

Ryszard KACZYŃSKI, Janusz MUCHOWSKI

Ruchy masowe na zboczach zbudowanych z ilów krakowieckich (na przykładzie doliny Wisły i Sanu)

Najbardziej charakterystycznymi typami powierzchniowych ruchów masowych na zboczach zbudowanych z ilów krakowieckich w dolinie Wisły i Sanu są klasyczne osuwiska, zsuwy i splezywanie. O stateczności tych zboczy decydują przede wszystkim powierzchnie osłabienia i resztkowe parametry wytrzymałości na ścinanie. Okres stabilizacji zboczy w ilach krakowieckich zależy od drenażu wód i w przypadku zboczy silnie zawodnionych jest on długotrwały.

WSTĘP

Długoletnie obserwacje zachowania się naturalnych zboczy, zbudowanych z ilów krakowieckich i objętych rozwojem powierzchniowych ruchów masowych, dostarczyły wielu informacji dotyczących charakteru i dynamiki tych procesów w zależności od warunków geologicznych (w tym i hydrogeologicznych) oraz wpływu tych warunków na przebieg stabilizacji stref zboczowych. Analizą objęto (fig. 1) zbocza doliny Wisły między Baranowem Sandomierskim a Tarnobrzegiem, stanowiące zachodnią krawędź Garbu Tarnobrzeskiego, oraz zbocze doliny Sanu między Krzeszowem a Zarzeczem koło Niska, stanowiące południową i południowo-zachodnią krawędź Płaskowyżu Tarnogrodzkiego.

W obu tych obszarach zbocza dolin niemal na całej długości mają charakter osuwiskowy lub przynajmniej wykazują cechy morfologii poosuwiskowej. Wysokość ich przeważnie waha się w granicach 10–20 m (dolina Wisły) i 20–30 m (dolina Sanu). Jedynie w okolicach Krzeszowa, gdzie ility krakowieckie są nadbudowane miększą serią lessową, osiągają 40–50 m. Przeciętne średnie nachylenia zboczy wynoszą 8–22°, miejscami dochodzą do ok. 40°. Analizowane zbocza niemal na całej wysokości zbudowane są z ilów krakowieckich. Pokrywa utworów czwartorzędowych (na ogół piaski oraz gliny zwałowe) jedynie lokalnie (Krzeszów i Hawryły nad Sanem) osiąga miąższości przekraczające 5–6 m.

Współczesna aktywność procesów osuwiskowych jest bardzo zróżnicowana. Dominują zbocza o starej morfologii osuwiskowej, nie wykazujące żadnych oznak ruchu, bądź też z lokalnie i na niewielką skalę rozwijającymi się procesami osuwisko-

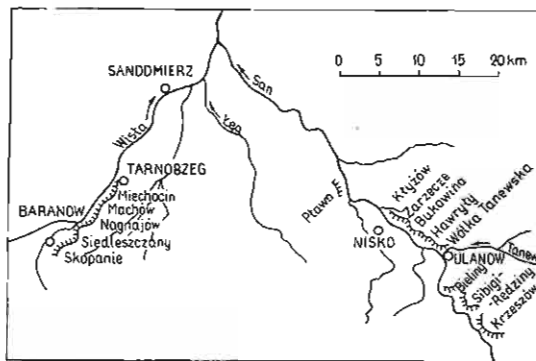


Fig. 1. Lokalizacja badanych zboczy osuwiskowych
Location of the investigated slide slopes

wymi. Dużą aktywnością wyróżniają się tylko nieliczne odcinki zboczy, najczęściej współcześnie podcinane przez rzeki. W tych też obszarach obserwuje się największe szkody w uprawach rolnych i sadowniczych, a niekiedy nawet i w zabudowie (np. w Zarzeczcu nad Sanem). Odcinki zboczy o umiarkowanej i małej aktywności procesów osuwiskowych najczęściej bywają wyłączane z upraw i wykorzystywane jako pastwiska i łąki kośne. Dominuje tu więc roślinność zielna z niewielkimi zwykle skupieniami mniej lub bardziej zwartych zarośli i drzewostanów, których udział wzrasta zwykle na zboczach stromych bądź tych, które z uwagi na większą intensywność ruchów zostały wyłączone z jakiegokolwiek użytkowania. Odcinki lub fragmenty zboczy ustabilizowanych zostały niekiedy włączone do upraw (rolnych i sadowniczych), a czasem nawet zabudowane.

Przedstawiony artykuł¹ zawiera krótką charakterystykę typów powierzchniowych ruchów masowych wraz z omówieniem warunków ich rozwoju i stabilizacji oraz geotechniczną ocenę masywu gruntowego, w którym się rozwijają, w tym także ocenę właściwości budujących go ilów krakowieckich i ich zwietrzelin.

FIZYCZNE I MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI IŁÓW KRAKOWIECKICH I ICH ZWIETRZELIN

Iły krakowieckie, stanowiące główną formację w obrębie morskich osadów miocenskich wypełniających zapadlisko przedkarpackie, wykształcone są jako iły i gliny pyłaste zwięzłe, illitowo-montmorillonitowe, margliste, rytmicznie laminowane. Grubość lamin waha się od ułamków milimetra do kilku centymetrów. W iłach występują wkładki utworów piaszczysto-pyłastych, bentonitów, tufitów, a ponadto konkretne piryty i barytu. Iły występują najczęściej w stanie półzwałym i cechują się dużym stopniem konsolidacji. W naturalnym stanie mają wysokie parametry wytrzymałościowe (tab. 1).

Właściwości fizyczne i mechaniczne ilów krakowieckich kształtowały się w trakcie długiej i skomplikowanej historii geologicznej, w czasie której były poddawane kilkakrotnym cyklom obciążenia i odciążenia, w wyniku czego przeszły w stan przekonsolidowany (nie odprężony do końca). Z uwagi na znaczne przekonsolidowanie ilów należy się liczyć z dużymi zmianami wytrzymałości w czasie;

¹ Skrócona wersja artykułu, omawiająca główne prawidłowości rozwoju zboczy osuwiskowych, została złożona do druku w 1986 r. w *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*.

