PIOTR ŚLIWA

O ZMIANACH NACHYLENIA ZBOCZY OSUWISKOWYCH W CZASIE

NAJWIĘKSZĄ SKŁONNOŚĆ do tworzenia osuwisk na zboczach przejawiają utwory ilaste. Dzieje się to wskutek tego, że pod wpływem czynników zewnętrznych zmieniają one swe własności fizyczno-mechaniczne w szerokich granicach, a także wykazują duże ich różnice w zależności od warunków lokalnych.

Występowanie osuwisk na terenie naszego kraju łączy się z ilastymi utworami różnych formacji geologicznych, a szczególnie częste jest w trzeciorzędzie. W niniejszym artykule podano spostrzeżenia dotyczące czasowych zmian nachylenia zboczy zbudowanych z iłów mioceńskich (przynależnych do morskiego miocenu okolic Krakowa i niżu sandomierskiego oraz do miocenu śródlądowego Dolnego Śląska).

Zbocze naturalne lub sztuczne cechuje się w stanie równowagi określonym kształtem, który może być scharakteryzowany za pomocą jego nachylenia i wysokości pionowej. Te dwa parametry kształtu zbocza w utworach ilastych, ogólnie biorąc, pozostają ze sobą w stosunku odwrotnie proporcjonalnym, co można wyrazić uproszczonym równaniem:

$$h = f\ (W \frac{1}{\alpha})$$

gdzie W — jest wielkością przedstawiającą wytrzymałość mechaniczną skał budujących zbocze na ścinanie, zależną od budowy geologicznej zbocza, warunków wodnych, klimatycznych itp. Jeżeli wymienione czynniki dla kilku rozpatrywanych zboczy są podobne, to wówczas ich kształt zależy głównie od własności skał (w naszym przypadku skał ilastych) budujących dane zbocza.

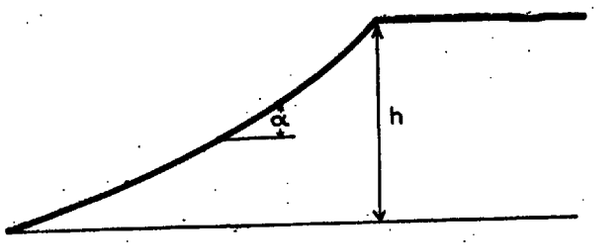
W utworach niekohezywnych, takich jak: piaski, żwiry, gruz skalny — wartość „W" zależy od stałej w czasie wielkości — kąta wewnętrznego tarcia. Natomiast w utworach ilastych (skały ilaste, zwietrzelina gliniasta, niektóre skały zwięzłe) wytrzymałość mechaniczna „W" zależy od zmiennej w czasie wielkości — kąta wewnętrznego tarcia oraz kohezji i jest funkcją szeregu, określających je czynników. Z czasem w wyniku np. procesów wietrzenia kąt tarcia i kohezja takich skał maleją, a równowaga zbocza przy określonych parametrach jego kształtu zostaje

naruszona i stok ulega osunięciu. Osunięte masy układają się z nachyleniem mniejszym od pierwotnego, gwarantującym stan równowagi. Postępujące w dalszym ciągu procesy wietrzeniowe i zmiany zawodnienia powodują ciągłe obniżanie się spoistości skał zboczowych i związanych z nią mechanicznych ich własności. Dojrzewają one niejako przez pewien okres czasu do ponownego osunięcia lub zmieniają nachylenie na zboczu w sposób ciągły.

Ustalone nachylenia terenów osuwiskowych, tzn. takie, na których nie obserwuje się praktycznie biorąc dalszych zmian nachylenia w czasie, są małe i np. dla terenów karpackich wahają się w granicach 3 — 14° (1, 3).

Dla porównania warto wspomnieć, że zawodnione piaski, osuwające się wskutek nagłych wahań zwierciadła wody gruntowej (wybrzeża Holandii), układają się z nachyleniem 3—4° (5). Zawodnione utwory ilaste zwałowania na jednej z naszych kopalń węgla brunatnego układają się po osunięciu z nachyleniem 3 — 5°. Obserwacje te wskazują, że najmniejsze nachylenie, do jakiego dążą osuwające się grunty, jest dla różnych rodzajów gruntów podobne, zwykle bardzo małe i waha się w granicach kilku stopni. Te wymienione dwa przykłady mają charakter szczególnych, gdyż wskutek intensywnego oddziaływania wody proces osuwania przebiega szybko. Nas interesują zmiany nachylenia zboczy nie pozostających pod dynamicznym działaniem wód gruntowych, lecz wietrzejących zależnie od warunków klimatycznych. Warunki te występują w większości odkrywek eksploatacyjnych węgla brunatnego, materiałów ogniotrwałych, ceramicznych itp.

