-Stępień (16) badań, wpływ zawartości określonych przez nią minerałów ilowych zaznacza się również



Ryc. 2. Wykres zależności odkształceń — Δh monolitu 2,1 od naprężeń — σ przy zgniataniu w kierunku równoległym do uwarstwienia, w stanie powietrzno-suchym, wg H. Łozińskiej-Stępień, 1964.

Fig. 2. Diagram of dependence of — Δh deformations of monolite 2,1 upon — σ crushing stresses in a parallel direction to stratification, in air-dry state; after H. Łozińska-Stępień, 1964.



Ryc. 3. Wykres zależności odkształceń — Δh monolitu 7,3 od naprężeń przy zgniataniu w kierunku równoległym do uwarstwienia, w stanie powietrzno-suchym, wg H. Łozińskiej-Stępień, 1964.

a — umowna granica plastyczności (R_{cpl} 0,2 IIS), b, c, d — granica wytrzymałości na zgniatanie (R_c IIS).

Fig. 3. Diagram of dependence of — Δh deformations of monolite 7,3 upon crushing stresses in a direction parallel to stratification, in air-dry state; after H. Łozińska-Stępień, 1964.

a — conventional boundary of plasticity (R_{cpl} 0,2 II S); b; c; d — boundary of crushing strength (R_c II S).

wyraźnie na charakterze i wielkości odkształceń skał turońskich przelomowego odcinka Wisły środkowej (opok i margli). Na ryc. 2 przedstawiono zależność odkształceń przy zgniataniu w kierunku równoległym do uwarstwienia powietrzono-suchych próbek skał turońskich o małej zawartości minerałów ilowych (szczególnie o procentowej zawartości illitu — 3,99%, montmorylonitu — 1,26%, kaolinitu — 0,02%), a na ryc. 3 tychże skał, ale o większej zawartości minerałów ilowych, a zwłaszcza montmorylonitu (w konkretnym przypadku o procentowej zawartości montmorylonitu — 9,34%, illitu — 2,48% i kaolinitu — 0,23%). Zestawienie tych dwóch rycin obrazuje, iż przy większej zawartości minerałów ilowych (zwłaszcza montmorylonitu) w skałach turońskich przelomowego odcinka Wisły środkowej strefa odkształceń plastycznych zawarta między umowną granicą plastyczności — $R_{c_{p10,2}}||_s$, a granicą wytrzymałości na zgniatanie — $R_{c||_s}$ jest znacznie większa, co wiąże się zapewne ze sposobem ułożenia i budową cząstek ilowych.

Podane przykłady zależności między zawartością i składem minerałów ilowych, a własnościami mechanicznymi skał litych są jedynymi z wielu obserwacji tego typu. Obserwacje te są szczególnie wyraźne w przypadku gruntów spoistych. Wynika z nich, że poznanie szkieletu gruntowego i charakteru wiązań między jego poszczególnymi elementami nie może opierać się tylko na stwierdzeniu ogólnej zawartości frakcji ilowej, jako elementu decydującego. W badaniach konieczny jest rozdział frakcji ilowej na podfrakcje, zbadanie składu mineralnego frakcji ilowej i jej podfrakcji, zwłaszcza zawartości poszczególnych minerałów ilowych i koloidalnych z uwzględnieniem ich przestrzennego występowania (tekstury). Bez tych elementów nie można opracować uzasadnionej w sposób fizyczny teorii mechanizmu zmian, zachodzących w gruncie pod wpływem oddziaływujących na ten grunt czynników, a bez takiej teorii nie można z kolei opracować jednoznacznej teorii prognoz, co jest jednym z głównych celów geologii inżynierskiej.

