

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. XXIV, 4

SECTIO B

1969

Z Zakładu Geografii Fizycznej Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS w Lublinie
Kierownik: prof. dr Adam Malicki

Marian HARASIMIUK, Andrzej HENKIEL,
Kazimierz PEKALA

Rozwój zjawisk krasowych okolic Frampola w pliocenie i czwartorzędzie

Плиоценовое и четвертичное развитие карстовых явлений в окрестностях Фрамполя

Development of Karst Processes in the Vicinity of Frampol during the Pliocene
and the Quaternary

W rzeźbie okolic Frampola zaznacza się kilka wyrazistych elementów, przedstawionych na załączonym blokdiagramie (ryc. 1). Głównym elementem ukształtowania powierzchni jest wierzchowina Roztocza, która na obszar opracowania wchodzi trójkątnym płatem, ograniczonym od SW krawędzią, a od E doliną Białej Łady. Wierzchowina, położona na wysokości 300—310 m n.p.m., rozcięta jest szeregiem dolinek denudacyjnych, które osiągają głębokość do 40 m. Krawędź ograniczająca wierzchowinę od południowego zachodu składa się z trzech prostolinijnych odcinków o kierunkach kolejno 290° , 310° i 290° . Wysokość krawędzi waha się od 20 do 45 m, a nachylenie osiąga wartości od 15 do 20° . W zachodniej części terenu, u stóp krawędzi, ciągnie się prostolinijne obniżenie szerokości 400—600 m i wysokości 270—272 m n.p.m. Odgranicza ono od Roztocza wyniosłość tzw. stopnia przykrawędziowego, który w zachodniej i środkowej części terenu posiada prostolinijne granice, równoległe do krawędzi Roztocza (azymut 290°). Powierzchnia stopnia przykrawędziowego obniża się od 278 m n.p.m. w pobliżu krawędzi Roztocza do 255 m n.p.m. na skraju południowo-zachodnim. Nad opisanym obniżeniem stopień góruje 10-metrową krawędzią, a nad przyległą od SW częścią Równiny Biłgorajskiej — 20-metrowym, łagodnie nachylnym zboczem.

Stopień przykrawędziowy rozcinają nieliczne wąwozy, w przybliżeniu prostopadłe do krawędzi. W swoim wschodnim odcinku przylega on bez-



Ryc. 1. Blokdiagram terenu badań
Blockdiagram of the investigated area

pośrednio do krawędzi Roztocza. Zaznaczają się tutaj w obrębie powierzchni stopnia dwa wyraźne, oddzielone krawędzią denudacyjną poziomy: 280 i 250 m n.p.m. Pomiędzy dwa opisane odcinki stopnia przykrawędziowego, zachodni i południowo-wschodni, wdziera się poziom Równiny Biłgorajskiej w formie zatoki, w której położony jest Frampol. Zatoka ta ograniczona jest liniami łamanymi, złożonymi z krótkich, prostych odcinków.

Równina Biłgorajska, zajmująca południowo-zachodnią część terenu badań, jest płaska, częściowo zabagniona. Urozmaicają ją nieliczne wydmy. Na uwagę zasługuje dolina Białej Łady. Roztockiej jej odcinek ma kierunek NW—SE. Dolina ma tu głębokość około 60 m, szerokość — od 1 do 2 km. Na krawędzi Roztocza dolina skręca pod ostrym kątem ku zachodowi. Ten przełomowy (przez stopień przykrawędziowy) odcinek ma maksymalną szerokość do 300 m i głębokość 20 m. Pomiędzy Rzeczą i Sokołówką dolina skręca pod prostym kątem ku południowi, a ku zachodowi ciągnie się martwa forma dolinna w kierunku źródeł Rakowej na Równinie Biłgorajskiej. Biała Łada na omawianym odcinku nie otrzymuje żadnych dopływów. Zasilana jest jedynie z obfitych źródeł bijących pod zboczami doliny i w jej dnie. Gęstą sieć rzeczną posiada jedynie Równina Biłgorajska, podmokła i pocięta licznymi strugami wodnymi. Zbiornikami wód stojących są drobne, okrągłe, zarastające jeziora, występujące w obniżeniu przykrawędziowym i na przedpolu stopnia przykrawędziowego.

Budowę geologiczną okolic Frampola opracowano na podstawie publikacji Arenia (1), Bieleckiej (2 i 3) oraz Brzezińskiej (5). Dodatkowo uwzględniono szereg własnych obserwacji i pomiarów.

Najstarszymi skałami odsłaniającymi się na powierzchni są utwory kredowe. Na lewym zboczu doliny Białej Łady w Radzięcinie i Wólce Abramowskiej odsłaniają się opoki margliste dolnego mastrychtu. Sięgają one tutaj po wierzchoinę, tzn. do wysokości 300 m n.p.m. Na prawym zboczu doliny, we wcięciach głębokich wąwozów, widoczne są opoki górnego kampanu, w części stropowej odwapnione. Strop ich widoczny jest pod trzeciorzędem na wysokości około 275 m n.p.m. Dalej na południowy zachód występują wyłącznie utwory trzeciorzędowe. Są to przede wszystkim utwory serii węglanowej górnego tortonu i dolnego sarmatu. Wśród osadów tortońskich przeważają wapienie drobnolito-tamniowo-detrytyczne i drobnomuszlowo-detrytyczne. Podrzednie występują piaski i piaskowce (w spągu serii wapiennej), cienkie wkładki wapnistych mułków i piasków oraz rafowe wapienie serpulowe, należące już do sarmatu.

Roztocka część badanego obszaru jest zbudowana głównie z wapieni detrytycznych, a wapienie rafowe tworzą tylko izolowane płyty w po-

bliżu krawędzi. Podobną budowę wykazuje stopień przykrawędziowy. W położeniu hipsometrycznym poszczególnych poziomów stratygraficznych zaznaczają się wyraźne różnice. Strop wapieni detrytycznych na Rostoczu osiąga wysokość 300 m n.p.m., w obniżeniu przykrawędziowym — około 235 m n.p.m., a na stopniu przykrawędziowym 250—260 m n.p.m. Występowanie wapieni stwierdzone zostało wierceniami także na południe od stopnia przykrawędziowego, na obszarze Równiny Biłgorajskiej. Wapienie w pobliżu strefy przykrawędziowej występują na głębokościach rzędu 10—30 m (wysokość bezwzględna 200—220 m n.p.m.), ale już w odległości 5 km od strefy krawędziowej stwierdzono je na głębokości 125 m (wysokość bezwzględna 100 m).

Tab. 1. Właściwości litologiczne sarmackich wapieni detrytycznych
Lithological features of detritical limestones of the Sarmatian age

Miejscowość i nr kamieniołomu Locality and No. of quarry	Ciężar właściwy Specific weight	Ciężar objętościowy Volume weight	Porowatość ogólna General porosity	Nasiąkliwość wagowa Water absorption	Zawartość części nierozpuszczal- nych w 20% HCl Parts insoluble in HCl 20%
	g/cm ³	g/cm ³	%	weight %	weight %
Kopyteczna 1	2,68	2,15	25,0	5,3	16,5
Kopyteczna 4	2,68	2,52	6,0	1,5	8,4
Chełmik 9	2,68	1,87	30,0	8,8	8,3
Kocudza 14	2,65	1,58	40,0	18,9	3,9

Wapienie warunkują rozwój zjawisk krasowych, dlatego też konieczna jest bardziej szczegółowa charakterystyka ich litologii. W obrębie wapieni detrytycznych zaznacza się zróżnicowanie od odmian zbitych i twardych do silnie porowatych i łatwo rozpadających się. Porowatość analizowanych próbek waha się od 6 do 40%, średnio 30%. Zawartość części nierozpuszczalnych w HCl wynosi od 3,9% do 16,5%, średnio około 8% (tab. 1). W zestawieniu pominięto rafowe wapienie serpulowe, ponieważ ze względu na ograniczony zasięg nie odgrywają one większej roli w rozwoju zjawisk krasowych okolic Frampola.

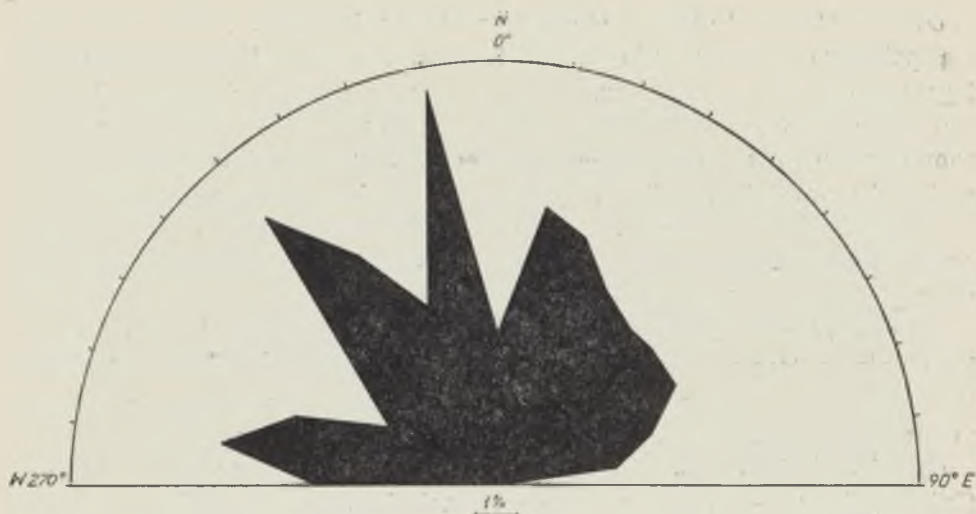
Utwory trzeciorzędowe występują także w facji mułkowo-ilastej, stratygraficznie znajdującej się ponad wapieniami. W cegielni Frampol, leżącej w obrębie obniżenia przykrawędziowego, odsłaniają się ily, mułki i typowe ily łupkowe serii krakowieckiej. Łączna ich miąższość do-

chodzi do 10 m. W obrębie stopnia przykrawędziowego, pod 3—4-metrową pokrywą czwartorzędową, nawiercono mułki i ily makroskopowo i granulometrycznie identyczne z utworami z cegielni Frampol. Podobnie jak i strop wapieni detrytycznych znajdują się tu one wyżej hipsometrycznie niż przy samej krawędzi. Seria marglisto-ilasta wyściela Równinę Biłgorajską. W pobliżu strefy krawędziowej zawiera ona w spągu jeszcze wapienie. Z danych paleontologicznych, podawanych przez Brzezińską (5), wypływa przynależność serii mułkowej do górnej części dolnego sarmatu.

