

# STATECZNOŚĆ ZBOCZY OSUWISKOWYCH NA TLE BADAN LABORATORYJNYCH

## WSTĘP

Osuwiska interesowały już od dawna inżynierów budownictwa i geologów, którzy z tego rodzaju zjawiskami stykali się w swojej pracy zawodowej. Geologa interesuje przede wszystkim zjawisko zsuwu jako współczesny przejaw życia skorupy ziemskiej, inżyniera budownictwa natomiast głównie praktyczna strona tego zagadnienia, to znaczy zagrożenie pewnych obiektów budowlanych przez osuwiska oraz sposoby przeciwdziałania szkodliwym ruchom mas ziemnych.

Z uwagi na duże znaczenie praktyczne, zagadnienie stateczności zboczy naturalnych albo częściej sztucznie projektowanych stoków przyczyniło się w bardzo wielkim stopniu do rozwoju mechaniki gruntów i geologii inżynierskiej.

Z punktu widzenia praktyki najważniejsza w problematyce osuwisk byłaby sprawa kryteriów stateczności gruntów\* przyszłej budowy. Kryteria te powinny pozwolić na ocenę gruntu w takim stopniu, aby było wiadome, czy na stokach w tym gruncie wykonanych wystąpią i w jakich warunkach zjawiska określone ogólnie nazwą osuwisk.

\* Pod pojęciem „grunt” rozumiemy, zgodnie z terminologią geologii inżynierskiej, każdą skałę o dowolnym składzie mineralnym i ziarnowym, różnym stopniu nasycenia wodą, zwykle występującą w najbardziej wierzchnich warstwach skorupy ziemskiej, a rozpatrywaną w związku z inżynierską działalnością człowieka.

Dobrze opracowane podstawy stateczności zboczy ułatwiłyby właściwe projektowanie skarp, co dałoby duże oszczędności wynikające z racjonalnego prowadzenia robót ziemnych oraz uchroniłoby od szkód spowodowanych osunięciem się wadliwie zaprojektowanych zboczy.

Powstawanie osuwisk, czyli naruszenie równowagi stoków, jest problemem bardzo skomplikowanym ze względu na wielką ilość czynników warunkujących stan równowagi zbocza. Można je ująć w dwie grupy:

1. Czynniki charakteryzujące grunt jako materiał, z którego zbudowane jest zbocze. Należą tu fizyczno-mechaniczne własności gruntów: kąt tarcia, kohezja, ciężar objętościowy, zależne i odzwierciedlające w pewnym stopniu całość warunków geologicznych i wodnych.

2. Czynniki charakteryzujące warunki występowania zbocza: wysokość pionowa, nachylenie, długotrwałość wystawienia na działanie atmosfery, działalność człowieka itp.

Rozwiązać zagadnienia stateczności zboczy można sposobem matematyczno-mechanicznym lub posługując się metodami geologicznymi. Do nich zalicza się, znane z literatury zagranicznej, próby określenia stateczności zboczy na podstawie laboratoryjnych badań gruntów, dążące do przypuszczalnego ustalenia związku między osuwiskowością pewnych gruntów a laboratoryjnymi wskaźnikami ich fizyczno-mechanicznych własności. Wyniki dotychczasowych

badani pozwalają jedynie na wyprowadzenie bardzo ogólnikowych wniosków.

Antykuł niniejszy omawia w skrócie wyniki badań autora nad zagadnieniem określenia laboratoryjnych kryteriów osuwiskowości gruntów i porównania tych charakterystyk z obserwacjami i wnioskami wyprowadzonymi na podstawie spostrzeżeń geologicznych w terenie.

Badania przeprowadzano na gruntach ilastych, jako najbardziej skłonnych do osuwisk, pochodzących z terenów występowania mioce-  
nu Dolnego Śląska, okolic Krakowa oraz karpackich pstrych łupków eocenskich i kredowych.

Na wstępie należy zaznaczyć, że pojęcie stateczności zboczy jest względne. Stateczność kilku jednakowo wysokich i jednakowo nachylnych stoków może być określana długością okresu czasu, przez który zbocza te pozostają w równowadze. Zbocze mniej stateczne ulegnie deformacji osuwiskowej prędzej niż bardziej stateczne. Ujmując jeszcze inaczej to zagadnienie możemy powiedzieć, że bardziej stateczne będzie takie zbocze, które w jednakowych lub podobnych warunkach geologicznych zachowuje większą wysokość i nachylenie.

Za skłonniejsze do osunięcia, czyli mniej stateczne, uważamy zatem te grunty, w których kształtują się stoki łagodniejsze i niewysokie w porównaniu z bardziej statecznymi gruntami, tworzącymi zbocza strome i wysokie.