Tabela 1

Fizyczne i mechaniczne właściwości iłów krakowieckich i ich zwietrzeln

Parametr	Jed- nostka	Zwietrzeliny iłów krakowieckich		Iły krakowieckie
		Strefa		
		I	II	
Zawartość frakcji iłowej (f_i)	%	20–60		20–60 śr. 38
Gęstość właściwa gruntu (ρ_s)	Mg/m ³	2,60–2,75		2,63–2,77 śr. 2,69
Gęstość objętościowa gruntu (ρ_h)	Mg/m ³	1,70–1,95	1,85–2,10	1,85–2,32 śr. 2,10
Porowatość (n)	%	30–60	20–50	22–52 śr. 32
Aktywność wg Skempton (A)		0,7–1,5		0,6–1,25 śr. 0,85
Wilgotność tiksotropowa (W_{ts})	%	70–150		100–200
Powierzchnia właściwa (S)	m ² /g	100–320		140–250
Wilgotność naturalna (w_n)	%	25–40	20–35	10–30 śr. 22
Granica płynności (w_L)	%	40–75		35–90 śr. 60
Granica plastyczności (w_p)	%	20–35		19–40 śr. 27
Granica skurczu (w_s)	%	–		11–23 śr. 15
Stopień plastyczności (I_L)		0,9–2,0	10,1 do –0,1	–1,0 do 0,2
Stopień wilgotności (S_r)		0,7–1,0		0,9–1,0
Edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej (M_o)	MPa	1–10	5–50	10–150
Stopień skonsolidowania wg Pri- kłońskiego (K_d)		0,1–1,0	0,9–1,1	1,0–1,8 śr. 1,2
Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie (q_u)	MPa	0,001–0,1	0,005–0,25	0,10–2,50
Spójność (c_u)	MPa	0,001–0,05	0,01–0,1	0,015–0,5
Kąt tarcia wewnętrznego (Φ_u)	o	3–10	5–20	10–30 śr. 16–18
Krótkotrwałe nachylenie zbo- czy (α_s)	o	6–20		35–55, ~90
Długotrwałe nachylenie zboczy (α_r)	o	3–7		8–20
Reszkowa spójność (c_r)	MPa	–		do 0,01
Reszkowy kąt tarcia wewnętr- znego (Φ_r)	o	–		5–20 śr. 8–10

po osiągnięciu stanu granicznego nastąpi szybko zmniejszenie ich zdolności do przenoszenia obciążeń (Z. Glazer, R. Kaczyński, 1973; R. Kaczyński, 1980, 1981).

Z punktu widzenia oceny inżyniersko-geologicznej maszyn iłów krakowieckich należy zaliczyć do ośrodków niejednorodnych, anizotropowych i nieciągłych, zawierających naturalne powierzchnie osłabienia. Można wyróżnić dwa typy powierzchni osłabienia: sedymentacyjne (laminy, wkładki i przewarstwienia utworów pylasto-piaszczystych, iłów plastycznych itp.) oraz nieciągłości (powierzchnie strukturalne o charakterze powierzchni ciosowych i złustowań). Powierzchnie osłabienia wpływają w sposób istotny na zmniejszenie wytrzymałości (do wytrzymałości reszkowej). Współczynnik reszkowy A.W. Skempton (1964) osiąga

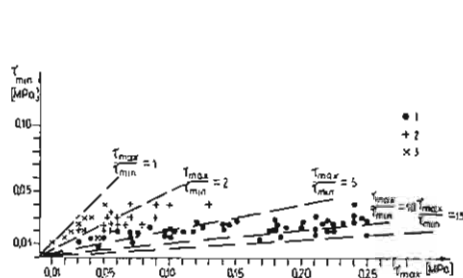


Fig. 2

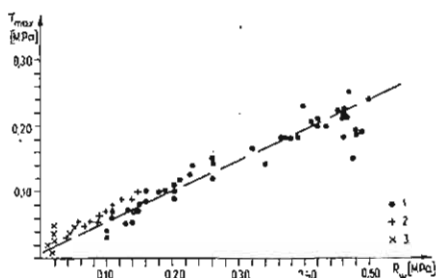


Fig. 3

Fig. 2. Wskaźniki wrażliwości strukturalnej stropowych partii iłów krakowieckich i ich zwierzelin (badania ścinarką *SO-1*; 80 badań; jeden punkt przedstawia średnią z 3 oznaczeń)

Structural sensiviness indexes of the top parts of the Krakowice clays and their weathering products (checked with the *SO-1* shear tester; 80 tests; one point represents the average value from 3 designations)

1 - ility krakowieckie ($\tau_{\min} = 0,010 + 0,678 \tau_{\max}$, $R = 0,72$); 2 - zwierzeliny iłów - strefa I ($\tau_{\min} = 0,0063 + 0,542 \tau_{\max}$, $R = 0,72$); 3 - zwierzeliny iłów - strefa II ($\tau_{\min} = 0,0146 + 0,214 \tau_{\max}$, $R = 0,68$); R - współczynnik korelacji

1 - the Krakowice clays ($\tau_{\min} = 0.010 + 0.678 \tau_{\max}$, $R = 0.72$); 2 - weathering products - zone I ($\tau_{\min} = 0.0063 + 0.542 \tau_{\max}$, $R = 0.72$); 3 - weathering products - zone II ($\tau_{\min} = 0.0146 + 0.214 \tau_{\max}$, $R = 0.68$); R - correlation coefficient

Fig. 3. Zależność wytrzymałości na ścinanie (τ_{\max}) od oporu (R_w) penetracji dla stropowych partii iłów krakowieckich i ich zwierzelin (τ_{\max} według ścinarki *SO-1*, R_w według poket penetrometru; 70 badań; jeden punkt przedstawia średnią z 5 oznaczeń) $\tau_{\max} = 0,010 + 0,461 R_w$, $R = 0,95$

Dependency of shear strength (τ_{\max}) from resistance (R_w) of penetration resistance (R_w) for the top parts of the Krakowice clays and their weathering products (τ_{\max} according to *SO-1* shear tester, R_w - according to the pocket penetrometer; 70 tests; one point represents the average value from 5 designations) $\tau_{\max} = 0.010 + 0.461 R_w$, $R = 0.95$

1 - ility krakowieckie; 2 - zwierzeliny iłów - strefa I; 3 - zwierzeliny iłów - strefa II; R - współczynnik korelacji

1 - the Krakowice clays; 2 - weathering products - zone I; 3 - weathering products - zone II; R - correlation coefficient

w iłach krakowieckich wartość 0,6–0,9 (R. Kaczyński, 1984; S. Rybicki, 1983). Wpływ makrotekstury na wytrzymałość gruntu obrazują również wyniki przedstawione na fig. 2, natomiast zróżnicowanie wytrzymałości zwierzelin i iłów niezwiertziałych - wyniki na fig. 3.