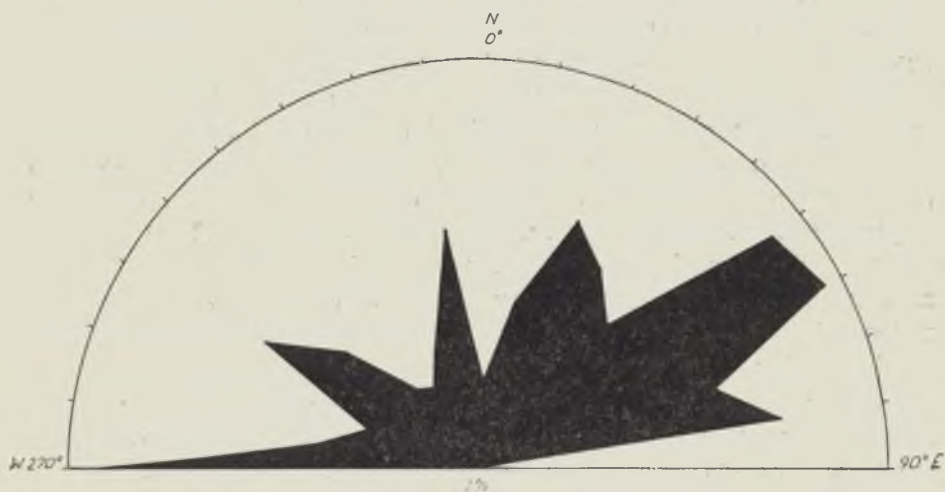
Jak wynika z analizy budowy geologicznej badanego terenu i przebiegu elementów morfologicznych, nosi on znamiona rzeźby tektonicznej, złożonej z elementów zrębowych. Na rzeźbę tektoniczną tej strefy zwracali już uwagę Pawłowski (17), Maruszczak i Wilgat (14), Jahn (12) i Buraczyński (7). Analogie ze stylem budowy i rzeźby (Dźułyński — 8, Bogacz — 4) południowej krawędzi Wyżyny Krakowskiej — która podobnie jak krawędź Roztocza jest odcinkiem północnego brzegu zapadliska przedkarpackiego — są uderzające. Kolejno od północy mamy wierzchovinę Roztocza obcięta krawędzią natury uskokowej, przykrawędziowy rów tektoniczny z zachowanymi iłami krakowieckimi, zrąb tzw. stopnia przykrawędziowego i zapadlisko Równiny Biłgorajskiej (ryc. 1). Wszystkie te elementy tworzą schodową strukturę krawędzi (ryc. 14 A) i skomplikowane są szeregiem uskoków poprzecznych, zakłócających ich regularność (na przykład zatoka Frampola). W odkrywkach obserwowano strefy brekcji tektonicznych towarzyszących głównym uskokom oraz bezpośrednio niektóre uskoki poprzeczne. Na podstawie materiałów Arenia (1), Bieleckiej (2, 3) oraz przez analogie z Wyżyną Krakowską (Bogacz — 4) wiek tej tektoniki można uznać za sarmacki, synchroniczny z sedymentacją utworów serii krakowieckiej, a w każdym razie za starszy od głównych elementów rzeźby (przedplioceński).

Wapienie są silnie spękane, a kierunki spękań — zgodne z przebiegiem elementów tektonicznych i morfologicznych. Jak wynika z załączonego wykresu (ryc. 2), najsilniej zaznacza się azymut 350° , następnie 320° , 280° i 10° . Stosunkowo słabo widoczny jest na diagramie kierunek 290° , kierunek głównych krawędzi. Wynika to stąd, że wzdłuż szczelin tego kierunku odbywa się eksploatacja w kamieniołomach. Dzięki temu okazje do pomiaru spękań o kierunku prostopadłym (10°) były znacznie częstsze. Do spękań o kierunku 290° nawiązują główne kierunki morfologicznych krawędzi, natomiast kierunki dolin (ryc. 3) odpowiadają spękanom drugorzędnych systemów.

Najstarsze utwory pokrywowe (pochodzenia niekrasowego) pojawiają się w kilku punktach na krawędzi Roztocza i na stopniu przykrawę-



Ryc. 2. Diagram kierunków szczelin ciosowych w wapieniach detrytycznych
Diagram of joints in the detrital limestones



Ryc. 3. Diagram kierunków dolin na badanym terenie
Diagram of valley directions in the investigated area

dziowym jako tzw. „preglacja”. Litologicznie są to żwiry złożone z materiału lokalnego z nieznaczną domieszką skał allochtonicznych, zielonkawe piaski i wapniste mułki. Wypełniają one lokalne zagłębienia podłoża. Ponieważ leżą bezpośrednio pod moreną zlodowacenia krakowskiego, są często zaburzone glacydynamicznie i przefalowane z materiałem

morenowym. Występowanie w morskim trzeciorzędzie wkładek litoralnych o bardzo podobnych cechach litologicznych (Brzezińska — 5) zmusza do szczególnej ostrożności przy interpretowaniu tych utworów. Argumenty za ich subaeralnym pochodzeniem są następujące. W Kocudzy starsza seria „preglacjału” (złożona ze słabo obtoczonych żwirów wapiennych) wypełnia krasowe zagłębienie podłoża. Na niej leży poziomo warstwowana seria żwirowo-mułkowa. Skład petrograficzny żwirów we wszystkich punktach występowania „preglacjału” jest bardzo urozmaicony. Główny składnik stanowią różne odmiany litologiczne wapieni tortońskich i sarmackich, dość licznie występuje materiał kredowy (opoka odwapniona) oraz lidyty i krzemienie. Spotykane są także otoczaki piaskowców. Za fluwialnym pochodzeniem tej serii przemawia także uziarnienie mułków. Na wzgórzu Chełmik pod osadami „preglacjału”. zachował się strzęp gleby kopalnej typu rędziny, a na wzgórzu Kopytczyzna seria preglacjalna ścina warstwy wapieni detrytycznych. Preglacjalny wiek tej serii wynika z jej występowania pod fluwioglacjałem i moreną zlodowacenia krakowskiego oraz z braku materiału północnego w składzie petrograficznym jej żwirów. Wiek ten potwierdzony został także wynikami analiz minerałów ciężkich. „Preglacjał” przebitý jest przez formy krasowe wypełnione łąkami residualnymi także jeszcze wieku preglacjalnego. W Kocudzy, na „preglacjale” a pod moreną krakowską znajdowała się *in situ* gleba *terra calcis*, opisana przez Nakonecznego i współaut. (15 i 16) i datowana na ciepłą i wilgotną fazę klimatyczną. Do „preglacjału” należą też warstwowane pyły i piaski pylaste, zachowane w pojedynczych pakietach w jednej z form krasowych.

Utwory środkowego i górnego plejstocenu są wybitnie zróżnicowane w zależności od ukształtowania terenu. Na wierzchowinie Roztocza zachowały się na powierzchni strzępki moren i residua morenowe w formie pojedynczych głazów, piasków gliniastych z głazami i glin. Na odsłoniętych powierzchniach wapieni występują zwietrzliny gruzowe typu peryglacjalnego. Dolinki rozcinające wierzchowinę wypełnione są warstwowanymi pyłami i piaskami pylastymi o miąższości dochodzącej do 10 m. Takie same pyły i piaski występują u podnóża krawędzi Roztocza i w obniżeniu przykrawędziowym. Najpełniejszy profil osadów środkowo- i górnoplejstocenijskich odsłania się w cegielni Frampol. Na zaburzonych glaciektonicznie łąkach krakowieckich leży parumetrowa seria piasków fluwioglacjalnych z głazami, przykryta półmetrowym pokładem typowej gliny zwałowej. Nad gliną leżą ponownie piaski z głazami, wyżej piaski drobnoziarniste, pyły warstwowane i, w samym stropie profilu, seria stokowych piasków wstęgowych.

Pokrywę stopnia przykrawędziowego tworzą strzępy gliny zwałowej, przykryte warstwowanymi pyłami i piaskami. Pod gliną i piaskami a na wapieniach spotyka się mułki i ily makroskopowo identyczne z serią krakowiecką z cegielni. W wąwozach rozcinających powierzchnię stopnia przykrawędziowego, na wapieniach przykrytych kopalną glebą murszową, leżą warstwowane pyły piaszczyste. Inne pokrywy charakteryzują część stopnia, leżącą na wschód od Frampola. Tam, bezpośrednio pod glebą lub przykryte cienką warstwą (do 1 m) pyłów, na powierzchni wapieni leżą czerwone piaski ze żwirem północnym lub głazami. Równinę Biłgorajską wyścielają piaski, często zwydmione, leżące na iłach zawierających domieszki grubszego materiału pochodzenia północnego. Pomiędzy iłami i piaskami spotyka się torfy. Terasę nadzalewową roztockiego odcinka doliny Białej Łady budują gliniaste piaski, a dno — humusowe piaski i torfy holocenu. Kopalną dolinę Białej Łady na zachód od Sokołówki wyścielają siwe mułki. W dnach zagłębień bezodpływowych obniżenia przykrawędziowego i przykrawędziowej części Równiny Biłgorajskiej występują torfy i namuły pylaste (ryc. 13 D).