#### PRZEGLĄD LITERATURY

Literatura polska odnośnie do osuwisk dotyczy prawie wyłącznie terenów karpackich. Osiemnaście — z przeszło dwudziestu pozycji — omawia osuwiska zboczy naturalnych w Karpatach.

Poza szerszymi i ogólnymi rozważaniami L. Sawickiego (5), B. Świdorskiego (6) i H. Teisseyre'a (7), są to przeważnie przyczynki i niewielkie notatki\*. Autorzy tych opracowań zwracają uwagę, że osuwiska zależą głównie od ilastości materiału i wiążą się z warstwami ilastymi i łupkowymi.

L. Sawicki (5) podaje, że osuwiska powstają tam, gdzie przy odpowiedniej predyspozycji geologiczno-petrograficznej i morfologicznej gromadzą się duże masy zwietrzeliny.

B. Świdorski (6) podkreśla, że zwietrzelina okrywa Karpaty płaszczem różnej grubości. Zasięg jej reguluje mniej lub bardziej łatwe wietrzenie poszczególnych petrograficzno-stratygraficznych horyzontów fliszowych oraz rzeźba Karpat albo różnice wysokości i nachylenia. Autor ten uważa, że najważniejszym czynnikiem powstawania osuwisk w Karpatach jest częste występowanie poziomów ilastych w tek-

tonicznie spękanych kompleksach fliszowych.

Prace polskie ujmują więc w sposób opisowy wpływ czynników warunkujących stateczność zboczy.

W literaturze zagranicznej, a zwłaszcza niemieckiej znane są opracowania zależności między wynikami badań laboratoryjnych a osuwiskowością gruntów. Niestety, tylko niektóre z tych prac są u nas dostępne.

R. Köhler (4) podaje wyniki badań gruntów osuwiskowych, zagrożonych osuwaniem i zupełnie bezpiecznych. Praca ta, jak pisze autor, ma stanowić przyczynek do ustalenia zależności między osuwiskowością a chemizmem gruntów, które to zagadnienie rozpoczęli opracowywać J. Ehrenberg, R. Seifert i inni (1). Badania tych autorów stwierdzają, że związek między osuwiskowością terenu a chemizmem jest bardzo skomplikowany. Daje się zauważyć bardzo ogólnie zarysowane zależności między osuwiskowością i własnością gruntów, ale nie można podać ich ścisłych granic.

Z badań Köhlera (4) wynika, że grunty osuwiskowe skłonniejsze do osuwisk wykazują dużą wodochłonność, mniejszy opór na ścinanie itp.

Z danych literatury wynika więc, że:

1. Problem osuwiskowy opracowywany jest dotychczas w sposób opisowy. Nieliczne są natomiast próby ilościowej charakterystyki tego zagadnienia.

2. Zaobserwowane zależności między charakterystykami własności gruntów a ich statecznością mają charakter zbyt ogólny, aby wyprowadzać stąd jakieś praktyczne wnioski.

#### STATECZNOŚĆ ZBOCZY NA TLE WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH

Omawiane niżej badania dotyczą osuwisk występujących w ilach mioceńskich w kopalniach węgla brunatnego i gliniek ogniotrwałych na Dolnym Śląsku, osuwiska na linii kolejowej Kraków—Miechów oraz kilku osuwisk z okolicy Krakowa i terenów Karpat.

Pod względem geologicznym osuwiska te występują w trzech różnych rejonach geologicznych:

- 1) młodszej formacji węgla brunatnego — utwory lądowe,
- 2) miocenie morskim rowu przedkarpackiego,
- 3) podobnych litologicznie a różnych wiekowo ilasto-lupkowych utworów geosynkliny Karpat.

Rozważając stateczność zboczy na omawianych terenach wg kryteriów, o których wspomniano na wstępie (wysokość zboczy, nachylenie, długotrwałość wystawienia na działanie czynników atmosferycznych) można dla rozpatrywania osuwisk ustalić pewną kolejność stateczności, przedstawia się ona następująco:

- 1) największą skłonność do osuwania się wykazują ility z okolic Krakowa: Sadowie, Biały Kościół, Łagiewniki;

\* Ostatnio ukazała się większa praca o osuwiskach A. Kleczkowskiego — *Osuwiska i zjawiska pokrewne*. Warszawa 1955. Wydawnictwa Geologiczne.

2) dość trudna do określenia jest stateczność terenów karpackich — Benczyn, Sucha. Biorąc pod uwagę głównie nachylenie stoków osuwiskowych w wyżej wymienionych miejscowościach i w innych, gdzie występują osuwiska w podobnych geologicznie utworach, sklasyfikowano je jako średnio stateczne wśród wód omawianych;

3) największą statecznością wyróżniają się ility z Dolnego Śląska — Turoszów, Jarosław;

4) badania laboratoryjne.

Na próbach pobranych z wymienionych osuwisk wykonano laboratoryjne oznaczenia fizyczno-mechanicznych własności gruntów.