Mechanika gruntów dysponuje wielu metodami do określenia wysokości pionowej h i jednocześnie bezpiecznego nachylenia α. Pozwalają one na mniej lub bardziej dokładne określenie kształtu zbocza, jeśli znane są aktualne albo przewidywane fizyczno-mechaniczne własności skał zboczowych. W obliczeniach tych rozpatruje się więc statyczną równowagę zbocza w momencie, któremu odpowiadają określone własności skał.

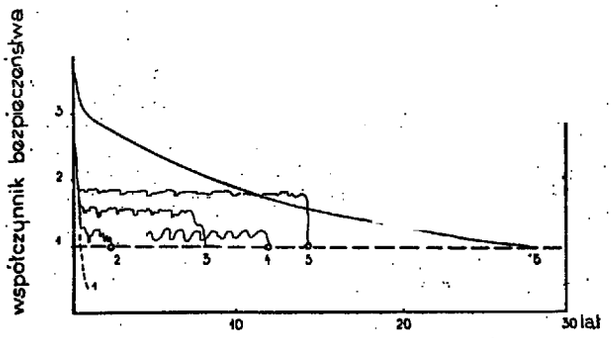


Ryc. 1

Problem charakteru i intensywności zmian kształtu zbocza w czasie jest opracowywany bardzo fragmentarycznie. Trudne to zagadnienie komplikuje się dodatkowo przez to, iż utwory budujące zbocza są zwykle niejednorodne, a zatem czasowe zmiany ich własności przebiegają bardzo różnorodnie, tym bardziej że i warunki występowania zboczy tylko z pewnym przybliżeniem można uznać za podobne. Nie jest więc łatwe ustalenie dla szeregu zboczy stałych parametrów czy grup parametrów i określanie między nimi ewentualnych związków i zależności. Z tych to względów zagadnienie zmian stateczności zboczy wymaga opracowania statystycznego, opierającego się przede wszystkim na licznych obserwacjach terenowych.

Równowagę zbocza określają siły aktywne, dążące do wywołania ruchu i przeciwdziałające im siły oporu. Źródłem pierwszych jest głównie ciężar mas skalnych, dodatkowe obciążenie zbocza, ciśnienie spływowe wody gruntowej; drugie — wiążą się z mechaniczną wytrzymałością skał występujących na zboczu, zależną od wielu czynników, o których była już mowa.

Zbocze jest w równowadze, czyli stateczne, jeżeli przeważają siły oporu. Stosunek sił oporu do sił aktywnych lub ich momentów określa współczynnik bezpieczeństwa stoku „n". Wartość jego powinna być większa od jedności.



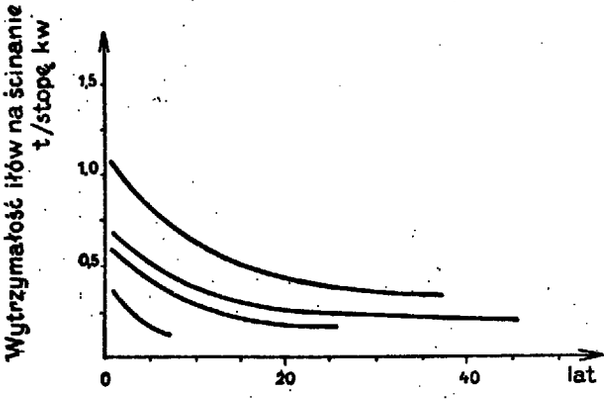
Ryc. 2.

1 — osuwisko w czasie wykonywania wykopu, 2 — osuwisko wskutek ulewnych deszczów, 3 — osuwisko wskutek przesiąkania wody z kanału, 4 wahania wsp. bezp. przy opróżnianiu i napełnianiu zbiornika wodnego, 5 — nagłe upłynnienie skał luźnych, 6 — spadek spoistości gruntu (kąta tarcia i kohezji).