Zjawiska krasowe w strefie krawędziowej Roztocza i Wyżyny Lubelskiej były zauważone już dość dawno. Maruszczak i Wilgat (14) wspominają o krasie kopalnym koło Józefowa, a także o krasie reprodukowanym na Równinie Biłgorajskiej, w strefie płytkiego występowania wapieni koło Hedwizyna. Buraczyński (6) nadmienia o przynajmniej dwu generacjach krasu kopalnego koło Kocudzy. Stanowisko kopalnej gleby typu *terra calcis* z tej samej miejscowości analizują szczegółowo pod względem pedologicznym Nakonieczny i współaut. (15 i 16). Autorzy ci wiążą powstanie gleby z warunkami zbliżonymi do klimatu śródziemnomorskiego na podstawie porównania chemizmu z glebami południowej Francji i Jugosławii. Przy okazji, analizując położenie morfologiczne stanowiska, zwracają uwagę na występowanie form krasowych z okresu przed i po zlodowaceniu krakowskim.

W czasie badań wykonanych przez autorów w okolicy Frampola stwierdzono występowanie bogatego zespołu form krasowych. Formy te zazębiają się w różny sposób i nakładają na siebie oraz wykazują różny stosunek do utworów preglacjalnych i młodoplejstoceńskich. Pozwoliło to na szczegółową analizę genetyczną i chronologiczną oraz na odtworzenie cyklu rozwojowego krasu na tym obszarze. Wydzielono cztery główne zespoły form krasowych, będące równocześnie odrębnymi generacjami (ryc. 13 A, B, C, D).

W licznych kamieniołomach na wierzchowinie Roztocza (300—310 m n.p.m.) widoczny jest najstarszy zespół form krasu kopalnego (ryc. 13 A, 15, 16, 17, 18). Powierzchnia wapieni jest silnie rozżarta przez różnego

kształtu zagłębienia i poszerzone szczeliny ciosowe, wypełnione łem czekoladowej barwy. Skrasowiały w ten sposób wapień do głębokości około 3 m tworzy strefę, w której proporcja ilastego wypełnienia do resztek nierozłożonej skały wynosi 1 : 1. W iłach tkwią bloki wapienne o nadzartych powierzchniach, ze wszystkich stron izolowane łem od macierzystej skały. Ze struktur warstwowych, zachowanych na związanej z podłożem skale i na luźnych blokach, można wyczytać, że nie są one wyruszone z pierwotnego położenia. Wynika z tego, że proces wypełniania szczelin substancją ilastą był jednoczesny z ich poszerzaniem. W stropie opisywanej strefy, pod cienką pokrywą czwartorzędu, znajduje się kopalna gleba czekoladowej barwy, podobna typem do gleby z Kocudzy, opisanej przez N a k o n i e c z n e g o i współaut. (15 i 16). Gleba liczy do 1 m miąższości i posiada dwa wyraźne poziomy, odpowiadające w terminologii pedologicznej poziomom A_1 (kop) i A_1 C (kop). W stropie gleba jest glacydynamicznie zdeformowana. Od głębokości około 3 m poniżej kopalnej gleby jeszcze na 2—3 m głębiej sięgają pojedyncze szczeliny ciosowe (należące do głównego systemu spękań 290°), poszerzone procesami rozmywania i wypełnione łem. Na płaszczyznach ich ścian, po oczyszczeniu z łu, widoczne są nieregularne, jamiste wnęki (ryc. 16 i 17) i zespoły drobnych zagłębień nawiązujących do warstwowania wapieni detrytycznych. Cały zespół form krasu najstarszej generacji ogranicza się do strefy o maksymalnej rozpiętości pionowej 6—7 m (wyjątkowo 10 m), wykazując zadziwiająco stałe położenie hipsometryczne od 295 do 305 m n.p.m. Występuje on na całej powierzchni wszystkich zachowanych płatów wierzchowiny, brak go natomiast na niższych spłaszczeniach i stopniach. W górnych częściach zboczy dolin, najniżej do 295 m n.p.m., spotyka się korzeniowe resztki form tego zespołu. Opisane powyżej formy rozwijały się pod pokrywą glebową, jak wynika między innymi z analizy położenia luźnych bloków zawieszonych w iłach residualnych, i znamienne są dla krasu pokrytego (M a l i c k i — 13).

W odmiennym położeniu hipsometrycznym i morfologicznym występuje kolejny zespół form krasowych. Charakteryzuje się on innym typem form i wypełniających je utworów. Zespół ten obserwowany był w licznych kamieniołomach w Kocudzy na powierzchni stopnia przykrawędziowego, wzdłuż krawędzi Roztocza, a także w niższych partiach wierzchowiny i w rozcinających ją dolinach (ryc. 13 B). W przeciwieństwie do generacji najstarszej formy te występują punktowo. Są to najczęściej kopalne studnie, o średnicach dochodzących do 3 m i głębokości ponad 4 m. Formy studniowe, rozwinięte z reguły na skrzyżowaniach spękań ciosowych, przechodzą ku dołowi w pionowe lub ukośne rozmycia i kanały. Ściany studni są gładkie, pozbawione rozżarć. Oprócz

form studniowych, zwłaszcza na płaskich powierzchniach, występują zagłębienia nieregularnego kształtu (werteby), mające do 3 m średnicy i do 2 m głębokości. Podobnie jak studnie, werteby łączą się ku dołowi z rozmytymi szczelinami (ryc. 21). Spotyka się także drobne formy kształtu lejkowatego lub klinowatego, szerokie do 1 m i głębokie do 2 m, będące poszerzonymi, górnymi zakończeniami szczelin ciosowych.

W najwyższych częściach zboczy dolin, w pobliżu wierzchowiny, omawiane formy nakładają się i ścinają dolne, reliktowe części form generacji poprzedniej. Wypełnienia form krasowych II generacji składają się z bardzo zróżnicowanych utworów. Przeważnie są to czekoladowe ily, jednak spotyka się także ily o zabarwieniu czerwonym, czarnym i zielonym. Iły są często warstwowane, z kompakcyjnym ugięciem lamin we wnętrzu form. Występują także wkładki piasku i detrytusu wapiennego o zabarwieniu białym i pomarańczowym. W niektórych kopalnych studniach spotyka się pakiety warstwowanych piasków i pyłów, które w postaci bloków musiały się dostawać do otwartych próżni skalnych. Na powierzchni wapieni pomiędzy opisywanymi formami, a także na powierzchni wapnistych utworów serii „preglacialnej” (przebijanych przez owe formy) rozwinęła się gleba typu *terra calcis*, w tym właśnie zespole opisana i sklasyfikowana (N a k o n i e c z n y i współaut. — 15 i 16). Gleba, jak też stropowe części wypełnienia form są zaburzone przez procesy glacidynamiczne zlodowacenia krakowskiego (ryc. 19). Zaburzenia polegają na deformacji górnych części studni, wtłoczeniu w niektóre z nich klinowatych pakietów materiału morenowego. Kolejny zespół form krasowych (III generacja) charakteryzuje zupełnie odmienny typ wypełnienia. Są to kopalne studnie i werteby o średnicach od 1—3 m (studnie) do 4—5 m (werteby), przy głębokościach przekraczających 5 m (dolna granica). Wypełnione są glinami morenowymi na wtórnym złożu, zwietrzelinami typu peryglacialnego bądź też utworami piaszczysto-gliniastymi o warstwowaniu wstęgowym (ryc. 13 C, 20). Do IV generacji należą formy krasu reprodukowanego i mikroformy na ścianach rozwartych szczelin ciosowych i w starych kamieniołomach. Są to formy rozwijające się współcześnie. Formy krasu reprodukowanego (ryc. 13 D) w osadach serii krakowieckiej i czwartorzędowych występują w rowie przykrawędziowym i w przylegającej do stopnia przykrawędziowego części Równiny Biłgorajskiej. Na obszarze Równiny Biłgorajskiej formy te mają do 70 m średnicy, przy głębokościach do 2—3 m. Są kształtu okrągłego lub owalnego, wypełnione wodą lub torfami. Formy występujące w rowie przykrawędziowym mają średnice do 40 m i głębokość do 5 m. Mikroformy stwierdzono na ścianach kilku kamieniołomów. Są to poszerzone szczeliny ciosowe, drobne wnęki o wymiarach od kilku do kilkunastu centymetrów (ryc. 23, 25) oraz żłobki o długości

do kilkudziesięciu centymetrów, a głębokości i szerokości kilku centymetrów (ryc. 24). Na głębokości około 2—2,5 m pod powierzchnią terenu, na ścianach poszerzonych szczelin ciosowych, stwierdzono wielokrotnie występowanie pól (ryc. 29) i szczotek kalcytowych.

Dla scharakteryzowania współczesnego rozwoju procesów krasowych konieczne jest określenie stosunków hydrogeologicznych, panujących na omawianym obszarze. Cały teren wierzchowinowy, jak też stopień przykrawędziowy nie posiadają odpływu powierzchniowego. Natomiast w głęboko wciętej dolinie Białej Łady pojawiają się, na granicy utworów niekrasowiejących Równiny Biłgorajskiej, obfite źródła (ryc. 27). W wyniku wierceń hydrogeologicznych i licznych wywiadów studziennych wiadomo, że wody podziemne na badanym terenie mają charakter wód szczelinowych. Stwierdzono kilkakrotnie występowanie dużych komór wypełnionych przepływającą wodą. W kamieniołomie w Hedwizynie, choć nie położonym na terenie badań, ale znajdującym się w identycznych warunkach geologicznych i morfologicznych, zaobserwowano odsłonięty od góry przy eksploatacji system szczelin i kanałów do 60 cm średnicy, wypełniony wodą (ryc. 28). Podobne formy, związane z jedną ze starszych generacji (II) krasu, spotkano w kamieniołomie w Kocudzy (ryc. 26).