Zasadniczym celem badań laboratoryjnych jest określenie możliwości ześlizgu w pewnym gruncie, a zatem jego oporu na ścinanie. Można założyć, że opór na ścinanie odzwierciedla warunki występowania osuwiska w sposób niejako wypadkowy, zależny od charakteru materiału osuwiskowego i wszystkich naturalnych i sztucznych czynników warunkujących stan równowagi zbocza, a więc charakteryzuje osuwiskowość pewnego gruntu. Wartość liczbową oporu na ścinanie, kąta tarcia wewnętrznego i kohezji jest wyjściową przy obliczeniach stateczności zboczy, określa wysokość i nachylenie bezpiecznego stoku, ma więc najbardziej bezpośrednie praktyczne znaczenie. Opór na ścinanie gruntów zależy od ich składu i budowy, czyli od składu ziarnowego, mineralnego, zawilgocenia, charakteru współdziałania z wodą, struktury itp. Dlatego też badania laboratoryjne obejmują oznaczenia:

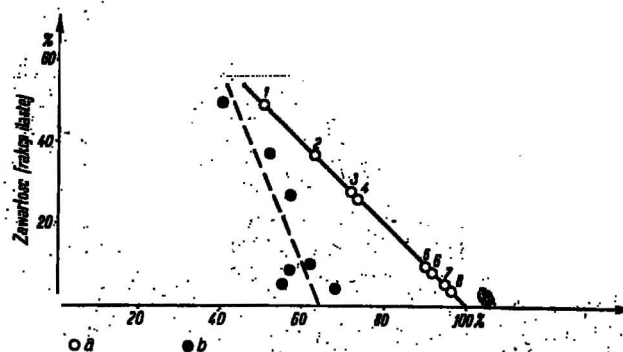
- 1) składu ziarnowego,
- 2) składu mineralnego,
- 3) wilgotności i w ogóle zdolności do współdziałania z wodą — granice konsystencji, szybkość rozmakania itp.
- 4) oporu na ścinanie.

Do powyższych powinno dojść oznaczenie struktury gruntów. Obecnie stosowana metodyka badań laboratoryjnych nie rozporządza jednak sposobami pozwalającymi na ilościowe określenie tej cechy gruntów. Pośrednio i z ograniczoną dokładnością można charakteryzować strukturę gruntów oznaczeniem ciężaru objętościowego, wilgotności oraz opisowo przy przeglądaniu szlifów pod mikroskopem.

#### WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH

**Skład ziarnowy.** Porównując wyniki oznaczeń składu ziarnowego z kolejnością osuwiskowości, wyprowadzoną na podstawie obserwacji geologicznych terenowych daje się zauważyć pewną, dość prawidłową zależność, którą można sformułować następująco: bardziej skłonne do osuwisk są grunty o dużej zawartości frakcji pylastej czy nawet piasku, natomiast grunty ilaste z nieznaczną domieszką piasku i ryłu są bardziej stateczne. Na wykresie (ryc. 1) w układzie współrzędnych: frakcja ilasta i frak-

cja pylasta + piaszczysta naniesiono średnie wyniki analiz ziarnowych prób z omawianych terenów. Osuwiskowe ility grupują się w kolejności zgodnej z podaną poprzednio, na dolnym odcinku prostej odpowiadającym gruntom o przewadze py.



Ryc. 1 — uziarnienie gruntów osuwiskowych, 1, 2 — Turoszów, 3 — Benczyn, 4 — Jarosław, 5 — Sucha, 6 — Biały Kościół, 7 — Łąglewniki, 8 — Sadowie. a — zawartość frakcji piaszcz. i pyl., b — zawartość frakcji pylastej

Osuwiskowość gruntów z dużą zawartością frakcji grubszej od ilastej wydaje się zrozumiała. Grunt, w którym zawartość ziarn grubszych umożliwia ruch wody, a jednocześnie zawartość frakcji ilastych ułatwia jej zatrzymywanie, będzie zachowywał się mało statecznie na zboczu. Poszczególne ziarna gruntu otaczają się bowiem stosunkowo łatwo grubą błoną wody i grunt taki nabiera cech plastycznej czy nawet płynnej masy.

Można powiedzieć, że w charakterze ziarnowym gruntów osuwiskowych występują dwie sprzeczności: osuwiskowości gruntu sprzyja zawartość frakcji ilastej, bo ziarna ilaste wykazują małe tarcie i kohezję, a zawilgocenie jeszcze bardziej obniża te własności, ale jednocześnie grunt musi być tak pylasty czy piaszczysty, że możliwe jest dość szybkie przemieszczanie się wody w głąb gruntu. Ponieważ frakcja pylasta łączy w sobie cechy gruntów przepuszczalnych i ilastych, dlatego grunty pylaste są najbardziej skłonne do osuwisk.