Wartość ta ulega ciągłym zmianom i wahaniom wskutek zmian w zawilgoceniu skał zboczowych w różnych porach roku, a ponadto, co jest może najważniejsze, ulega ciągłemu zmniejszaniu w związku ze zmniejszaniem się kohezji i kąta wewnętrznego tarcia. Linia przedstawiająca zmiany współczynnika bezpieczeństwa stoku może ulec nagłemu obniżeniu wskutek oddziaływania takich czynników jak: ulewne i długotrwałe deszcze, gwałtowne roztopy, nagłe obciążenie lub podcięcie zbocza, wstrząsy dynamiczne, wybuchy, trzęsienia ziemi itp. Wpływ tych zjawisk na raptowne obniżanie się współczynnika bezpieczeństwa zbocza przedstawia schematycznie ryc. 2 wg Terzaghiego (5). W związku z tym co powiedziano poprzednio, omawianie stateczności zboczy ograniczono do przypadków, dla których stosuje się niezaburzony przebieg wykresu

$$n = f(t)$$

Skempton (5) zauważył, że pionowa ściana w iłach londyńskich (London clay — eocen) w wysokości ok. 6 m (20 stóp) ulega naruszeniu po kilku tygodniach. Tej samej wysokości zbocze, ale przy nachyleniu 1 : 2 (26°), trwa w równowadze przez 10 — 20 lat, natomiast przy nachyleniu 1 : 3 (18°) stan równowagi



Ryc. 3

utrzymuje się do 50 lat; rzadko spotyka się nachylenie 1 : 6, tj. ok. 10°. Opierając się na powyższych spostrzeżeniach Skempton przeanalizował obniżanie się wytrzymałości tych iłów na ścinanie, a tym samym i nachylenia w czasie. Dla czterech zboczy osuwiskowych o różnym pierwotnym nachyleniu autor ten zestawił wykres (ryc. 3), z którego wynika, że

wytrzymałość na ścinanie dąży do pewnej stałej wartości, określającej małe nachylenie zbocza — ok. 0,2 — 0,3 t/stopę kw. = 0,215 — 0,322 kG/cm²; odpowiada to nachyleniu zbocza ok. 11 — 18°.

W miarę zmniejszania się wytrzymałości na ścinanie współczynnik bezpieczeństwa zbocza maleje. Nachylenie zbocza albo dopasowuje się stopniowo do coraz mniejszej wytrzymałości na ścinanie, albo też gwałtownie, nieraz okresowo w zależności od wystąpienia dodatkowego impulsu, którym najczęściej są obfite opady. Okresowość w tworzeniu się osuwisk jest charakterystyczną cechą tych zjawisk i wiąże się ona zwykle z latami mokrymi. Na terenach Karpat okres ten wynosi ok. 11 lat. Dla iłów londyńskich Toms (5) podaje, że okres intensywności w pojawianiu się osuwisk wynosi 19 — 20 lat, zaś dla iłów nadwołżańskich — około kilku lat.

Tabela I

l.p.	Miejscowość	Nachylenie zbocza	Wysokość	Okres trwałości
		stopnie	m	lat
1, 2	Jaroszów kop. glin. ogn.	50—70	8—11	ok. 1
3, 4	Turoszów kop. węgla br.	40—60	10—20	ok. 2
5, 6	Zarzecze n. Sanem	45—55	22	1
7, 8	Wólka Tanewska n. Sanem	48—54	10	1
9	Siedleczany n. Wisłą	41—42	10	1,5
10, 11	Tarnów ceg. Tarnowianka	30—35	7,5	1
12	Tarnów ceg. Konstancja	34	6,5	1
13	Sadowie wykop. kol.	26	16	0,5
14, 15	Łagiewniki ceg.	30—45	3—5	do 1
16	Nagnajów-Siedleczany	21	13	4
17	Turoszów ter. osuw.	20	—	5
18	Jaroszów ter. osuw.	15	—	5
19, 20	Łagiewniki ter. osuw.	10—20	—	10
21, 22	Sadowie ter. osuw.	5—8	—	20
23, 24	Siedleczany n. Wisłą	27—30	18	10
25	Chmielów ceg.	14	8	10
26	Chmielów ceg.	8	9,5	20
27	Nagnajów-Siedleczany	16	10	20
28	Dzików zbocze n. Wisłą	27	9,5	20
29	Zarzecze n. Sanem	13	20	25
30	Siedleczany-Nagnajów	6	12	ok. 40
31, 32	Skopanie stara ceg.	4—16	10—30	ok. 30
33	Tarnów stara ceg. Konst.	16	9,5	ok. 40
34	Biały Kościół	5—10	10—20	ok. 50