W celu pełniejszego wyjaśnienia przebiegu i chronologii procesów krasowych w okolicy Frampola wykonano szereg analiz utworów wypełniających formy krasowe oraz, dla porównania, utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych, nie związanych genetycznie z procesami rozwoju krasu. Dla osadów ilastych i pylastych przeprowadzono analizy granulometryczne metodą Cassagrande'a, a dla utworów piaszczystych — metodą sitową. Wyniki przedstawiają tabele i krzywe kumulacyjne.

Najbardziej jednolity typ składu granulometrycznego wykazują różnobarwne ily wypełniające całkowicie formy krasowe lub wyścielające ich ścianki. Jak pokazuje tab. 2, udział frakcji poniżej 0,002 mm wynosi od 48 do 78%. Frakcja powyżej 0,1 mm stanowi od kilku do kilkunastu %% (maksymalnie do 30%), z tym jednak, że w najgrubszych frakcjach przeważają konkrecje tlenków żelaza. Charakter krzywych kumulacyjnych (ryc. 4) wskazuje, że są to residua zwietrzelinowe zachowane *in situ*. Ani tabela, ani krzywe nie wykazują jakiegokolwiek zróżnicowania pomiędzy iłami residualnymi pochodzącymi z form krasowych różnych generacji. W tab. 2 próbki nr 19, 25, 27, 29, 35, 47, 52, 26, 13, 50 należą do najstarszej generacji, próbki pozostałe — do generacji II i III.

W niektórych formach krasowych oprócz typowych iłów residualnych występują też nieco odmienne utwory. Ich skład granulometryczny przedstawiają tab. 3 i 3 a. Próbkę nr 1 i 17 pochodzą z górnych części

Tab. 2. Skład granulometryczny ilów residualnych wypełniających formy krasowe
 Per cent granulometric composition of the residual clays filling the karst forms

Miejscowość i nr kamieniołomu Locality and No. of quarry	Nr próby No. of sample	Średnica ziarn w mm Ø of the grains in mm						
		1,0—0,1	0,1—0,05	0,05—0,02	0,02—0,006	0,006—0,002	< 0,002	
Masin	1	19	14,0	3,0	5,0	6,0	5,0	67,0
Masin	1	29	13,0	2,0	3,0	5,0	2,0	75,0
Masin	1	35	22,0	7,0	7,0	8,0	7,0	49,0
Masin	2	25	22,0	6,0	4,0	4,0	3,0	61,0
Masin	2	27	10,0	5,0	9,0	8,0	6,0	62,0
Masin	2	47	19,0	5,0	2,0	6,0	6,0	62,0
Masin	2	52	30,0	6,0	4,0	4,0	5,0	51,0
Masin	5	22	8,0	4,0	5,0	10,0	5,0	68,0
Masin	5	24	15,0	9,0	6,0	8,0	5,0	57,0
Masin	5	49	12,0	7,0	5,0	6,0	8,0	62,0
Chełmik	9	12	13,0	2,0	3,0	5,0	6,0	71,0
Chełmik	9	15	17,0	2,0	3,0	8,0	2,0	68,0
Chełmik	9	36	9,0	3,0	8,0	5,0	20,0	55,0
Chełmik	9	48	19,0	14,0	8,0	2,0	9,0	48,0
Chełmik	9	50	16,0	6,0	8,0	8,0	10,0	52,0
Chełmik	10	16	19,0	6,0	6,0	12,0	8,0	49,0
Chełmik	11	2	12,0	3,0	2,0	5,0	2,0	76,0
Chełmik	11	45	16,0	6,0	4,0	8,0	10,0	56,0
Chełmik	12	13	16,0	3,0	8,0	12,0	6,0	55,0
Chełmik	12	38	15,0	4,0	11,0	19,0	12,0	49,0
Chełmik	54	26	11,0	4,0	1,0	3,0	3,0	78,0
Kocudza	2	14	25,0	3,0	4,0	7,0	13,0	48,0
Kocudza	2	37	13,0	5,0	3,0	6,0	9,0	64,0

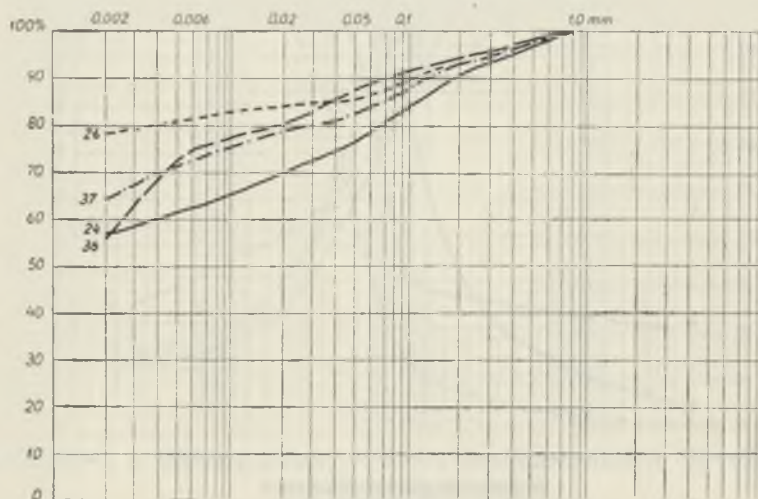
form krasowych, przykrytych bezpośrednio glinami i piaskami czwartorzędu. Krzywe kumulacyjne (ryc. 5) wskazują na to, że jest to ilasty materiał residualny, wzbogacony wtórnie we frakcje piaszczyste. Próbki nr 40, 41, 46 reprezentują luźne utwory zebrane w zakończeniach rozmytych szczelin, związanych z najstarszą generacją krasu, nie wypełnionych materiałem ilastym. Skład granulometryczny i charakter krzywych (ryc. 6) wskazuje na allochtoniczne pochodzenie tych utworów, osadzonych przez wody w rozmytych szczelinach. Próbki nr 4, 10, 21 (ryc. 7) reprezentują utwory allochtoniczne, które osadziły się na powierzchni, a do form krasowych dostały się później w formie pakietów o nienaruszonej, pierwotnej strukturze warstwowej. Próbka nr 23 reprezentuje stokowy piasek wypełniający młodą formę krasową.

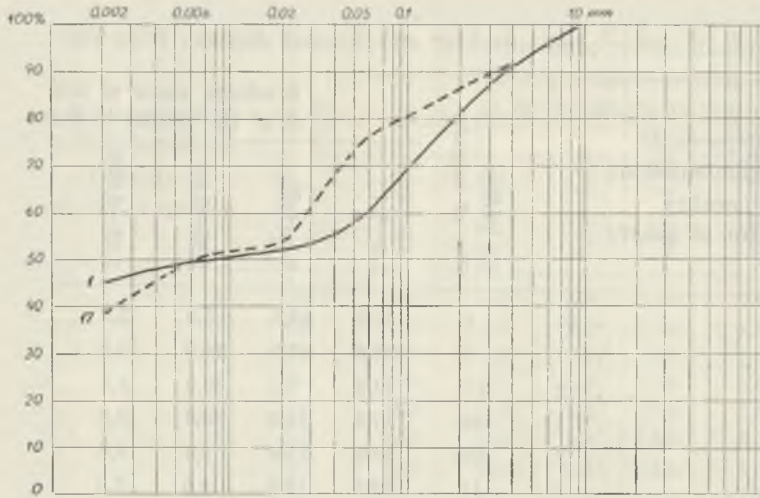
Tab. 3 i 3a. Skład granulometryczny utworów allochtonicznych z form krasowych
Per cent granulometric composition of allochthonous deposits from the karst forms

Miejscowość i nr kamieniołomu Locality and No. of quarry	Nr próby No. of sample	Średnica ziarn w mm Ø of the grains in mm						
		1,0—0,1	0,1—0,05	0,05—0,02	0,02—0,006	0,006—0,002	< 0,002	
Radzięcín	34	1	30,0	13,0	5,0	2,0	6,0	44,0
Kocudza	1	4	25,0	15,0	34,0	18,0	2,0	6,0
Kocudza	2	17	19,0	7,0	20,0	4,0	11,0	39,0
Masin	1	40	17,0	34,0	29,0	10,0	6,0	4,0
Masin	2	46	39,0	33,0	2,0	3,0	2,0	21,0
Masin	3	41	73,0	18,0	5,0	3,0	1,0	0,0
Chełmík	11	10	14,0	17,0	27,0	14,0	5,0	23,0

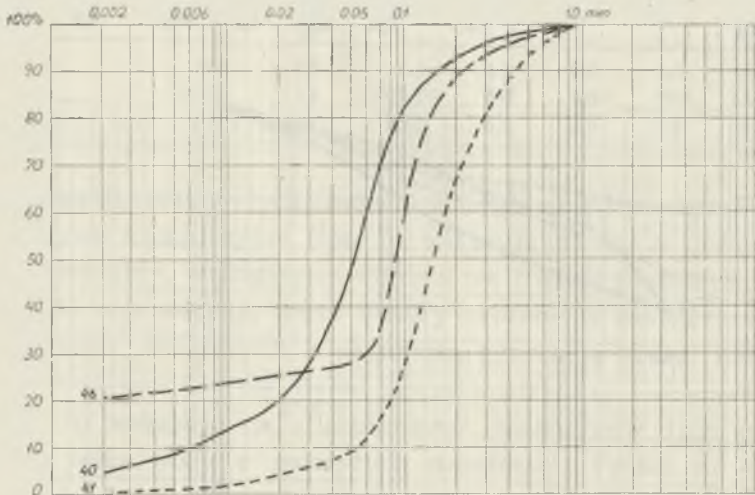
Tab. 3 a

	Nr próby No. of sample	Średnica ziarn w mm Ø of the grains in mm							
		1,0	1,0—0,75	0,75—0,49	0,49—0,20	0,20—0,12	0,12—0,088	< 0,088	
Chełmík	11	21	0,8	6,0	0,3	44,9	12,8	7,8	27,4
Kopytczynna	1	23	0,4	2,0	6,1	47,4	9,1	18,2	16,8