**Skład mineralny.** Oznaczenia składu mineralnego przeprowadzone przy zastosowaniu metod termicznych: statycznej i różnicowej oraz za pomocą barwienia błękitem metylenowym. Na podstawie tych oznaczeń można podzielić omawiane grunty na dwie grupy mineralne:

1) grunty z Dolnego Śląska o charakterze zdecydowanie kaolinitowym,

2) grunty z okolic Krakowa i terenów Karpat wykazujące bez względu na wiek skład mineralny typu illitowego lub z domieszką mineralów typu montmorylonitowego — co jest trudne do definitywnego określenia.

W obu tych grupach można stosować dalszy podział, opierając się na zawartości kwarcu,



który jako składnik frakcji pylastej sprzyja osuwiskowości. Otrzymamy wtedy szereg, który kolejnością w zasadzie zgadza się z szeregiem osuwiskowych, ustalonym na podstawie obserwacji geologicznych i oznaczeń składu ziarnowego. Stwierdzono również, że zawartość bardzo rozdrobnionej (koloidalnej) substancji organicznej wpływa, wzmacniając na stateczność zboczy. Grunty takie rozmakają dłużej, wykazują większy wskaźnik plastyczności itp. Wpływ zawartości węglanów jest mniej wyraźny, aby na podstawie nielicznych badań można ustalić jakieś zależności.

Skład mineralny charakteryzuje zatem głównie dwa odrębne środowiska tworzenia się ilów: lądowe i morskie, przy czym interesujące jest to, że dokładność stosowanych metod nie wskazuje na różnice mineralne łożysk karpaczych i ilów z okolic Krakowa.

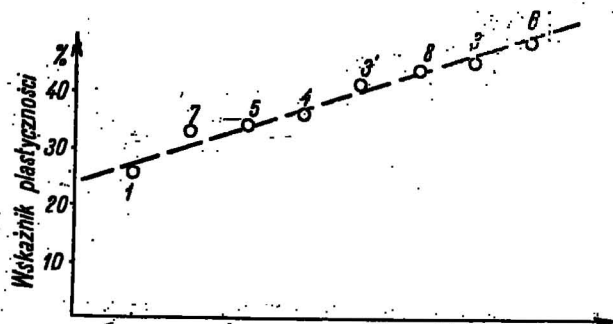
Bardziej skłonne do osuwisk są zatem ily ilitowe czy montmorylonitowe — natomiast ily kaolinitowe są bardziej stateczne w porównaniu z poprzednimi. W każdej z tych grup zawartość kwarcu (frakcja ilasta) obniża stateczność gruntów na zboczach.

**Współdziałanie ilów z wodą.** Dla scharakteryzowania zdolności współdziałania gruntów z wodą wykonano oznaczenia wskaźnika plastyczności i szybkości rozmakania w wodzie suchych prób gruntu.

Biorąc pod uwagę najnowsze poglądy na budowę gruntów ilastych, można łączyć plastyczność gruntów ilastych z ich składem ziarnowym i ze składem mineralnym. Mianowicie ze wzrostem zawartości frakcji ilastej powinien rość wskaźnik plastyczności. Zależność między ilastością a wskaźnikiem plastyczności jest zmienna stosownie do różnych mineralogicznie ilów.

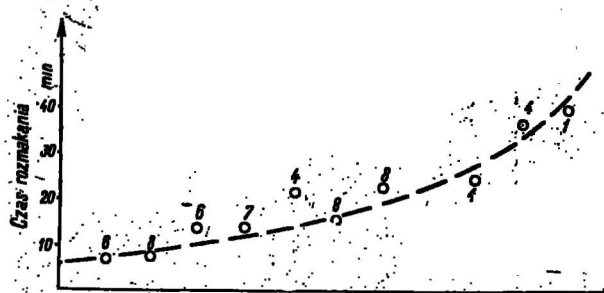
Wyniki przeprowadzonych badań nie wykazują jednak zgodności między wskaźnikiem plastyczności i zawartością frakcji ilastej. Okazuje się, że pewne grunty w zależności od warunków tworzenia się mogą w oznaczeniach składu ziarnowego wykazywać małą wartość frakcji ilastej. Wynika stąd, że pod wpływem elektrolitów w ośrodku sedymentacyjnym elementarne cząstki ilaste uległy koagulacji w większe agregaty ziarnowe. Agregaty te zostają rozdzielone przy długotrwałym mechanicznym ucieraniu w czasie przygotowania próby do oznaczenia granicy płynności. Dlatego też zależność plastyczności od zawartości frakcji ilastej układa się w ściśle charakterystyczny sposób dla omawianych gruntów (ryc. 2), a mianowicie: wskaźnik plastyczności maleje ze wzrostem zawartości frakcji ilastej w gruntach. Stąd grunty osuwiskowe wykazują duży wskaźnik plastyczności, natomiast grunty bardziej stateczne, np. ily z Dolnego Śląska o dużej zawartości frakcji ilastej, charakteryzują się mniejszym wskaźnikiem plastyczności.