Iły krakowieckie są bardzo wrażliwe na oddziaływanie czynników egzogenicznych. Pod wpływem cyklicznego wysychania i nawilgacania przekształcają się z gruntu o bardzo dobrych właściwościach w zwierzelinę ilastą o niskich parametrach wytrzymałościowych. Obrazują to dane zawarte w tab. 1, przy czym wyraźnie zaznacza się zmienność właściwości zwierzelin, odpowiadająca stwierdzonej w terenie strefowości pionowej profilu wietrzeniowego. W normalnie bowiem wykształconym profilu wietrzeniowym (o przeciętnej miąższości do 2–3 m) można wyróżnić dwie strefy: górną (I) - iłów o całkowicie zmienionych cechach pierwotnych, oraz dolną (II) - iłów zwiertziałych.

Badania przeprowadzone w aparacie trójosiowego ściskania potwierdziły wyraźnie wrażliwość badanych iłów na zmiany wilgotności (tab. 2), przy czym uzyskane dane umożliwiają prognozowanie kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od zawilgocenia. Ilościowym wskaźnikiem podatności na wietrzenie („wrażliwości”) może być stosunek (w sensie Terzagiego) spójności, kąta tarcia wewnętrznego czy wytrzymałości na ścinanie gruntu niezwiertziałego do zwiertziałego. W przypadku badanych iłów wskaźnik $S = 1 - 10$, przy czym przede wszystkim zmniejsza się spójność.

T a b l a 2

Zależność kąta tarcia wewnętrznego i spójności od wilgotności
iłów krakowieckich i ich zwietrzelin

Wilgotność %	Kąt tarcia wewnętrznego Φ (o)		Spójność c (kPa)	
	iły krakowieckie	zwietrzliny iłów	iły krakowieckie	zwietrzliny iłów
12,5–15	30 – 22	–	300–160	–
15 – 17,5	22 – 17	–	160–120	–
17,5–20	17 – 15	–	120–100	–
20 – 22,5	15 – 13	–	100– 80	–
22,5–25	13 – 11,5	–	80– 65	70–40
25 – 27,5	11,5–10	7 – 5	–	40–30
27,5–30	–	5 – 4	–	30–20
30 – 32,5	–	4 – 3,5	–	20–16
32,5–35	–	3,5–3	–	16–13
35 – 37,5	–	3 – 2,5	–	13–11
37,5–40	–	2,5–2	–	11–10

W porównaniu z innymi dość powszechnie występującymi gruntami ilastymi, np. iłami plioceńskimi, iły krakowieckie cechują się wyższym stopniem konsolidacji. Iły plioceńskie przy podobnej zawartości frakcji iłowej są przeważnie mniej wytrzymałe i bardziej odkształcalne od iłów krakowieckich. W stosunku do iłów plioceńskich iły krakowieckie najczęściej mają niższe: wilgotność naturalną, stopień plastyczności i aktywność Skemptoną, wyższe natomiast: gęstość objętościową, edometryczny moduł ściśliwości, spójność, kąt tarcia wewnętrznego, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie itp. Cechują się także mniejszą podatnością na pęcznienie i wrażliwością na zmiany wilgotności, a zarazem dłuższym czasem rozmakania w stanie powietrzno-suchym. Z uwagi na budowę i właściwości fizyczno-mechaniczne iły krakowieckie wykazują duże podobieństwo do eoceńskich iłów londyńskich.

WARUNKI ROZWOJU I STABILIZACJI OSUWISK W IŁACH KRAKOWIECKICH

Zdecydowana większość dużych stref osuwiskowych obu analizowanych obszarów, niezależnie od współczesnej aktywności, wykazuje cechy starych stref, uformowanych w wyniku wielokrotnych ruchów osuwiskowych o różnym mechanizmie i różnych rozmiarach. Pierwotnie były to najczęściej duże obrywy i osuwiska właściwe, powstałe wzdłuż dość dobrze wyrażonej kołowo-cylindrycznej powierzchni poślizgu, zbliżone charakterem do osuwisk tworzących się współcześnie na zboczach podcinanych przez rzeki (fig. 4a–c). Rozwój późniejszych procesów zarówno w obrębie niszy, jak i koluwiów, doprowadził do ukształtowania bardzo skomplikowanej i nieraz mało czytelnej w szczegółach morfologii tych stref. Wśród mało i umiarkowanie aktywnych starych stref osuwiskowych charakterystyczny jest fakt, iż często zewnętrzny wał koluwalny wykazuje pełną stabilizację, podczas gdy w niszy oraz w wyżej położonych partiach koluwiów obserwuje się przejawy intensywnego działania procesów wtórnych (fig. 5a, c–e), wyrażonych głównie przez płytkie osuwiska, zsuwy zwietrzelinowe i splezywanie. Rozwojowi ich sprzyjają: gromadzenie się wód opadowych i wysiękowych we wszelkich zakłębłościach

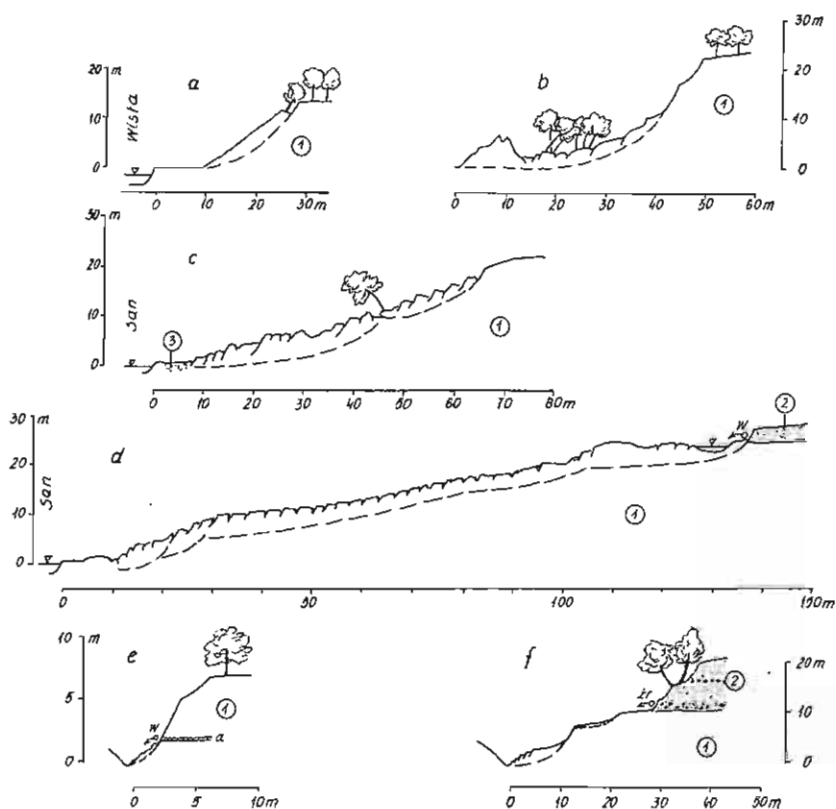


Fig. 4. Przykłady zboczy współcześnie podcinanych
Examples of recently undercut slopes