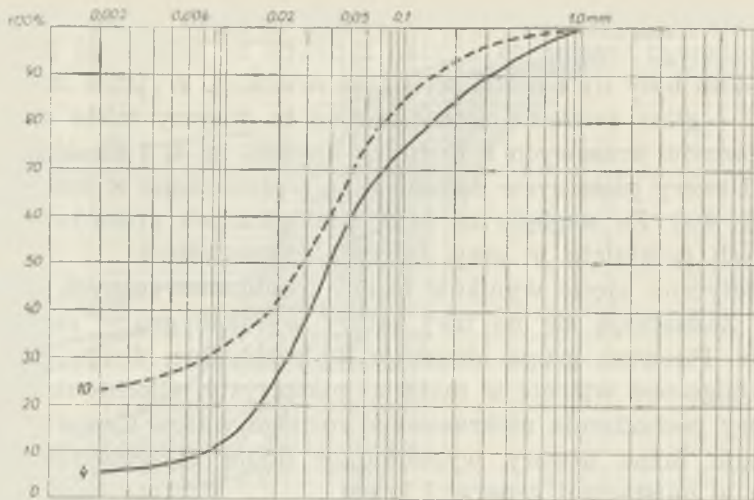
Ryc. 4. Krzywe granulometryczne ilów residualnych
Curves of grain-size distribution of residual clays



Ryc. 5. Krzywe granulometryczne ilów residualnych wzbogaconych w materiał allochtoniczny
Curves of grain-size distribution of residual clays containing admixtures of allochthonous material

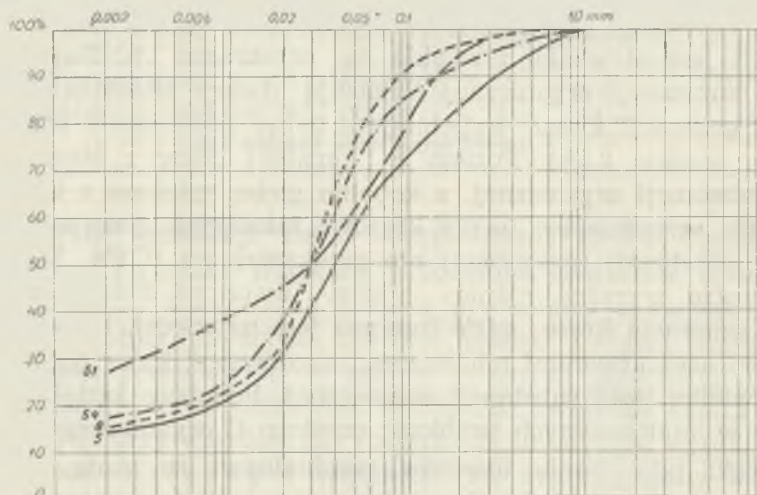


Ryc. 6. Krzywe granulometryczne allochtonicznych piasków z form krasowych na wzgórzu Masin
Curves of grain-size distribution of allochthonous sands from the karst forms on the Masin Hill



Ryc. 7. Krzywe granulometryczne utworów pochodzenia allochtonicznego, pobranych z wypełnienia form krasowych.
Curves of grain-size distribution of allochthonous deposits filling the karst forms

Dla porównania z allochtonicznymi wypełnieniami form krasowych wykonano analizy różnego rodzaju utworów pochodzenia niekrasowego, wieku trzeciorzędowego, preglacjalnego i młodoplejstoceniowego. Zarówno tab. 4, jak i krzywe (ryc. 8) wskazują na uderzające podobień-



Ryc. 8. Krzywe granulometryczne utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych, nie związanych z krasem
Curves of grain-size distribution of Tertiary and Quaternary deposits not related with karst forms

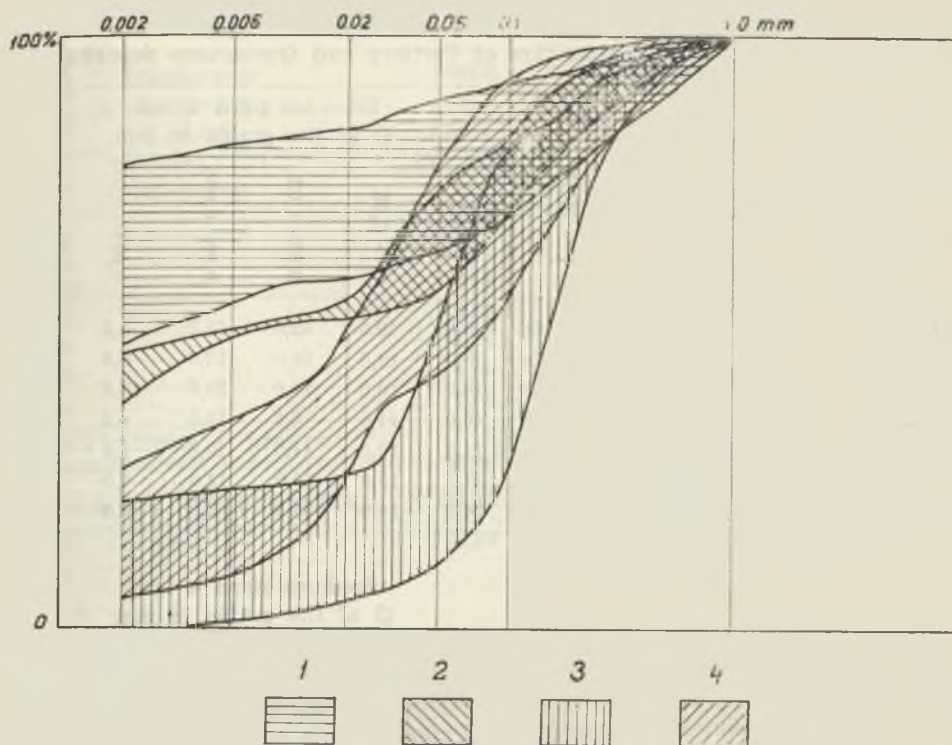
stwo utworów trzeciorzędowych, „preglacjalnych” i młodoplejstoczeńskich badanego terenu, co wynika zapewne ze wspólnego źródła materiału, jakim były ropy i mułki serii krakowieckiej. Wyjątek stanowi próbka nr 3 — glina zwałowa. Podobieństwo to dotyczy także allochtonicznych utworów krasowych z Kocudzy (próbka nr 4) i Chełmika (próbka nr 10). Utwory piaszczyste natomiast są zróżnicowane w znacznym stopniu (tab. 4 a). Ze względu na brak analogicznych utworów w formach krasowych pominięto je przy dalszych rozważaniach.

Syntetyczne ujęcie wyników badań granulometrycznych przedstawia ryc. 9. Zaznaczają się na niej cztery wyraźne grupy analizowanych utworów. Pierwsza grupa obejmuje ropy residualne, druga — ropy residualne wzbogacone wtórnie w materiał piaszczysty, allochtoniczny, trzecia — utwory pochodzenia niekrasowego różnego wieku. Czwarta grupa reprezentuje luźne utwory wypełniające dolne zakończenia rozmytych szczelin w najstarszej generacji krasu.

Zawartość węgla wapnia w utworach wypełniających formy krasowe jest silnie zróżnicowana. Największą zawartość CaCO_3 stwierdzono w utworach preglacjalnych — do 33% — i w kopalnych glebach typu rędziny (w poziomie A_1/C) — do 66%. Utwory pylaste są na ogół pozbawione węgla wapnia, z wyjątkiem pyłów stwierdzonych w zagłębieniu krasowym na Kopytczyźnie (redeponowane mułki preglacjalne). Podobnie przedstawia się sprawa z ropy residualnymi: z wyjątkiem jednej próbki, pochodzącej z niewielkiej formy krasowej na Chełmiku, wszystkie ropy residualne są całkowicie pozbawione węgla wapnia.

Ilość substancji organicznej (zmierzona metodą Tiurina) w badanych utworach jest niewielka i zwykle nie przekracza 1%. Największą zawartość substancji organicznej wykazują utwory allochtoniczne z najstarszej generacji krasu, wypełniające dolne zakończenia szczelin (0,34 — 0,80%, średnio 0,5%). Poziom A_1 kopalnej gleby z Masina zawiera 0,47% substancji organicznej, a kopalna gleba rędzina z Chełmika — 0,55%. ropy wypełniające formy krasowe młodszych generacji mają zawartość substancji organicznej nie przekraczającą 0,19%. Zaznacza się więc bardzo wyraźna różnica między utworami związanymi z najstarszą generacją krasu, gdzie humusu jest najwięcej, i młodszymi generacjami oraz utworami młodoczwartorzędowymi, które posiadają bardzo niewielką ilość substancji organicznej. Podobnie kształtuje się zawartość w analizowanych próbkach czystego C organicznego.

W celu porównania utworów residualnych ze skałą macierzystą wykonano analizy składu chemicznego wapieni detrytycznych i ropy, wypełniających formy najstarszej generacji krasu na wzgórzu Masin. Wyniki przedstawia tab. 5. Przeprowadzone analizy chemiczne wykazują, że w procesie wietrzenia chemicznego, związanego z rozwojem



Ryc. 9. Wykres zakresów zmienności krzywych granulometrycznych różnych grup genetycznych utworów; 1—iły residualne, 2—wzbogacone iły residualne, 3—krasowe utwory allochtoniczne, 4—utwory niekrasowe

Diagram of variation intervals for grain-size distribution curves of various genetic groups of sediments; 1 — residual clays, 2 — residual clays with admixtures of allochthonous material, 3—allochthonous karst deposits, 4—sediments not related with karst forms

krasu najstarszej generacji, został odprowadzony tlenek wapnia oraz tlenki magnezu i potasu. Względna procentowa zawartość krzemionki nie uległa zmianie. Dwukrotnie wzrosła procentowa zawartość tlenku glinu i wielokrotnie zawartość tlenków żelaza. Związki żelaza występują w iłach residualnych w postaci drobnych konkrekcji (0,1 do 0,5 mm). Wskazuje to na możliwość wytrącenia związków żelaza z wód allochtonicznych przy współudziale roślinności. Identyczne wyniki analiz otrzymali Nakoneczny i współaut. (15, 16) dla gleby kopalnej z Kocudzy.