W latach 1950 — 1955 wykonano na terenach Podkarpacia i Dolnego Śląska szereg pomiarów nachylenia zboczy osuwiskowych zbudowanych z iłów mioceńskich (2, 4). Obserwacje dotyczące nachylenia zboczy starano się powiązać z wiekiem osuwisk lub określić długotrwałość pewnych zboczy o określonym nachyleniu. W kilku przypadkach dane te są tylko przybliżone, gdyż nie zawsze można było dokładnie określić lub zebrać wiarygodne informacje co do okresu trwałości zbocza. Z rozpatrywanych terenów pobrano próbki iłów do badań laboratoryjnych. Obserwacje terenowe zestawiono w tabeli I.

Dane przytoczone w tabeli I, na których podstawie zestawiony jest wykres (ryc. 4), odnoszą się do kilkudziesięciu zboczy w odkrywkach kopalń węgla brunatnego oraz glin ogniotrwałych (miocen lądowy Dolnego Śląska), zboczy odkrywek cegielni, wykopu kolejowego i zboczy naturalnych okolic Krakowa oraz stoków naturalnych i odkrywek cegielni na obszarze niżu sandomierskiego. Pomiar nachylenia osuwisk naturalnych dawnych przeprowadzono w części języka osuwiska, tzn. w tej jego partii, gdzie nachylenie zbocza jest mniej więcej jednakowe. Charakterystykę laboratoryjną iłów budujących omawiane zbocze ilustrują przytoczone wykresy i tabele (ryc. 5, tab. II).

Tabela II

Miejscowość	Opis makroskopowy	L_p %	L_l %	W_p %	A	t kG/cm
Turoszów	jednorodny jasnoszary, tłusty ił	33	58	25	0,50	0,82
Jaroszów	jednorodny jasnoszary, tłusty ił a także ciemno szary ił	28	57	29	0,91	1,10
Sadowie	ciemno-szaro-zielone warstwowane iły	37	78	41	5,12	0,43
Biały Kościół	żółtozielone i szare iły niewyraźnie warstwowane	26	68	42	2,80	0,67
Łagiewniki	ciemnobrunatny ciemnoszary ił warstwowany	32	64	32	3,20	0,45
Machów k. Sandomierza	iły zielonoszare warstwowane	31	65	34	0,98	0,86

Skład mineralny określano stosując termiczną analizę prostą wg metody J. Tokarskiego (6) oraz termiczną analizę różnicową. Do określenia pozostałych fizycznych i mechanicznych własności iłów posłużono się metodami powszechnie stosowanymi w laboratoriach gruntoznawczych. Wyniki oznaczeń laboratoryjnych wskazują, że badane utwory różnią się między sobą charakterem mineralnym, uziarnieniem i innymi własnościami. Przynależą one do dwu typów mineralnych:

1. Iły Dolnego Śląska, w których oprócz kwarcu występują w zdecydowanej przewadze minerały iłowe z grupy kaolinitu.
2. Iły miocenu morskiego okolic Krakowa zawierające obok kwarcu minerały przynależne do grupy ilitowej lub montmorylonitowej.