**Rozmakanie gruntów.** Wyniki oznaczeń szybkości rozmakania suchych prób wskazują, że najdłużej rozmakają grunty z Turosszowa, Jaro-



— ryc. 2 — wskaźnik plastyczności gruntów — objaśnienia jak dla ryc. 1 (3 — Drogina).

szowa, a próby z Sadowia i Białego Kościoła rozpadają się w wodzie w czasie o wiele krótszym (ryc. 3).



— ryc. 3 — Czas rozmakania suchych prób z gruntów osuwiskowych — objaśnienia jak dla ryc. 1.

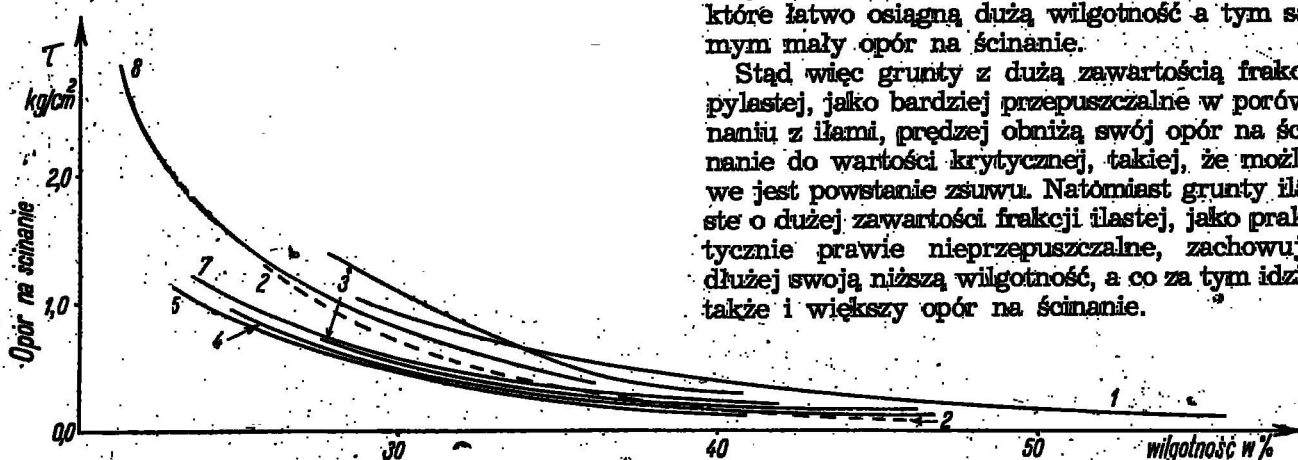
Szybkość rozmakania łączy się z uziarnieniem gruntu. Grunt ilasty rozmarka dłużej niż grunt pylasty czy piaszczysty. Bardziej skłonne do osunięcia będą grunty, które rozmarkają szybciej. W naszym przypadku można więc wg czasu rozmakania ustalić następującą kolejność osuwiskowości: Turosszów, Jarosław, Sadowie, Białe Kościoły. Kolejność ta jest zgodna z kolejnością stateczności, oparta na danych geologicznych i analizach ziarnowych.

Wykonano także nieliczne oznaczenia porowatości (cecha odzwierciedlająca strukturę gruntów), której jednak z uwagi na małą ilość oznaczeń nie można wiązać z innymi cechami gruntów. Ily z Turosszowa są mniej porowate niż grunty z okolic Krakowa. Wynikałoby stąd, że grunty o większej porowatości są skłonniejsze do osuwisk.

**Oznaczenia oporu na ścinanie.** Dla licznych prób ze wszystkich omawianych terenów osuwiskowych przeprowadzono oznaczenia kąta tarcia i kohezji lub ogólnego oporu na ścinanie przy zastosowaniu różnej aparatury i metodyki badań.