Dla czterech próbek iłów residualnych wykonane zostały analizy termiczne-różnicowe (DTA). Jedna próbka (nr 25) pochodziła z najstarszej generacji krasu, z Masina, dwie próbki z generacji II, według danych

Tab. 4 i 4a. Skład granulometryczny utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych
Per cent granulometric composition of Tertiary and Quaternary deposits

Miejscowość i nr kamieniołomu Locality and No. of quarry	Nr próby No. of sample	Rodzaj utworu Kind of deposit	Średnica ziarn w mm Ø of the grains in mm					
			1,0—0,1	0,1—0,05	0,05—0,02	0,02—0,006	0,006—0,002	∇ 0,002
Frampol . . . 23	8	seria krak. Ms	8,0	16,0	42,0	12,0	5,0	17,0
Frampol . . . 23	51	seria krak. Ms	19,0	18,0	18,0	10,0	8,0	27,0
Kocudza . . . 1	18	mułek Qpr	16,0	10,0	24,0	25,0	13,0	12,0
Chełmik . . . 9	3	glina Q2	46,0	11,0	6,0	11,0	4,0	22,0
Sokołówka . . .	28	mułki Q2—3	11,0	10,0	44,0	10,0	5,0	20,0
Kocudza . . . 15	5	pyły Q3	27,0	13,0	30,0	12,0	4,0	14,0
Frampol . . . 23	54	pyły Q3	14,0	14,0	34,0	17,0	4,0	17,0

Miejscowość i nr kamieniołomu Locality and No. of quarry	Nr próby No. of sample	Rodzaj utworu Kind of deposit	Średnica ziarn w mm Ø of the grains in mm						
			1,0	1,0—0,75	0,75—0,49	0,49—0,20	0,20—0,12	0,12—0,088	∇ 0,088
Kocudza . . . 1	9	piaski fg Q2	1,9	8,7	1,0	50,2	9,5	1,9	26,8
Kocudza . . . 2	6	glina Q2	2,4	6,7	14,1	38,6	8,0	0,8	29,4
Radzięcin . . . 34	7	piaski Q2	0,3	12,7	0,1	53,6	9,3	4,1	20,3
Frampol . . . 23	20	piaski fg Q2	1,6	0,8	0,4	46,6	24,9	11,6	14,1
Masin 1 . . . 1	30	piaski z gł. Q2	1,0	2,9	1,6	70,0	14,0	4,2	6,3
Masin . . . 2	31	piaski z gł. Q2	2,7	10,4	0,4	61,3	7,4	2,5	17,2

geologicznych młodszej od osadów tzw. „preglacjału” a starszej od zlodowacenia krakowskiego—były to próbka nr 14, pobrana z resztek gleby kopalnej w Kocudzy i próbka nr 2—ił wypełniający kopalną studnię na Chełmiku. Próbka czwarta, oznaczona nr. 24 pochodziła z formy związanej z III generacją, młodszą od zlodowacenia krakowskiego. Analizy wykonał doc. dr habil. L. Stoch z Katedry Surowców Mineralnych AGH w Krakowie, na aparacie własnej konstrukcji, przy zastosowaniu termopar Pt-PtRh oraz szybkości nagrzewania około 10°C na minutę. Interpretację krzywych, po przekonsultowaniu z doc. dr. habil. L. Stochem, przeprowadził doc. dr habil. J. Rutkowski z Katedry Surowców Skalnych AGH. Cytujemy jego opinię:

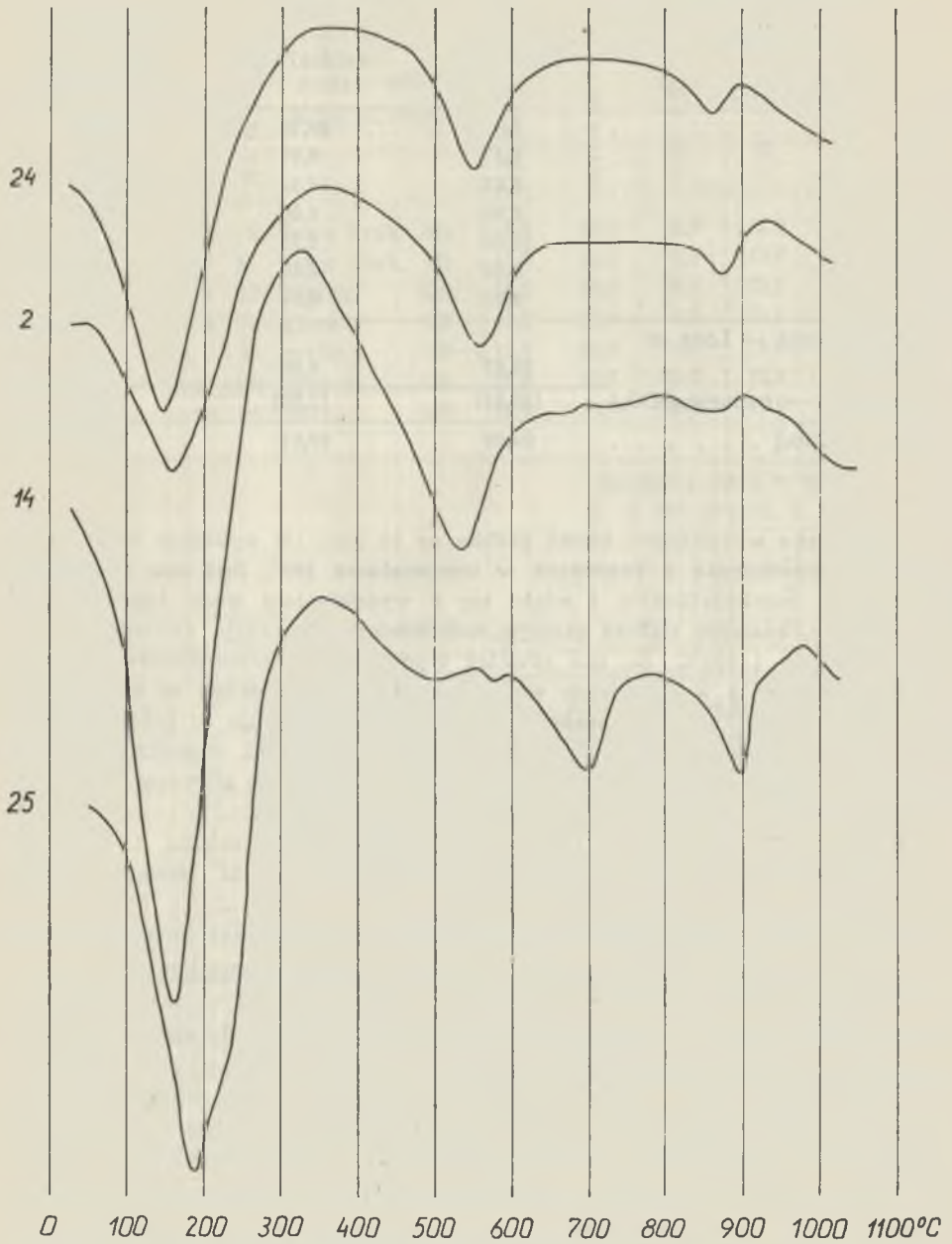
Tab. 5. Skład chemiczny wapieni i ilów residualnych
Chemical composition of limestone and residual clays

Miejscowość Nr kamieniołomu Locality No. of quarry	Masin 9 wapień limestone	Masin 2 ił residualny residual clay	Masin 1 poziom A ₁ gleby kop. A ₁ fossil soil
SiO ₂	5,87	69,70	54,35
P ₂ O ₅	0,17	0,07	0,10
Al ₂ O ₃	0,63	16,33	19,14
Fe ₂ O ₃	0,00	4,00	11,44
CaO	51,80	2,13	2,68
MgO	0,88	2,09	1,33
K ₂ O	0,00	0,97	0,96
Strata prażenia — Loss on ignition	39,95	4,58	9,91
(w tym CO ₂ — Including CO ₂)	(38,85)	(2,98)	(6,97)
Suma — Total	99,90	99,87	99,91

„W świetle wykonanych badań próbka nr 25 (ryc. 10) wykazuje bardzo silną reakcję endotermiczną z extremum w temperaturze 190°. Jest ona charakterystyczna dla montmorillonitu i wiąże się z wydzieleniem wody higroskopijnej. Dwie dalsze, znacznie słabsze reakcje endotermiczne posiadają extrema w temperaturach 700 i 900°C. Są one również typowe dla montmorillonitu. Pierwsza z nich wiąże się z wydzieleniem wody konstytucyjnej, a druga ze zniszczeniem sieci montmorillonitu. Słaba reakcja egzotermiczna występuje w pobliżu temperatury 350°C. Może się ona wiązać ze spalaniem substancji organicznej czy też pirytu. W świetle wypowiedzianych uwag należy uważać, że głównym minerałem ilastym zawartym w analizowanym ile jest montmorillonit.

Próba nr 14 odznacza się bardzo silną reakcją endotermiczną z extremum w temperaturze około 170°C, czym przypomina próbkę nr 25. Następna, znacznie słabsza reakcja endotermiczna znajduje się w temperaturze około 535°C. Również i w omawianej próbce można zauważyć wyraźną reakcję egzotermiczną w temperaturze 330°C. Próbka nr 14 stanowi również montmorillonit.

Wyraźnie różny charakter w stosunku do omówionych dotychczas próbek wykazują próbki nr 2 i 24, które są natomiast bardzo podobne do siebie. Ich cechą charakterystyczną jest nieco słabsza pierwsza reakcja endotermiczna zachodząca w temperaturach 160 i 150°C. Dwie dalsze reakcje endotermiczne zachodzą w temperaturach około 560 i 550°C oraz w pobliżu 870 i 860°C. Extrema te wskazują, że również i omawiane próbki utworzone są z montmorillonitu. Znacznie słabsza pierwsza reakcja endotermiczna zdaje się wskazywać, że zawartość montmorillonitu jest w omawianych próbkach mniejsza niż w poprzednich. Położenie dwóch dalszych reakcji endotermicznych może świadczyć o obecności illitu.”