a – Siedleszczany nad Wisłą; b, c – Zarzeczce nad Sanem; d – Wólka Tanewska nad Sanem; e – Bukowina (zbocze wąwozu); f – Hawryły (zbocze wąwozu); 1 – iły krakowieckie (a – wkładki piaszczyste); 2 – piaski plejstoceńskie; 3 – współczesne aluwia; w – wysięki; źr – źródła
a – Siedleszczany on the Vistula; b, c – Zarzeczce on the San; d – Wólka Tanewska on the San; e – Bukowina (a slope of the gully); f – Hawryły (a slope of the gully); 1 – the Krakowice clays (a – sand bands); 2 – the Pleistocene sands; 3 – recent alluvium deposits; w – effluent seepages; źr – springs

powierzchni zbocza oraz niska odporność iłów krakowieckich na wietrzenie, której efektem jest szybki (A. Domagała i in., 1963; R. Kaczyński, 1977) postęp wietrzenia odsłoniętych partii masywu gruntowego mierzony dziesiątkami cm/a.

Wrażliwość iłów krakowieckich na działanie czynników atmosferycznych szczególnie ujawnia się na powierzchniach pionowych lub prawie pionowych (ściany podcięć naturalnych i sztucznych, progi nisz osuwiskowych itd.). Wskutek znacznych wahań temperatury i wilgotności rozwija się szybko postępująca dezintegracja przypowierzchniowych partii gruntu, przy jednoczesnym zaakcentowaniu już istniejących w tej strefie masywu powierzchni osłabienia. Osuwanie i osypywanie rozluźnionego materiału wietrzeniowego powoduje ponowne odsłanianie niezwiędzłego masywu gruntowego, czego efektem staje się stopniowe zmniejszanie nachylenia ściany. Najczęściej proces ten atakuje w pierwszej kolejności wyższe partie pionowych ścian (fig. 4a, e), podlegające największym wahaniom wilgotności, podczas gdy partie niższe, często zacienione i o bardziej wyrównanej wilgotności,

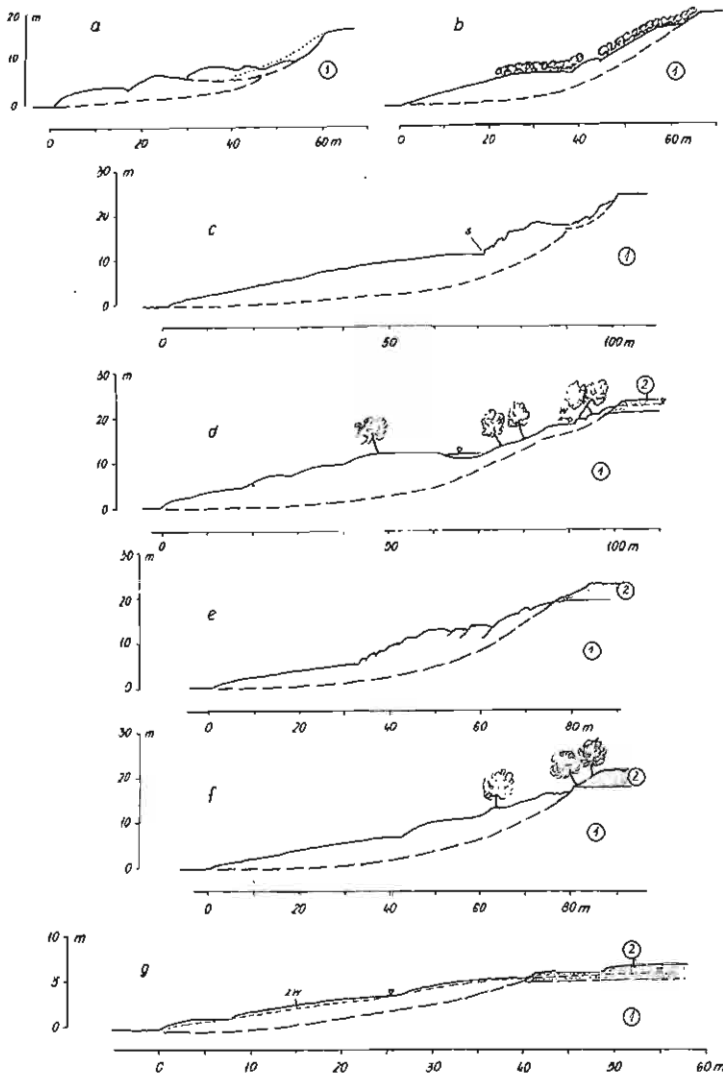


Fig. 5. Przykłady starych, zaawansowanych w rozwoju zboczy osuwiskowych
Examples of old, developed slide slopes

a - Siedleszczany nad Wisłą; b, c, d - Zarzeczce nad Sanem; e - Bukowina nad Sanem; f - Hawryły nad Sanem; g - Pławno (Stalowa Wola) nad Sanem (zbocze ostańca erozyjnego); s - niska skarpa z podorania zbocza; zw - zwierciadło wody gruntowej; pozostałe objaśnienia jak na fig. 4

a - Siedleszczany on the Vistula; b, c, d - Zarzeczce on the San; e - Bukowina on the San; f - Hawryły on the San; g - Pławno (Stalowa Wola) on the San (a slope of the erosive outlier); s - low scarp developed from slope undercutting by ploughing; zw - groundwater level; other explanations as given in Fig. 4

dłużej zachowują swą stromość, czasem nawet mimo dodatkowego zawilgocenia przez spływające wody wysiękowe (fig. 4e-f).