Wyniki oznaczeń wykazujące stosunkowo duże rozbieżności zestawiono w funkcjach obrazujących opór na ścinanie i wilgotność, a wy-

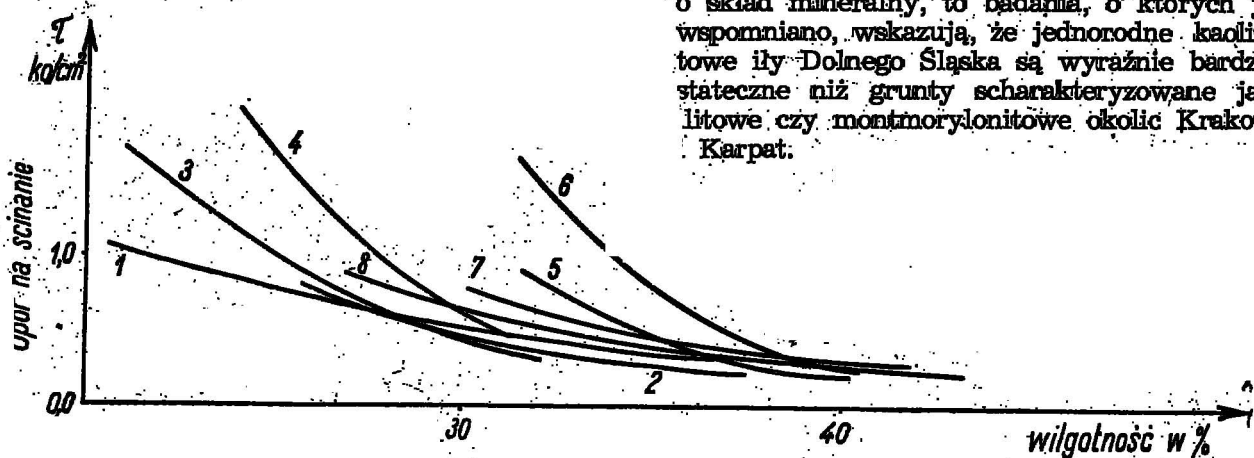
kresy tych funkcji naniesiono na wykres zbiorczy (ryc. 4 i 5).



Ryc. 4 — zależność oporu na ścinanie dla gruntów: 1, 2 — Turoszów (ściananie proste), 3 — Turoszów (ściananie trójosiowe), 4, 5 — Turoszów, próby naruszone (ściananie proste), 7 — Turoszów, próby z otworu wiertniczego (ściananie proste), 8 — Turoszów, próby z otworu wiertniczego (ściananie trójosiowe).

#### WNIOSKI

Z badań laboratoryjnych wynikają pewne zależności między osuwiskowością a laboratoryjnymi wskaźnikami gruntu. Tak np. jeśli chodzi o skład mineralny, to badania, o których już wspomniano, wskazują, że jednorodne kaolinowe iły Dolnego Śląska są wyraźnie bardziej stateczne niż grunty scharakteryzowane jako litowe czy montmorylonitowe okolic Krakowa i Karpat.



Ryc. 5. — Zależność oporu na ścinanie dla gruntów: 1 — Białe Kościół, ścinanie proste, 2 — Sucha, ścinanie proste, 3, 4 — Jarosław, ścinanie trójosiowe, 5, 6 — Jarosław, ścinanie trójosiowe, 7, 8 — Sadowie, ścinanie trójosiowe.

Jakkolwiek w zestawieniach tych zaznacza się zależność oporu na ścinanie od zawartości ilastej, to jednak zmiany te dla badanych gruntów są niewielkie, tak że trudno jest łączyć wielkość oporu na ścinanie z osuwiskowością danych gruntów. Rozpatrzywszy to zagadnienie bardzo ogólnie, można zauważyć na wykresach, że grunty bardziej osuwiskowe, bardziej pylaste wykazują przy tej samej wilgotności mniejszy opór na ścinanie.

Okazuje się jednak, że dopiero znaczna zmiana uziarnienia gruntu znajduje odzwierciedlenie w wartościach oporu na ścinanie. Grunty takie jak iły aż do pyłów wykazują przy pewnej wilgotności mało różniące się między so-

Pod względem składu ziarnowego najbardziej skłonne do osuwania są grunty pylaste lub te, które w warunkach sedymentacji i występowania zawierają w roztworze wody gruntowej elektrolity wpływające koagulująco na grunt, jak to stwierdzono przy porównywaniu oznaczeń składu ziarnowego i wskaźnika plastyczności.

Grunt skoagulowany może składać się z agregatów ziarnowych o wymiarze frakcji pylastej, agregaty te w dużej mierze określają własności gruntu.

Wyniki badań laboratoryjnych odnoszące się do współdziałania gruntów ilastych z wodą wskazują ogólnie, że skłonniejsze do osunięcia są grunty o większym wskaźniku plastyczności. Iły z Turoszowa i Jarosława, czyli z terenów uważanych za stosunkowo najbardziej stateczne, wykazują wskaźnik plastyczności 25—35%, iły

karpackie 32—41%, zaś ilły z okolic Krakowa 32—48%. Jak już wspomniano, zależność ta, niezgodna z poglądami na budowę gruntów ilastych, obowiązuje wyłącznie tylko omawiane grunty; dla innych natomiast miałyby ona inny charakter.