Ryc. 10 Krzywe analizy termicznej różnicowej (DTA)
DTA curves

Z wyników analizy DTA sądzić można, że ility residualne, wypełniające krasowe formy najstarszej generacji, składają się głównie z montmorillonitu, podobnie jak gleby *terra calcis* II generacji (choć kształt krzywej DTA wskazuje na to, że zachodzą tu pewne różnice składu mineralogicznego). Przemyte ility wypełniające kopalne studnie II generacji, podobnie jak residua zwietrzelinowe związane z III generacją, zawierają znaczną domieszkę innych minerałów ilastych — najprawdopodobniej illitu.

Sześć próbek poddano analizie na zawartość minerałów ciężkich: były to próbki nr 4 — allochtoniczne wypełnienie wertebu młodszej generacji (III); nr 5 — pyły piaszczyste tworzące pokrywę stopnia przykrawędziowego; nr 10 — pakiet warstwowanych pyłów z wnętrza kopalnej studni krasowej, należącej do II generacji; nr 18 — wkładka mułków w żwirach tzw. „preglacjału”; nr 8 — mułek z serii krakowieckiej; nr 28 — utwory ilaste tworzące cokół terasy nadzalewowej doliny Białej Łady. Analizy wykonała doc. dr habil. M. Krysowska-Iwaskiewicz z Katedry Mineralogii i Petrografii UJ (tab. 6). Cytujemy opinię:

Tab. 6. Minerale ciężkie z utworów pyłowych okolic Frampola
Heavy minerals from the silt materials of Frampol neighbourhood

	Miejscowość i nr próby Locality and No. of sample					
	Kocudza 4	Kocudza 5	Chełmik 10	Kocudza 18	Frampol 8	Sokołówka 28
	%					
Granat	29,0	11,0	26,0	12,0	12,0	26,0
Cyrkon	31,0	46,0	27,0	43,0	50,0	33,0
Rutyl	15,0	18,0	18,0	21,0	18,0	10,0
Turmalin	4,0	5,0	10,0	11,0	5,0	6,0
Staurolit	3,0	6,0	3,0	5,0	4,0	8,0
Cyjanit	2,0	1,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Epidot	7,0	9,0	12,0	5,0	8,0	9,0
Andaluzyt	1,0	1,0	—	—	—	—
Syllimanit	1,0	—	—	—	—	—
Amfibol	4,0	3,0	—	—	—	5,0
Piroksen	1,0	—	—	—	—	—
Tytanit	2,0	1,0	1,0	—	—	—

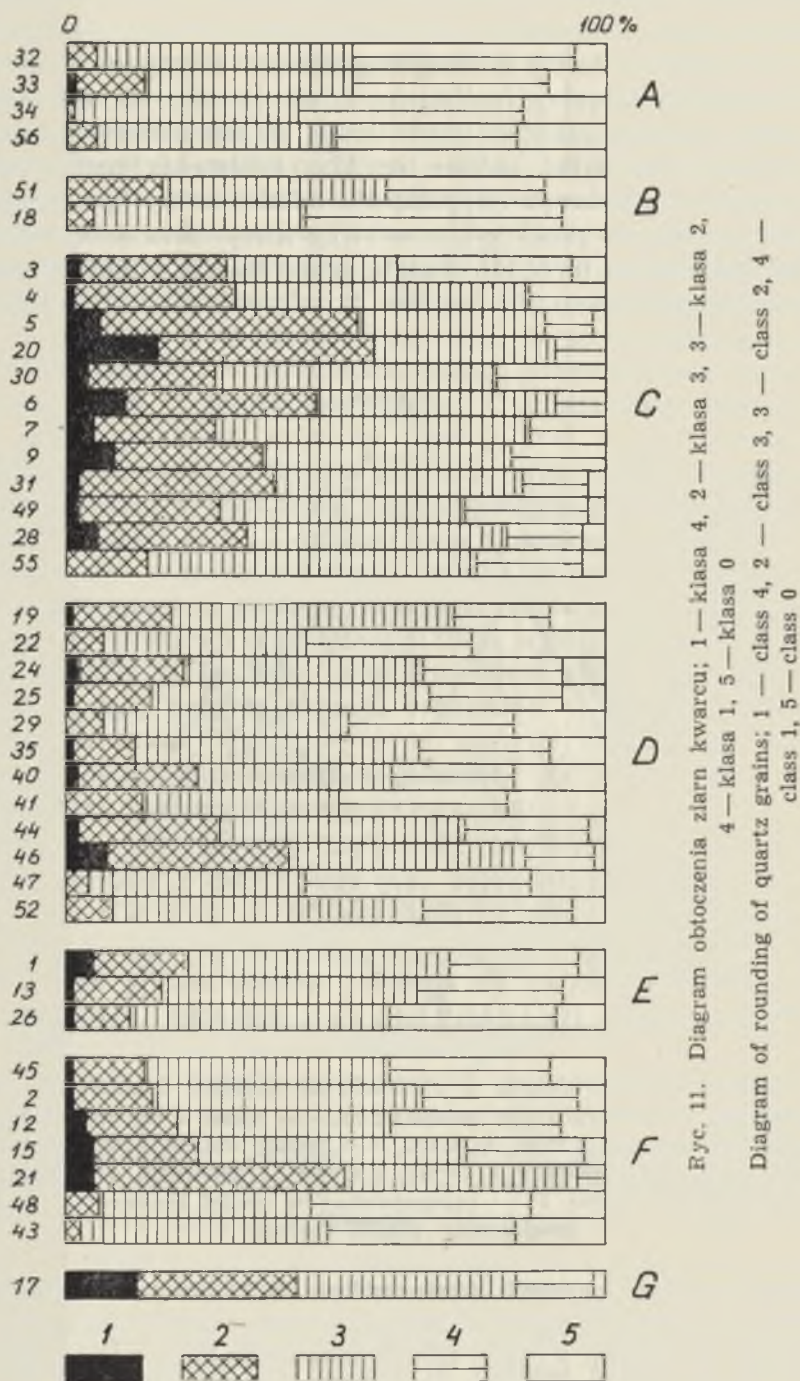
„W analizowanych utworach występują dwa rodzaje zespołów minerałów ciężkich. Jeden z tych zespołów (próbki 10, 18, 8), dość zredukowany, zawiera jedynie minerały bardzo odporne, jak: cyrkon, rutyl, granat, turmalin, staurolit, cyjanit i mniej odporny na procesy wietrzenia epidot.

W próbkach 4, 5, 28 zespoły minerałów ciężkich są bardziej urozmaicone i zawierają obok minerałów bardzo odpornych także minerały mało odporne, głównie amfibole. Wiąże się to prawdopodobnie z obecnością wietrzejących fragmentów skał magmowych i metamorficznych, pochodzenia północnego, co z kolei wskazywałoby na lodowcowe pochodzenie tych utworów. Jednak niezbyt wysoki procent minerałów mało odpornych oraz przewaga cyrkonu nad granatem pozwalają przypuszczać, że mamy do czynienia ze starszym czwartorzędem lub materiałem młodszego czwartorzędu, w którym procesy przerobcze doprowadziły do częściowego zniszczenia minerałów mało odpornych. Nie można też wykluczyć udziału materiału starszego podłoża przedczwartorzędowego. Dotyczy to głównie próbek 5 i 28. Zespół minerałów ciężkich w próbce nr 4 jest bardziej urozmaicony i bogatszy, co mogłoby wskazywać na jego młodoczwartorzędowy wiek, a dość dobre obtoczenie poszczególnych ziarn przemawia za fluwioglacjalnym jego pochodzeniem.

Próbki nr 10, 18, 8 na podstawie braku minerałów mało odpornych można uważać za utwory przedlodowcowe.”

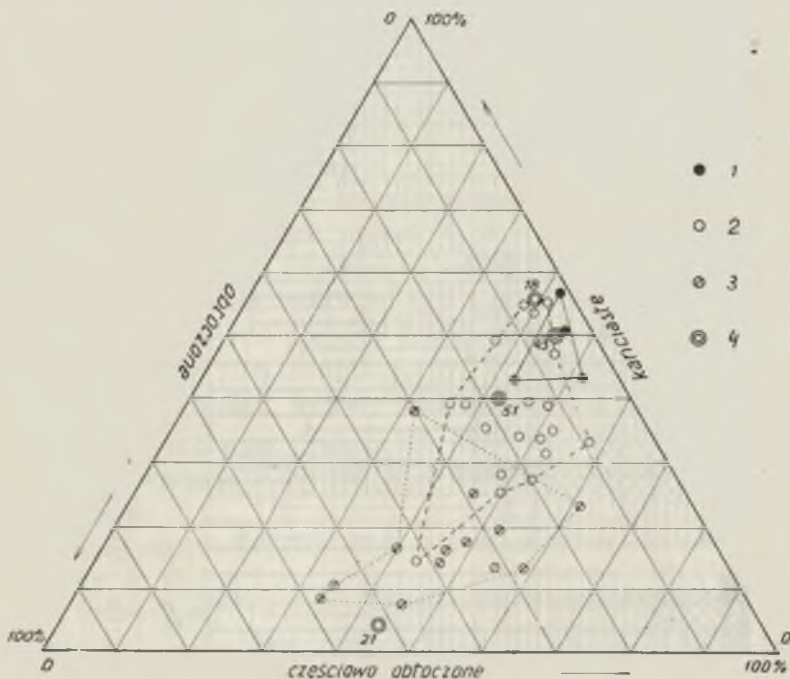
Ponieważ na omawianym terenie gościło tylko jedno zlodowacenie, krakowskie, uwagi dotyczące próbek 4, 5 i 28 należy rozumieć w ten sposób, że minerały mało odporne w każdej z nich pochodzą z utworów lodowcowych wieku krakowskiego; tylko materiał próbek 5 i 28 musiał odbyć więcej cykli redepozycji, dzięki czemu zespół minerałów mało odpornych został w nich zredukowany. Prawdopodobnie utwory te są więc młodsze niż piasek pylasty reprezentowany przez próbkę nr 4.