Postęp stabilizacji zbocza w znacznej mierze zależy od stopnia jego zawilgocenia. W warunkach korzystnych, tzn. w przypadku zbocza suchego i nie podcinanego,

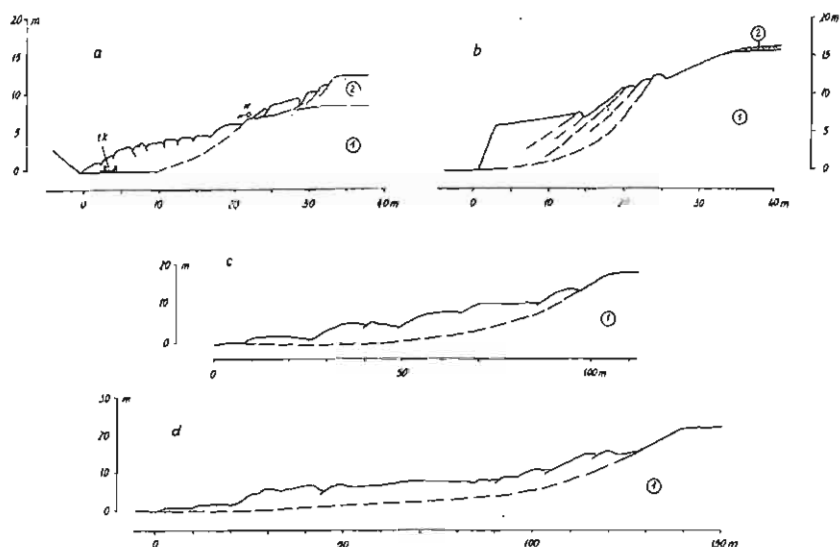


Fig. 6. Przykłady osuwisk rozwiniętych na zboczach naruszonych przez eksploatację iłów
Examples of slides developed on the slopes disturbed by clay exploitation

a – Sibigi – Rędziny nad Sanem; b, c, d – Skopanie nad Wisłą; b – osuwisko powstałe w 1969 r. według ówczesnego stanu, c, d – osuwiska ustabilizowane w starej części cegielni; tk – tor kolejki; pozostałe objaśnienia jak na fig. 4

a – Sibigi – Rędziny on the San; b, c, d – Skopanie on the Vistula; b – a slide developed in 1969 – the contemporary state; c, d – stabilized slides in the old section of the brick-kiln pit; tk – railway track; other explanations as given in Fig. 4

proces ten może przebiegać dość szybko, jak wskazują niektóre wysokie zbocza w starych cegielniach (np. w Skopaniu nad Wisłą, fig. 6c–d). Najczęściej pełną stabilizację wykazują zbocza o nachyleniach nie przekraczających 9–11°. Wielokrotnie jednak obserwowano stabilizację wysokich, suchych zboczy osuwiskowych także przy większych nachyleniach, rzędu 12–14°, a nawet 16–20°. Prawdopodobnie jest to uwarunkowane dobrym związaniem przypowierzchniowych partii gruntu przez systemy korzeniowe drzew i krzewów (fig. 5b), a częściowo i faktem, że stosunkowo wyrównana i dość konsekwentnie nachylona powierzchnia koluwiów na tych zboczach nie sprzyja długotrwałej stagnacji wód opadowych.

W warunkach zawodnienia koluwiów przez wody gruntowe (z przewarstwień piaszczystych w iłach lub z kontaktu iłów z pokrywą czwartorzędową) stabilizacja przebiega wolniej. Strefy takie cechują się na ogół znaczną aktywnością, przejawiającą się długotrwałym (dziesiątki lat), powolnym przemieszczaniem się rozluźnionych i nasyconych wodą mas gruntowych (koluwialnych i zwietrzelinowych) z okresowo powtarzającymi się poważnymi ruchami osuwiskowymi, obejmującymi znaczne masy gruntowe i przebiegającymi z dużą gwałtownością. Przykładem takiej częstej odnawialności ruchów, związanych z obecnością zawodnionych wkładek piaszczystych w iłach, jest czynna od kilku dziesięcioleci (A. Domagała i in., 1963; Z. Glazer, R. Kaczyński, 1974) duża strefa osuwiskowa w Siedleszczanach i Nagnajowie nad Wisłą (fig. 7, 8).

Również w przypadku osuwisk występujących na zboczach współcześnie podcinanych, szczególnie dużą i długotrwałą aktywnością wyróżniają się te, które rozwijają się w warunkach zawodnionego masywu gruntowego. I tak, w Wólce



Fig. 7. Osuwisko na zboczu doliny Wisły w Siedleszczanach
Slide on the slope of the Vistula Valley in Siedleszczany



Fig. 8. Przykłady drobnych wtórnych osuwisk na zboczu doliny Wisły w Siedleszczanach
Examples of small secondary slides on the slope of the Vistula Valley in Siedleszczany

Tanewskiej nad Sanem (fig. 4d), przy średnim nachyleniu zbocza $11-12^\circ$, bardzo intensywnie przemieszcza się (spęływanie, zsuwy, lokalnie płytkie osuwiska) pokrywa wietrzeniowa i koluwalna w tych miejscach, w których jest silnie zawodniona przez wodę z wysięków w górnej części zbocza. Ruchami osuwiskowymi nie zostały natomiast objęte niewielkie, dobrze zdrenowane fragmenty zbocza, zacho-



Fig. 9. Fragment dużej strefy osuwiskowej nad Sanem, Wólka Tanewska
Portion of the great slide zone on the San—Wólka Tanewska

wane w postaci wyraźnie wyodrębnionych ostańców, tworzących nad Sanem dość wysokie (do 8–10 m), strome ściany modelowane przez obrywy i osypywanie (fig. 9). Pierwsze, niewygasłe do dzisiaj, ruchy osuwiskowe w tej strefie wystąpiły w 1926 r. po opadnięciu wód powodziowych, które podtopiły zbocze do ok. 1/3 wysokości (A. Domagała i in., 1963). Znaczną intensyfikację ruchów odnotowano jeszcze w latach 1940 i 1960, wyróżniających się bardzo znacznymi opadami atmosferycznymi, przy jednoczesnych bardzo wysokich stanach powodziowych Sanu.

Jedną z ważnych przyczyn rozległości i dużej aktywności strefy osuwiskowej, rozwiniętej na zboczu podcinanym przez San w Krzeszowie (fig. 10), jest zawodnienie kontaktu ilów z pokrywą czwartorzędową.



Fig. 10. Fragment dużego osuwiska nad Sanem koło Krzeszowa; jedną z przyczyn dużej aktywności osuwiska jest zawodnienie kontaktu ilów krakowieckich z utworami czwartorzędowymi