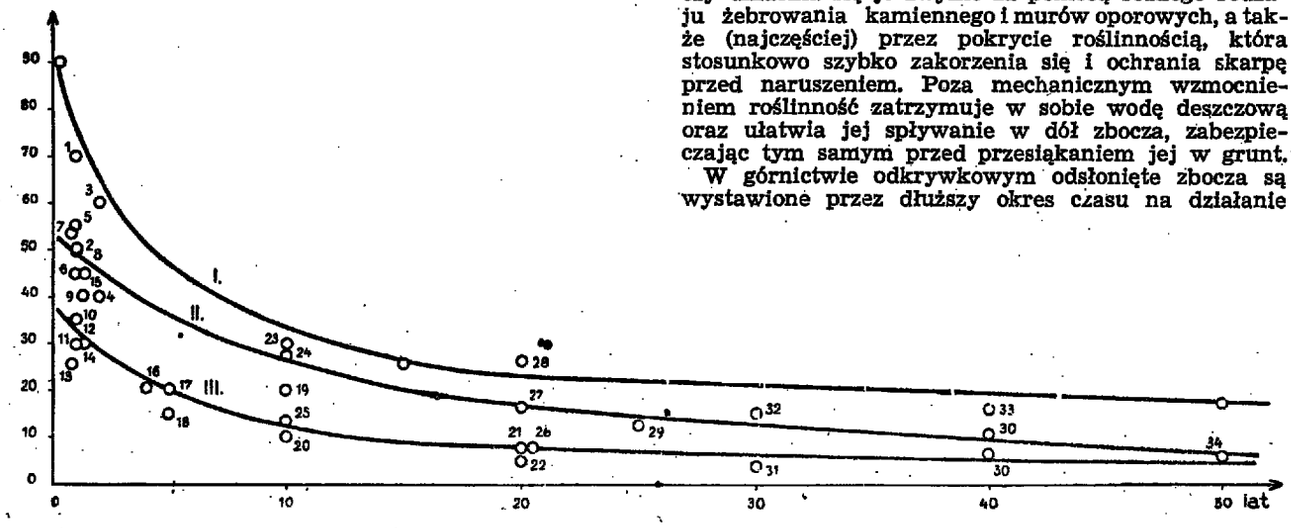
Nie określano charakteru mineralnego na próbkach iłów z niżu sandomierskiego, jednak można przyjąć, że ze względu na podobieństwo geologiczne (wiek, warunki sedymentacji itp.) będą one wykazywać charakter mineralny zbliżony do iłów z okolic Krakowa.

Skład granulometryczny rozpatrywanych gruntów przedstawia trójkąt uziarnienia. W zestawieniu (tab. II) podano wartości granic konsystencji i wskaźnika plastyczności, współczynnika aktywności wg Skemptona oraz wytrzymałości na ścinanie.

Porównanie danych zawartych w tab. I i II oraz wyciągnięcie stąd jakichś ogólnych wniosków jest utrudnione przez to, że pomiary kształtu zbocza odnoszą się do stoków o różnej wysokości pionowej, która (zwłaszcza przy zboczach niewysokich, skarpach odkrywek) ma niewątpliwie duże znaczenie. Oprócz tego jakkolwiek zbocza te zbudowane są na ogół z jednorodnych iłów, to warunki występowania poszczególnych zboczy wykazują pewne lokalne różnice (wielkości opadów i ich intensywność, podmywanie rzek, pokrycie roślinnością itp.).

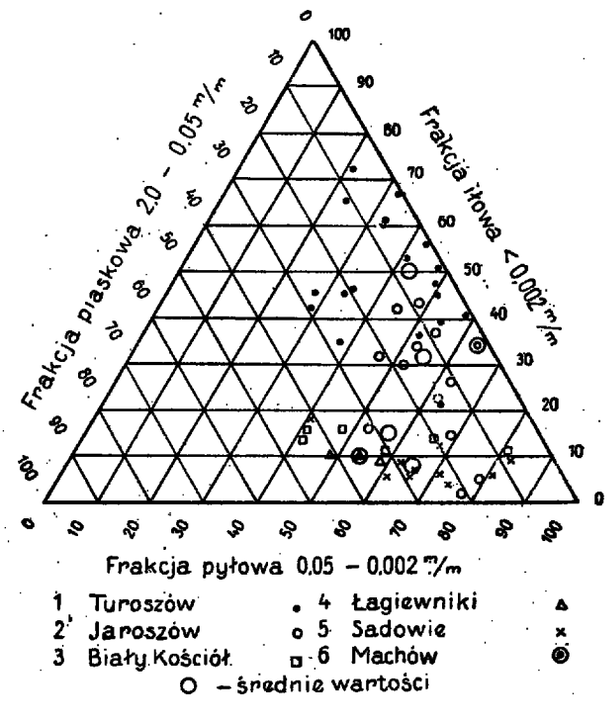
Dane zamieszczone w tab. I jak i dane Skemptona naniesione na wykres (ryc. 4) można próbować ująć w szereg krzywych, które ogólnie obrazują zmniejszanie się nachylenia zboczy w czasie. Krzywe te (wykresy funkcji parabolicznych lub logarytmicznych) dążą do pewnej asymptoty, będącej nachyleniem ustalonego zbocza. Dla wszystkich rozpatrywanych terenów to najmniejsze nachylenie, do którego dąży zbocze (kąt zbocza ustalonego), waha się w granicach kilku do kilkunastu stopni (średnia ok. 10°). Przebieg krzywych zależy, jak można wnioskować z porównania ich ze wskaźnikami własności gruntów

i warunkami występowania zboczy, od rodzaju iłów, z jakich zbocze jest zbudowane, a także warunków zboczowych (warunków, w jakich dane zbocze występuje). Z wykresu wynika więc, że zbocza brzegowe Sanu i Wisły pokryte na ogół roślinnością zdążają do ustalonego nachylenia wolniej niż odsłonięte na działanie czynników atmosferycznych zbocza skarpy odkrywek kopalnianych i cegielni, gdzie nachylenie osiąga wartość zbliżoną do nachylenia ustalonego po ok. 5 — 10 latach, a więc co najmniej dwukrotnie szybciej niż nachylenie zboczy brzegowych.