Wskaźnik plastyczności\* odzwierciedlający uziarnienie gruntów i ich skład mineralny\* może służyć jako porównawcza charakterystyka osuwiskowości jedynie dla gruntów, które mają podobny charakter mineralny. Wtedy większy wskaźnik plastyczności określa grunty bardziej stateczne, na co zwraca uwagę Keil (3) mówiąc, że grunty plastyczne o małym wskaźniku plastyczności są bardziej niebezpieczne pod względem osuwiskowości niż grunty o większym wskaźniku plastyczności.

Porównywanie osuwiskowości różnych mineralnie gruntów, jak w omawianym przypadku gruntów Dolnego Śląska, Krakowa i Karpat na podstawie wskaźnika plastyczności, prowadzi do wniosków niezgodnych z obserwacjami terenowymi oraz oznaczeniami składu ziarnowego i mineralnego.

Z powyższego wynika, że wskaźnik plastyczności wzięty oddzielnie nie może być wystarczającym kryterium stateczności dla różnych gruntów. Może on spełniać dobrze swoją rolę jedynie dla gruntów o podobnych warunkach tworzenia się i właściwościach mineralnych.

Wyniki badań rozmakania gruntów w stosunku do skłonności do osuwania układają się w kolejności podobnej do zestawionych na podstawie obserwacji terenowych i oznaczeń składu ziarnowego.

Opór na ścinanie (kął tarcia i kohezja najmniej wyraźne z przeprowadzonych oznaczeń laboratoryjnych) odzwierciedla różnice osuwiskowości badanych gruntów.

Widzimy więc, że na podstawie badań gruntoznawczych można ustalić pewne porównawcze wskaźniki stateczności zboczy.

Trzeba jednak podkreślić, że stateczność zboczy zależy głównie od naturalnych warunków występowania badanych gruntów (budowa geologiczna, warunki wodne) i na nie trzeba zwrócić uwagę i przeanalizować je.

Zagadnienie osuwisk jest przede wszystkim zagadnieniem geologicznym, a gruntoznawstwo i mechanika gruntów mogą wносить do rozważań o osuwiskach wiele cennych uzupełnień.

Ogólny podział stateczności gruntów osuwiskowych powinien opierać się na spostrzeżeniach geologicznych; terenowych, natomiast badania gruntoznawcze pozwolą na bardziej szczegółową klasyfikację zasadniczych typów gruntowych wydzielonych na podstawie obserwacji geologicznych.

\* O znaczeniu tych zależności i możliwości wykorzystania ich jako kryteriów szczegółowego podziału gruntów ilastych pisze W. Fortunat (2).

Analizując wyniki oznaczeń laboratoryjnych, można zauważyć, że między składem ziarnowym, mineralnym, wskaźnikami plastyczności a oporem gruntu na ścinanie istnieje zależność pozwalająca określić konkretne wartości potrzebne do praktycznych przeliczeń. Wydaje się, że opierając się na tych zasadniczych fizycznych cechach gruntów można równie dobrze, a nawet lepiej niż na podstawie bezpośrednich oznaczeń, wnioskować o wielkości oporu na ścinanie.

Nasuwa się wreszcie pytanie, które z omawianych oznaczeń laboratoryjnych dają najlepsze wyniki, czyli zgadzają się z obserwacjami terenowymi? Chodzi bowiem o to, które z wykonywanych badań może być stosowane jako wskaźnikowe, najbardziej charakteryzujące dany grunt pod względem skłonności do powstawania osuwisk.

Do takich cech wskaźnikowych zaliczyć można przede wszystkim skład ziarnowy i szybkość rozmakania w wodzie. Wskaźnikiem stateczności gruntów ilastych może być zawartość frakcji ilastej. Grunty o większej zawartości części ilastych są bardziej stateczne w porównaniu z gruntami pylastymi czy piaszczystymi. Grunty szybciej rozmakające w wodzie łatwiej ulegają deformacjom osuwiskowym niż grunty, które rozmakają długo (czas rozmakania jest proporcjonalny do zawartości frakcji ilastej).

Biorąc pod uwagę, że oznaczenie czasu rozmakania próby gruntu jest bardzo proste, gdy oznaczenie składu ziarnowego zajmuje dużo czasu, można wnosić, iż rozmakanie gruntów jest praktycznie lepszym wskaźnikiem porównawczym osuwiskowości gruntów niż oznaczenie składu ziarnowego. Ponieważ jednak zależność między szybkością rozmakania a osuwiskowością omawianych gruntów opiera się na mniej licznych w porównaniu z oznaczeniami składu ziarnowego badaniach, dlatego też przytoczonego wniosku nie można formułować ostatecznie.

Wydaje się, że oznaczenie składu mineralnego nie daje do celów porównawczych lepszych danych niż oznaczenie składu ziarnowego.

Wskaźnik plastyczności może być wskaźnikiem porównawczym dla stateczności gruntów o podobnym lub zbliżonym składzie mineralnym. Stosowanie tego wskaźnika jest zatem dla oceny stateczności gruntów ograniczone.