Następstwem znacznego zawodnienia zbocza osuwiskowego bywa niekiedy tworzenie się płytkich, silnie podmokłych rynien złaziskowych, dających początek formowaniu się naturalnego systemu drenażowego osuwiska. System taki, w pełni już rozwinięty, składa się z wielu połączonych ze sobą rynien o charakterze złaziskowym i erozyjnym, odprowadzających wody z wszelkich podmokłych i zatorfionych zakleszczeń powierzchni koluwalnej oraz ze stref wysiękowych. Zjawisko to bardzo wyraźnie zaznacza się w strefie osuwiskowej Hawrył–Bukowiny koło Zarzecza nad Sanem. Strefa ta cechuje się szczególną obfitością wysięków i źródeł w niszach osuwiskowych, co powoduje znaczną ich aktywność. Tak duże zawodnienie tej strefy wiąże się z obniżeniem, wyraźnie zaznaczającym się w stropie ilów, które drenuje wody nadiłowe. Obfitość wód i wykształcenie piasków wypełniających to obniżenie wskazują, że może ono stanowić fragment kopalnej doliny Sanu z interglacjału kromerskiego, rozpoznanej w sąsiedztwie przez W. Laskowską-Wysoczańską (1971). Powszechnym zjawiskiem jest tu tworzenie się naturalnych rynien odwadniających nisze osuwiskowe i koluwia (fig. 11). Rynny te, początkowo o charakterze płytkich, złaziskowych, w niższych odcinkach nabierają cech rynien erozyjnych i często już w postaci dobrze wykształconych form erozyjnych (o głębokości do kilku metrów) rozcinają strefy zewnętrznych wałów koluwalnych. Efektem rozwoju takiego systemu jest częstokroć pełna stabilizacja koluwiów, mimo znacznej jeszcze świeżości ich morfologii i lokalnie (w sąsiedztwie wysięków) dużej nawet aktywności w strefie niszy. Przykładem strefy osuwiskowej całkowicie ustabilizowanej, ale jednocześnie wyjątkowo silnie przekształconej w wyniku rozwoju naturalnego systemu odwodnieniowego, jest zbocze doliny Sanu w Bukowinie (fig. 12). Nisza osuwiskowa uległa tu tak znacznemu rozpełźnięciu i rozmyciu przez wody wysiękowe, że o dawnych procesach osuwiskowych świadczy jedynie ciąg wyraźnie wyodrębnionych, stromych i stosunkowo wysokich (5–10 m) pagórków, które wyznaczają przebieg zewnętrznych wałów koluwalnych.

Tworzeniu się takich systemów drenażowych wyraźnie sprzyjają zwarte zarośla i drzewostany. Silnie rozwinięte i dość głębokie systemy korzeniowe drzew i krzewów wiążą bowiem przypowierzchniowe partie gruntu, skutecznie przeciwdziałając



Portion of the great slide on the San near Krzeszów; watered contact surface between the Krakowic clays and the Quaternary deposits is one of the reasons of high activity of the slide

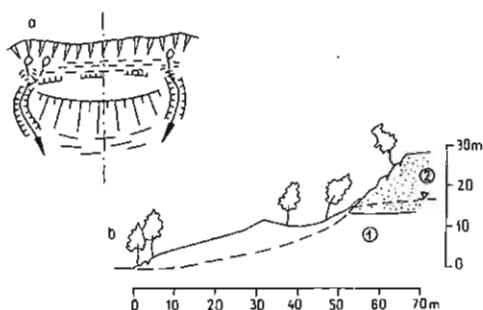


Fig. 11. Schemat naturalnego odwodnienia niszy osuwiskowej (a) i przekrój przez centralne partie osuwiska (b), Hawryły nad Sanem

Scheme of natural draining of the slide niche (a) and section through central parts of the slide (b), Hawryły on the San

Objaśnienia jak na fig. 4

Explanations as given in Fig. 4

zapyłowaniu tworzących się rynien odwodnieniowych przez masy zwietrzelinowe i koluwalne bardzo niestabilne w warunkach silnego zawodnienia. Ponadto omawiane zbiorowiska roślinne, wpływając wyrównująco na warunki wilgotnościowe i termiczne zbocz, obniżają tym samym intensywność wietrzenia fizycznego.

W przypadku bądź to niepełnego odwodnienia koluwiów poprzez system rynien odpływu, bądź też nie wytworzenia go, stabilizacja zboczy zbudowanych z iłów krakowieckich, modelowanych przez osuwiska, następuje na ogół przy nachyleniach nie przekraczających $7-9^\circ$ (fig. 5g).

WPŁYW DZIAŁALNOŚCI CZŁOWIEKA NA ROZWÓJ I STABILIZACJĘ OSUWISK W IŁACH KRAKOWIECKICH

Przedstawione wyżej główne prawidłowości rozwoju zboczy osuwiskowych zbudowanych z iłów krakowieckich bywają zakłócone czynnikami antropogenicznymi. Na obu omawianych obszarach (tereny gęsto zaludnione, zagospodarowane rolniczo i przemysłowo) istnieje wiele przykładów bezpośredniego wpływu na przebieg procesów osuwiskowych właśnie tego czynnika. Nie jest on wprawdzie czynnikiem wiodącym, ale szereg przedsięwzięć podejmowanych przez człowieka staje się źródłem impulsu, pod którego wpływem uruchamiają się stabilne dotychczas masy gruntowe. Ponadto czynnik antropogeniczny może oddziaływać bezpośrednio na przebieg już rozwijających się osuwisk.

Spśród wielu przejawów działalności człowieka najbardziej widoczne efekty pociągają za sobą czynności związane z miejscowymi zmianami geometrii zbocza, a więc i rozkładu naprężeń w maszywie gruntowym. W pierwszej kolejności należy wymienić liczne cegielnie, lokalizowane często w strefach zboczowych. Czynnikiem dodatkowo potęgującym w takich warunkach tendencję do rozwoju deformacji podciętego zbocza mogą być drgania wywołane pracą ciężkiego sprzętu, jak na to wskazuje przykład osuwiska powstałego w 1969 r. w Skopaniu nad Wisłą (fig. 6b). Gwałtownym przebiegiem cechują się także niekiedy deformacje skarp, w których odsonięto kontakt iłów z zawodnionym nadkładem, bądź też zawodnione wkładki piaszczyste. Przykładem może być osuwisko powstałe w końcu lat 60-tych w cegielni w Sibigach-Rędzinach nad Sanem (fig. 6a). Ruchem zostały tu objęte zarówno piaszki czwartorzędowe nadkładu, jak i część niezwięzniętego masywu iłów krakowieckich, w głąb którego mogła swobodnie przedostawać się woda za pośrednictwem szczelin, rozwierających się i powstających w wyniku jego odprężenia.