Ryc. 4

I. Wykres na podstawie danych Skemptona, II. Zbocza brzegowe Wisły i Sanu, III. Zbocza odkrywek cegielni (przeważnie odsłonięte)



Ryc. 5

Jednocześnie można także zauważyć, porównując skarpy odkrywek, że większe i przez dłuższy czas trwające nachylenie zboczy osuwiskowych utrzymuje się w iłach kaolinitowych (Turoszów, Jaroszów), mniejsze i przez krótszy czas trwające w ilitowych czy montmorylonitowych iłach okolic Krakowa, niżu sandomierskiego. Również widoczne jest, iż większe nachylenie utrzymują iły zawierające dużo frakcji iłowej (Dolny Śląsk), natomiast w pozostałych gruntach bardziej pylastych kształtują się zbocza łagodniejsze.

Zagadnienie zmian nachylenia zboczy w czasie ma duże znaczenie w górnictwie odkrywkowym i w budownictwie komunikacyjnym, gdzie zbocza wystawione są nieraz przez długi okres czasu na działanie czynników zewnętrznych. W budownictwie komunikacyjnym dla przeciwdziałania zsuwu stromych zboczy umacnia się je zwykle za pomocą różnego rodzaju żebrowania kamiennego i murów oporowych, a także (najczęściej) przez pokrycie roślinnością, która stosunkowo szybko zakorzenia się i ochrania skarpę przed naruszeniem. Poza mechanicznym wzmocnieniem roślinność zatrzymuje w sobie wodę deszczową oraz ułatwia jej spływanie w dół zbocza, zabezpieczając tym samym przed przesiąkaniem jej w grunt.

W górnictwie odkrywkowym odsłonięte zbocza są wystawione przez dłuższy okres czasu na działanie czynników atmosferycznych, zwłaszcza zbocza zaplecza odkrywki. Skarpy eksploatacyjne wystawione są na działanie czynników zewnętrznych przez krótszy okres czasu, który ponadto może być regulowany przez wybór odpowiedniego systemu eksploatacji. Odwrotnie, zależnie od tego, jak długo może trwać w równowadze skarpa eksploatacyjna, pozostanie wybór właściwego systemu eksploatacji. Z powyższych uwag wynika, że nachylenie karpy eksploatacyjnej na ogół może być większe niż nachylenie skarpy zaplecznej zależnie od tego, jak długo ma trwać odkrywka.

Znaczny wpływ na kształtowanie się nachylenia zboczy w czasie mają także lokalne warunki występowania zboczy, jak to z niektórych danych wynika. Stąd wyprowadzenie jakiejś zależności ogólnej i bardziej ściśle dla potrzeb praktycznych sformułowanej jest trudne, gdyż wymagałoby większej ilości obserwacji i pomiarów niż te, które podaje niniejszy artykuł, będący tylko przyczynkiem do tego zagadnienia.

LITERATURA

1. Kleczkowski A. — Zagadnienie osuwisk w dolinie Dunajca między Czchowem a Marcinkowicami. Praca dyplomowa AGH, 1950.
2. Podio R. — Techniczno-geologiczne własności nadkładu złoża siarki w Tarnobrzegu z uwagi na zamierzoną eksploatację odkrywkową. Praca dyplomowa AGH, 1956.
3. Śliwa P. — Osuwisko Bachledzkiego Wierchu w Zakopanem IG Biul. 96. Warszawa 1955.
4. Śliwa P. — Badania nad osuwiskowością niektórych iłów trzeciorzędnych (rękopis) 1956.
5. Terzaghi K. — Mechanism of landslides. Application of geology to engineering practice. Geol. Soc. of America, Berkey Volume. Nowy Jork 1950.
6. Tokarski J. — Zasady termicznej analizy gleb. Biul. L'Acad. Pol. Sc. Mat. et Nat. S. A. 1953.