Inne oznaczenia, a to pośrednie wskaźniki struktury gruntów i porowatości: wilgotność, ciężar objętościowy i właściwy oraz oznaczenia oporu na ścinanie, jeszcze bardziej ustępują oznaczeniom składu ziarnowego i szybkości rozmakania w wodzie, jeśli chodzi o ich praktyczną przydatność do oceny osuwiskowości omawianych gruntów.

Sumując całość badań nad osuwiskowością gruntów ilastych z różnych pod względem geologicznym terenów, należy stwierdzić, że:

1. Ocena stateczności zboczy naturalnych czy też projektowanych wymaga dokładnego pozna-



nia budowy geologicznej i warunków wodnych terenu, w którym zbocznie występuje.

2. Badania laboratoryjne stanowią cenne uzupełnienia wniosków opartych na obserwacjach terenowych. Nie można jednak wyprowadzać wniosków o osuwiskowości czy stateczności pewnych terenów jedynie na podstawie badań laboratoryjnych, traktując te oznaczenia jako podstawowe do rozwiązania zagadnienia.

3. Metoda badań laboratoryjnych, nie pozbawiona szeregu braków a także niejednokrotnie wyczerpującego teoretycznego uzasadnienia, pozwala jedynie na uzyskanie wskaźników porównawczych.

4. Stosowane metody badań laboratoryjnych można uporządkować według ich przydatności do oceny osuwiskowości gruntów. Charakterystycznym wskaźnikiem stateczności badanego gruntu ilastego jest oznaczenie składu ziarnowego oraz szybkości rozmakania w wodzie. Również dobre, bardziej ogólne wnioski o stateczności gruntu można wyprowadzać na podstawie oznaczeń składu mineralnego.

5. Całość badań terenowych i laboratoryjnych można zestawić w pewien schemat metod badawczych nad zagadnieniem stateczności stoków.

Przede wszystkim ustala się na podstawie geologicznych badań terenowych przynależność badanych gruntów osuwiskowych do zasadniczych typów genetycznych i regionalnych.

Oznaczenie składu ziarnowego gruntów przynależnych do jednego typu geologicznego pozwala na przeprowadzenie bardziej szczegółowego podziału, opierającego się na zawartości frakcji ilastej, na grunty ilaste, bardziej stateczne i grunty pylaste czy piaszczyste bardziej niebezpieczne. Różne pod względem składu ziarnowego grunty ilaste można w dalszym ciągu klasyfikować na bardziej i mniej osuwiskowe w zależności od charakteru mineralnego oznaczonego laboratoryjnie. W ten sposób moż-

na wyróżnić dwie lub trzy grupy mineralne: kaolinitową, ilitową i ew. montmorylonitową.

W zakresie każdej z tych grup mineralnych można przeprowadzać dalszy podział osuwiskowości na podstawie zawartości zasadniczych składników mineralnych — kaolinitu, ilitu czy montmorylonitu, a także na podstawie zawartości kwarcu i humusu.

Różnice w składzie mineralnym poszczególnych zasadniczych grup mineralnych odzwierciedlają się także w oznaczeniach wskaźnika plastyczności, który wtedy może służyć jako podstawa porównania osuwiskowości gruntów ilastych.

Dla przybliżonej a szybkiej charakterystyki osuwiskowości służyć mogą oznaczenia szybkości rozmakania suchej próby gruntu w wodzie.

#### L I T E R A T U R A

1. Endell K., Seifert R., Ehrenberg J., Thiedemann B., Hoffmann U., Wilm O. — Bestehen Zusammenhänge zwischen Rutschneigung und Chemie von Boden? „Mittellungen Preuss. Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau“, Berlin 1935.
2. Fortunat W. — Nowe zagadnienia z mechaniki gruntów ilastych. „Przegląd Geologiczny“ 1955, nr 2.
3. Keil K. — Ingenieurgeologie und Geotechnik. Halle 1951.
4. Köhler R. — Über Beziehungen zwischen der Rutschneigung von Boden und deren physikalischen und chemischen Eigenschaften. „Jahrb. Preuss. Geol. L. A.“ 1937.
5. Sawicki Ludomir — Osuwisko ziemne w Szymborku i inne zsuwy powstałe w r. 1913 w Galicji Zachodniej. Rozpr. Wydz. — Mat.-Przyr. A. U. 16, 1916, ser. III dział A. Kraków 1917.
6. Świderski B. — Przyczynki do badań nad osuwiskami karpackimi. „Przegląd Geograficzny“ 1932, 12.
7. Teisseyre H. — Materiały do znajomości osuwisk w niektórych okolicach Karpat i Podkarpacia. „Posiedzenia naukowe PIG“ 45, Warszawa 1936.