Zaprzestanie eksploatacji pociąga za sobą na ogół stopniową stabilizację zboczy. Pełna stabilizacja zboczy suchych może nastąpić nawet już po kilkunastu – kilkudziesięciu latach (fig. 6c, d). W mniej korzystnych warunkach, np. przy obecności

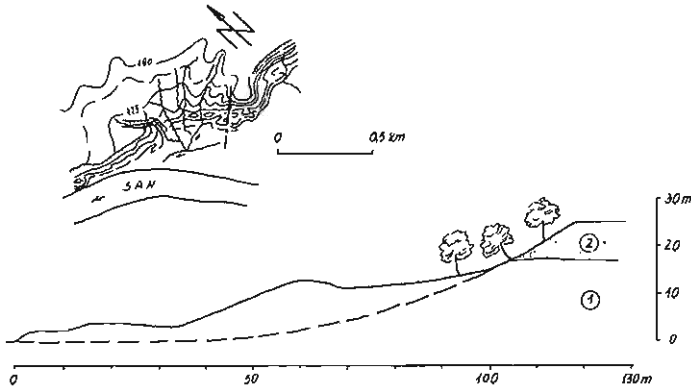


Fig. 12. Przykład bardzo silnie przekształconej strefy osuwiskowej w Bukowinie nad Sanem

Example of the very high transformed slide zone in Bukowina on the San

Objaśnienia jak na fig. 4

Explanations as given in Fig. 4

zawodnionych wkładek piaszczystych lub okresowym, a nawet epizodycznym podtapianiu zbocza podczas wezbrań rzek, procesy osuwiskowe zapoczątkowane w wyniku eksploatacji iłów mogą się rozwijać ze zmiennym nasileniem przez wiele dziesięcioleci i rozprzestrzeniać na obszary przyległe. Przykładem jest wspomniana już strefa osuwiskowa koło Nagnajowa (w tzw. Cegielnisku), w której na okresową intensyfikację ruchów miało ponadto wpływ wykarczowanie drzew (A. Domagała i in., 1963), budowa drogi i obciążenie górnej części zbocza przez nasyp (Z. Glazer, R. Kaczyński, 1974).

Zjawiska podobne do opisanych obserwuje się czasem także na skarpach (i w sąsiedztwie) innych wykopów – głównie drogowych i kolejowych (np. koło Nagnajowa). Ponadto lokalną aktywizację już ustabilizowanych zboczy wywołuje niekiedy ich podorywanie (fig. 5c) lub podcinanie przez drogi gruntowe.

Oprócz różnorodnych przedsięwzięć wpływających na zmianę rozkładu naprężeń w zboczu i naruszających przez to jego równowagę, bardzo istotne znaczenie mają te działania, które pośrednio lub bezpośrednio wpływają na warunki wodne masywu gruntowego, głównie koluwiów i pokrywy wietrzeniowej. Z jednej strony będą tu należeć działania wpływające na warunki odpływu wód z obszaru osuwiska, z drugiej zaś wpływające na warunki dopływu wód.

Z obserwacji terenowych wynika, że jednym z warunków wytworzenia się dobrze rozwiniętego, naturalnego systemu odwodnieniowego nisz osuwiskowych i koluwiów są zwarte drzewostany i zarośla. Niszczenie ich lub ograniczanie możliwości ich rozwoju przez intensywny wypas bydła na zboczach znacznie hamuje, a czasem wręcz uniemożliwia uformowanie się takiego systemu, zakłócając przez to proces naturalnej stabilizacji. Ponadto nawet w przypadku zboczy stosunkowo suchych, wypas bydła sprzyja spelzrywaniu, a więc i tworzeniu się otwartych szczelin ułatwiających przenikanie wód opadowych w głąb koluwiów. Znaczne zakłócenia odpływu nadmiaru wód ze stref osuwiskowych powodują czasem prowadzone przez nie drogi gruntowe.

Zagospodarowanie obszarów przylegających do górnej krawędzi zbocza ma także istotny wpływ na stopień okresowego zawodnienia osuwisk. W większości przypadków bezpośrednio do omawianych zboczy przylegają pola uprawne, przy

czym najczęściej nie są od nich oddzielone odpowiedniej szerokości pasem drzew i krzewów ochronnych. Sprzyja to przedostawaniu się na zbocza znacznych ilości wód opadowych z pól, a ponadto zwiewaniu na nie wielkich mas śniegu, który topniejąc powoduje okresowe, bardzo silne zawilgocenie koluwiów. Nie należą także do rzadkości przypadki odprowadzania na zbocza wód opadowych z pól i biegnących w sąsiedztwie dróg, za pośrednictwem specjalnie w tym celu wykonanych rowków.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Właściwości iltów, w szczególności przekonsolidowanych, zależą od czasu. Z jego upływem, absorbują one wodę i pierwotnie najczęściej ujemne ciśnienie porowe ulega rozproszeniu, wzrasta wilgotność, a efektywna wytrzymałość iltów się zmniejsza. Obraz ten jeszcze komplikują naturalne powierzchnie osłabienia. Wytrzymałość wzdłuż tych powierzchni jest bliska oporowi resztkowemu (*residual strength*). Resztkowy kąt tarcia wewnętrznego (Φ_r) iltów krakowieckich waha się w granicach 8–10°, przy maksymalnej wartości średnio (Φ_M) 16–18°.

Stateczność zboczy jest m.in. funkcją właściwości budujących je gruntów. W iltach krakowieckich warunki drenażu są utrudnione, odwodnienie trwa latami, a więc i stabilizacja zbocza będzie również długotrwała. Nie ma żadnej pewności, że pierwotnie stateczne zbocze zachowa warunki równowagi przez długie lata.

Badania i obserwacje prowadzą do następujących wniosków:

1. Na badanym terenie od wycofania się łądolodu do chwili obecnej zachodzi odciążanie osadów, zintensyfikowane denudacją. Wyrównywanie się ciśnienia wody w porach, odciążanych, przekonsolidowanych iltach jest opóźnione w stosunku do zmniejszenia naprężeń, wskutek czego nie ulegają one całkowitemu rozprężeniu.

2. Warstwa zwietrzliny tworząca się w stropie iltów ulega prawie całkowitej dekonsolidacji.

3. Iły krakowieckie należą do gruntów szczególnie wrażliwych na działanie procesów egzogenicznych. Powstałe zwietrzliny w sposób zasadniczy zmieniają swoje właściwości w stosunku do podłoża macierzystego.

4. O stateczności zboczy wyprofilowanych w niezwietrzonych iltach krakowieckich decydują przede wszystkim występujące w nich powierzchnie osłabienia i resztkowe parametry wytrzymałości na ścinanie.

5. Najbardziej charakterystycznymi typami powierzchniowych ruchów masowych rozwijających się na naturalnych zboczach dolin Wisły i Sanu są klasyczne osuwiska, zsuwy i spłyzywanie.