L I T E R A T U R A

1. Arneman H., Fand Wright H. E. — Petrography of some Minnesota tills. Journ. Sedim. Petrology, 1959, vol. 29, No 4.
2. Domański J. — Niektóre cechy petrograficzne ilów warwowych z Opalenia (k. Tczewa). Roczn. Pol. Tow. Geol. T. XXXI, z. 2—4, Kraków 1961.
3. Droste J. — Clay minerals in calcareous till in northeastern Ohio. Journ. Geol. 1956, vol. 64, No 2.
4. Ehrich W. E., Rice H. W. — Postglacial weathering of Mankato till in Manitoba. Journ. Geol. 1955, vol. 63.
5. Falkiewicz A. — The mineral composition of clay fraction in tills of Mazowsze (Central Poland). Second Conference on Clay Mineralogy and Petrography. Prague 1961.
6. Falkiewicz A. — Własności fizyczno-mechaniczne glin zwałowych Środkowego Mazowsza. Biul. Geol. UW, 1962, t. 2.
7. Głogoczowski J. — Badania krajowych skał ilastych przy pomocy analizy termicznej. Roczn. Pol. Tow. Geol. T. XXII, z. 3, Kraków 1954.
8. Grabowska-Olszewska B. — Własności fizyczno-mechaniczne utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej na tle ich litologii i stratygrafii oraz warunków występowania. Biul. Geol. UW, 1963, t. 3.
9. Kowalski W. C. — Pęcznienie skał senońskich w przelomowym odcinku Wisły i jego inżyniersko-geologiczne znaczenie. Przegl. geol. 1961, nr 6.
10. Kowalski W. C. — Wytrzymałość na ściskanie budowlanych skał senońskich przelomowego odcinka Wisły środkowej na tle ich litologii. Biul. Geol. UW, 1961, t. 1, cz. 2.
11. Kowalski W. C. — Anizotropia wytrzymałościowa i mięknięcie skał senońskich przelomowego odcinka Wisły Środkowej. Biul. Geol. UW, 1964, t. 5 (w druku).
12. Kuźniar J. — Wpływ składu mineralnego na rozmakanie i pęcznienie niektórych ilów trzeciorzędowych. Kwart. geol. 1959, t. 3, z. 2.
13. Langier-Kuźniarowa A. — Wpływ stabilizatorów na substancję ilastą w analizie granulometrycznej. Kwart. geol. 1961, t. 5, z. 1.
14. Lipson G. A., Tałdykin E. M. — K mineralogii lessowych porod bassiejna Wierchniego Dona. Stroit. Soor. na lessowych porodach. Woroneż 1963.
15. Łarionow A. K., Prikłoński W. A., Ananiew W. P. — Lessowyje porody i ich stroitielnyje swojstwa. Moskwa 1959.
16. Łozińska-Stępień H. — Własności fizyczno-mechaniczne skał turońskich przelomowego odcinka doliny Wisły środkowej (okolic Annapola) na tle ich litologii. Biul. Geol. UW, 1964, t. 5 (w druku).
17. Łukaszew K. I., Dromaszko S. G. — Niektóre dane po mineralogii glinistej frakcji lessowych porod Biełorussi. Dokł. AN BSSR, 1960, nr 11.
18. Malinowski J. — Badania geotechniczne lessu między Kazimierzem Dolnym a Nałęczowem. Kwart. geol. 1959, t. 3, z. 2.
19. Morozow S. S. (maszynopis) — Litologiczeskije swojstwa glinistej morieny Russkoj platformy (w druku).
20. Morozow S. S., Samojłowa W. G. — Izmienienije sostawa i swojstwa lessowych gruntow pri ich wzaimodiejstwiu s rastworami promysziennych sbrosow. Wap. stroit. na lessowych gruntach. Dokł. Mieżd. Naucz. Konf. Woroneż 1961.
21. Myślińska E. — Skład mineralny ilów warwowych pierwszego interstadiału zlodowacenia środkowo-polskiego okolic Warszawy. Biul. Geol. UW, 1964, t. 4 (w druku).
22. Oberc A. — Analizy petrograficzne lessu z Tiotdz-Go (rejon Si-Min, prowincja Szan-Si, Chiny). Roczn. Pol. Tow. Geol. 1961, t. XXXI, z. 2—4.
23. Schlunz F. K. — Mikroskopische und chemische Untersuchungen Zweier Tone. Rostock 1933.
24. Siedleckij J. D. — Kołloidno-dispersnyje mineraly i eolowyje proischozhdienje lessa niżnego Dona. Dok. AN SSSR, 1951, t. 81, nr 5.
25. Siergiejew S. S. — Gruntowiedienije. Moskwa 1959.
26. Sokołowski U. L. — O znaczeniu mineralogiczkeskiego analiza lessowych porod zapadnoj czasti USSR dla ustanowlenija sposoba ich obrazowanija. Czetw. Pieriod. Wyp. 13, 14, 15. Kijew 1961.
27. Szaraj W. N. — Mineralogiczkeskij sostaw czetwierticznych glin Biełoruskoj SSR, ok. DAN SSSR, t. LXXIV, nr 3, Moskwa—Leningrad 1950.
28. Szyszło D. — Minerály ilowe ilów poznańskich. Przegl. geol. 1964, nr 5.
29. Tokarski J. — Studien über den podolischen loess. Bull. Intern. Ac. Pol. Sc. Ser. A. Sc. mat. Kraków 1935.
30. Tokarski J. — Materiały do znajomości lessów. Roczn. Pol. Tow. Geol. 1961, t. XXXI, z. 2—4.
31. Tokarski J., Oleksynowa K. — Specjalna analiza lessu okolic Mogiły pod Krakowem. Biul. Intern. Ac. Pol. Sc. Kraków 1952.
32. Uziak S. — Clay minerals in soils formed from loess. Am. Univ. MCS, Ser. B., vol. XV. Lublin 1961.

SUMMARY

On account of considerable influence of clayey fraction upon physical, mechanical and technological properties of grounds in fundamental geological-engineering investigations (Figs. 1 and 2), a special attention is paid to the mineral composition of this fraction, in particular to the contents of clay and colloidal minerals in the individual sub-fractions of clay fraction. Without these structural elements, it is not possible to put a physically substantiated theory of mechanism of changes appearing in ground, under influence of factors reacting on this ground. Without such a theory we also cannot elaborate an uniform theory of predictions, a problem being one of the principal purposes in engineering geology.

The present work deals with the results of studies on composition and contents of clayey minerals in most common compact grounds in Poland, i.e. boulder clays, varved clays, loesses, Poznań clays, as well as Upper Cretaceous marls and opokes.

РЕЗЮМЕ

Глинистая фракция имеет решающее влияние на физические, механические и технологические свойства грунтов. Поэтому в инженерно-геологических исследованиях (рис. 1, 2) необходимо уделять много внимания составу этой фракции и особенно содержанию глинистых и коллоидных минералов в отдельных подфракциях глинистой фракции. Не зная этих элементов нельзя разработать физически обоснованную теорию механических преобразований, происходящих в грунтах под влиянием различных факторов, а без такой теории, в свою очередь, нельзя составить теоретические основы прогнозирования, являющегося одной из основных целей инженерной геологии. В работе описываются результаты изучения состава и содержания глинистых минералов в наиболее распространенных грунтах Польши: валунных глинах, ленточных глинах, познанских глинах, лессах и верхнемеловых мергелях и опоках.