6. Na zboczach o nachyleniu poniżej 7–8° nie obserwuje się widocznych deformacji; zbocza te są stateczne.

PIŚMIENICTWO

- DOMAGAŁA A. i in. (1963) – Dokumentacja geologiczno-inżynierska istniejących skarp naturalnych i sztucznych wyprofilowanych w łażach krakowieckich. Rejon Tarnobrzeg – Nisko – Rudnik. Arch. Hydrokop. Kraków.
- GLAZER Z., KACZYŃSKI R. (1973) – Rheological studies on the strenght of Krakowiec clays. Proc. 8-th Intern. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., 4, p. 307–308, nr 3. Moskwa.
- GLAZER Z., KACZYŃSKI R. (1974) – Zur Dynamik von Massenbewegungen am Böschungen in „Krakowiec“-Tonen. *Ž. Geol. Wiss.* 2. p. 439–447. z. 4.
- KACZYŃSKI R. (1977) – Inżyniersko-geologiczna ocena wpływu powierzchni osłabienia w łażach krakowieckich na stateczność zboczy rejonu Tarnobrzega. *Biul. Geol. Wydz. „Geol. UW,* 22, p. 5–60.
- KACZYŃSKI R. (1980) – Strength and deformability of Upper Miocene clays of the Carpathian Foredeep. *Bull. Acad. Pol. Ser. Sc. Terre,* 28, p. 317–324, nr 4.
- KACZYŃSKI R. (1981) – Wytrzymałość i odkształcalność górnomiocenicznych łażów zapadliska przedkarpacciego. *Biul. Geol. Wydz. Geol. UW,* 29, p. 105–193.
- KACZYŃSKI R. (1984) – Badania wytrzymałości na ścinanie wybranych gruntów spoistych. *Mat. Konf. nt. „Mechanika gruntów w zastosowaniach inżynierskich”,* p. 203–232. Warszawa.
- LASKOWSKA-WYSOCZAŃSKA W. (1971) – Stratygrafia czwartorzędu i paleomorfologia Niziny Sandomierskiej i Przedgórze Karpat rejonu rzeszowskiego. *Stud. Geol. Pol.,* 34.
- RYBICKI S. (1983) – Geneza osuwisk na skarpach kopalni siarki Machów. *Mat. Symp. nt. „XXX rocznica odkrycia złóż siarki w PRL”,* p. 119–129. Tarnobrzeg.
- SKEMPTON A.W. (1964) – Long term stability of clays slopes. *Geotechnique,* 14, p. 77–101, nr 2.

Рышард КАЧИНЬСКИ, Януш МУХОВСКИ

**ОПОЛЗНЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА СКЛОНАХ, СЛОЖЕННЫХ
КРАКОВЕЦКИМИ ГЛИНАМИ (НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ ВИСЛЫ И САНА)**

Резюме

Почти на всем протяжении залегания краковецких глин склоны речных долин сформировались под влиянием оползней, а на многих отрезках и сейчас на поверхности склонов наблюдается активное движение грунтовых масс. Многолетние наблюдения над состоянием естественных склонов долины Вислы (между Барановом и Торнобжегом) и Сана (между Кжешовом и Зажемем около Ниска) принесли множество информации о характере и динамике оползневых процессов в различных геологических условиях (в том числе и гидрогеологических), о также о воздействии последних на процесс стабилизации склонов. Статья содержит выводы, вытекающие из анализа упомянутых зависимостей, учитывающие специфику свойств и внутреннего строения грунтового массива, сложенного краковецкими глинами.

Свойства глин, в особенности переуплотненных (к таким относятся краковецкие глины), являются изменчивыми во времени. С течением времени они поглощают воду и обычно отрицательное вначале поровое давление рассеивается, возрастает влажность, а эффективная прочность глин понижается. Эту картину осложняют естественные поверхности ослабления как седиментационного, так и разрывного характера. Прочность грунта по этим поверхностям близка к остоточной. Остоточное значение угла внутреннего трения изменяется в границах 8–12° при максимальном (пиковом) в среднем 16–18°.

Существенным свойством краковецких глин является их огромная восприимчивость к воздействию экзогенных факторов. Под действием циклического высыхания и увлажнения они очень быстро превращаются из прочного грунта в малопроchnый глинистый элювий.

Выполненные наблюдения позволили сделать следующие выводы:

1. Самыми характерными типами движения грунтовых масс на изучаемых склонах долин являются: классические оползни, поверхностные оползни коллювиально-элювиального покрова, оплывины и пластическое течение покровных, элювиальных образований.

2. Устойчивость склонов, сложенных неветрелыми краковецкими глинами зависит прежде всего от наличия в них поверхностей ослабления и от остаточных параметров прочности на сдвиг.

3. Период стабилизации склонов в краковецких глинах обусловлен дренажем вод. В случае сильно обводненных склонов это длительный процесс.

4. На пологих склонах (менее $7-8^\circ$) деформаций не наблюдается — это устойчивые склоны.

Ryszard KACZYŃSKI, Janusz MUCHOWSKI

MASS MOVEMENTS ON THE SLOPES COMPOSED OF THE KRAKOWIEC CLAYS (EXEMPLIFIED IN THE VISTULA AND SAN VALLEYS)

Summary

Almost on the whole area of the Krakowiec clays occurrence, the slopes of the great river valleys show the features of the slide origin morphology and recently in many places, significant activity of mass movements can be observed. Many years' observations of natural slopes of the Vistula Valley (between Baranów Sandomierski and Tarnobrzeg) and the San Valley (between Krzeszów and Zarzecze near Nisko) have given information on character and dynamics of slide process development in various geological conditions (including hydrogeological conditions) and on effects of the latter on the process of the slope stabilization. The paper presents the major conclusions resulting from analysis of the above dependences regarding to properties of the internal structure of the massif composed of the Krakowiec clays.

The properties of the clays, particularly the over consolidated clays (to which the Krakowiec clays belong) depend on time. With lapse of time they absorb water and the primary mainly negative pore pressure is subject to diffusion, the water content increases, and effective strength decreases. This picture is complicated by natural surface of weakening, both the sedimentation type and discontinuity type. The strength along these surfaces is close to the residual strength. The residual angle of internal friction ranges from 8 to 10° in the maximum value $16-18^\circ$.

High sensiveness on exogenic factors is a very important feature of the Krakowiec clays. Under the influence of cyclic drying and wetting they are subject to convert from soil of very good strength properties into the weathering soil eluvium with low strength parameters.

The following major conclusions resulted from the investigation:

1. The most characteristic types of surface mass movements developed on natural slopes of the investigated river valleys are classical slides, weathering cover slides and creeps.

2. Surfaces of weakening and residual shear strength parameters determine mainly the stability of profiled slopes in the non-weathering Krakowiec clays.

3. The period of the slope stability in the Krakowiec clays depends on water drain. In case of highly watered slopes the process is longlasting.

4. No visible with deformations are observed on slopes with inclination less than $7-8^\circ$. These slopes are stable.