Dla ziarna kwarcowego frakcji 0,2—0,49 mm wykonano analizy stopnia obtoczenia metodą Riuchina w 5 klasach. Wyniki przedstawia załączony diagram (ryc. 11). Kwarc pochodzący z próbek skał podłoża (ryc. 11 A i B) charakteryzuje bardzo niski stopień obtoczenia. Znacznie lepiej obtoczone ziarno kwarcowe posiadają utwory czwartorzędowe pochodzenia lodowcowego, wodno-lodowcowego i wodnego (ryc. 11C). Utwory pochodzące z wypełnień form krasowych wykazują związki z jedną bądź drugą grupą. Iły wypełniające formy należące do najstarszej generacji krasu (Masin) zawierają ziarno kwarcowe bardzo słabo obtoczone (ryc. 11 D), co może świadczyć o tym, że są one miejscową zwietrzeliną skał trzeciorzędowych. Jedynie próbka nr 44, pobrana ze stropu gleby kopalnej bezpośrednio pod moreną, wzbogacona jest w kwarc lepiej obtoczony (na wtórne wzbogacenie tej próbki w materiał piaszczysty wskazuje też analiza granulometryczna). Próbka nr 46 reprezentuje materiał allochtoniczny namyty w głąb rozwartej szczeliny. Grupę E na ryc. 11 tworzą próbki wypełnień zniszczonych, zaburzonych glacydynamicznie, korzeniowych resztek form krasowych I generacji. Próbka nr 1, pobrana płytko spod powierzchni topograficznej, wzbogacona jest wtórnie



w kwarc pochodzenia morenowego. Próbki nr 13 i 26 nie różnią się obtoczeniem kwarcu od grup A, B i D. W grupie F reprezentowane są utwory wypełniające formy młodszych generacji. Występuje tu zarówno czysty materiał residualny (próbki nr 2, 49, 43, 48), jak też materiał wzbogacony w ziarno allochtoniczne. Grupa G, reprezentowana na wykresie przez jedną tylko próbkę nr 17, przedstawia cechy obróbki kwarcu w czwartorzędowym wypełnieniu młodej formy (generacja IV).

Wyniki analiz po przeliczeniu na trzy klasy obtoczenia naniesiono na trójkąt Osanna (ryc. 12). Zwartą grupę tworzą punkty przedstawiające obtoczenie kwarcu z wapieni trzeciorzędowych. Bardziej roz-



Ryc. 12. Obtoczenie ziarn kwarcu w 3 klasach na trójkącie Osanna; 1 — kwarc ze skał podłoża, 2 — kwarc z ilów residualnych, 3 — kwarc z utworów środkowoi górnoplejstocenijskich, 4 — inne, w tym: 18 — rzeczny mułk preglacjalny, 21 — plioceński piasek allochtoniczny z formy krasowej I generacji, 43 — utwór preglacjalny na wtórnym złożu, 51 — redeponowany w studni krasowej II generacji preglacjalny piasek rzeczny

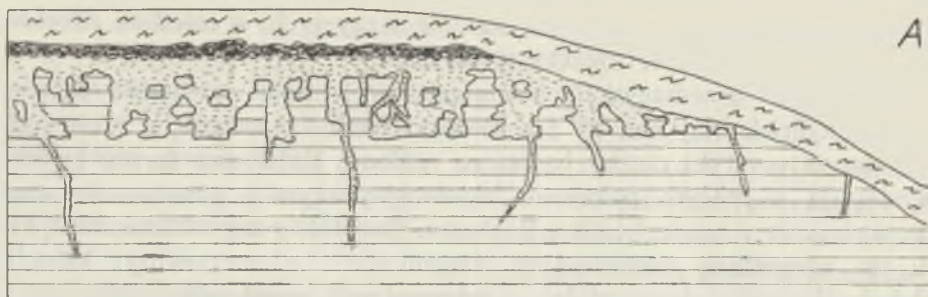
Rounding of quartz grains in 3 classes presented on Osann's triangle; 1 — quartz from basement rocks, 2 — quartz from residual clays, 3 — quartz from Middle Pleistocene and Upper Pleistocene deposits, 4 — others, including: 18 — fluvial silt pre-glacial, 21 — Pliocene allochthonous sand from a karst form of first generation, 43 — reworked pre-glacial sediment, 51 — fluvial sand reworked and deposited in a karst sink-hole of the second generation

proszone są punkty iłów residualnych różnego wieku, przy czym najstarsze pokrywają się z polem skał macierzystych, a młodsze zająbiają się z polem utworów czwartorzędowych.

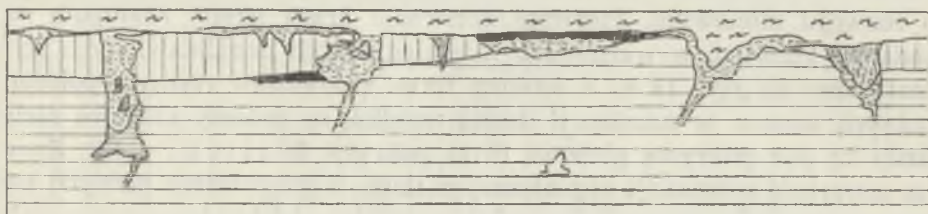
W świetle przedstawionych materiałów istnieje możliwość przeprowadzenia dokładnej analizy faz rozwoju form krasowych, a także ogólnej charakterystyki rzeźby badanego regionu. Najstarsze formy krasowe występują w stałym położeniu hipsometrycznym i genetycznie wiążą się wyłącznie z wierzchołną Rostocza. Szerokie rozprzestrzenienie krasu na wszystkich zachowanych fragmentach wierzchołny, jednolita głębokość strefy skrasowiałej i jednorodność zwierzelin wskazują na to, że rozwój krasu tej generacji zachodził na powierzchni o minimalnych deniwelacjach i w warunkach stałego położenia zwierciadła wody gruntowej 5—10 m poniżej powierzchni. O stosunkowo płytkim zwierciadle wody gruntowej świadczy zupełny brak w tym zespole form o rozwoju pionowym. Pierwsza generacja krasu okolic Frampola musiała się rozwijać w warunkach morfologicznych przedstawionych schematycznie na ryc. 14 A. Z analizy form, charakteru rozmyć, położenia luźnych bloków w substancji ilastej wynika, że procesy krasowe zachodziły tu pod pokrywą glebową (kras pokryty, M a l i c k i — 13). Znaczna zawartość substancji organicznej w iłach, występowanie licznych konkrecji tlenków żelaza i w pełni rozwinięta gleba typu *terra calcis* świadczą o dość bujnym rozwoju roślinności w okresie morfogenezy tego zespołu krasu. Wskazuje to na warunki klimatyczne, które po ustąpieniu morza sarmackiego zapanowały na tym terenie dopiero w środkowym pliocenie (T y c z y ń s k a — 19).

Przyjmując, że początek formowania powierzchni wierzchołkowej Rostocza, zgodnie z dotychczasowymi datowaniami (J a h n — 12, M a r u s z c z a k i W i l g a t — 14), przypada na górny sarmat i dolny pliocen, należy przyjąć, że do środkowego pliocenu nie została ona jeszcze rozcięta i że w tym okresie rozwinął się na niej opisywany zespół form krasowych. Podobnie B u r a c z y ń s k i (7) datuje jeszcze zrównanie wierzchołkowe Rostocza Gorajskiego 300—310 m n.p.m. na dolny pliocen, jednak w świetle przytoczonych argumentów o wieku krasu wierzchołkowego wydaje się konieczne odmłodzenie także samej wierzchołkowej. Podobnie w Karpatach powierzchnie datowane do niedawna na sarmat i dolny pliocen przypisano obecnie odpowiednio okresom dolnego pliocenu (pontu) i lewantu (D ż u ł y ń s k i i w s p ó ł a u t. — 9, S t a r k e l — 18).

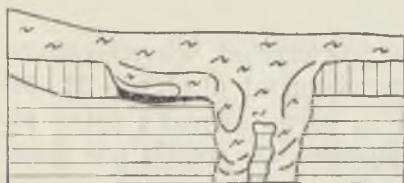
Następny etap rozwoju rzeźby okolic Frampola odbywał się bez udziału procesów krasowych. W pierwszej fazie nastąpiło rozcięcie poziomu wierzchołkowego o około 20—30 m. Uformowała się terasa erozyjna doliny Białej Łady, spłaszczenia w głowach mniejszych dolinek



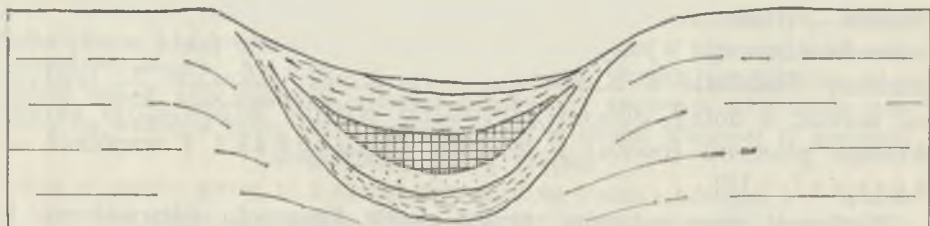
A



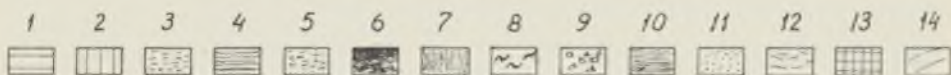
B



C



D

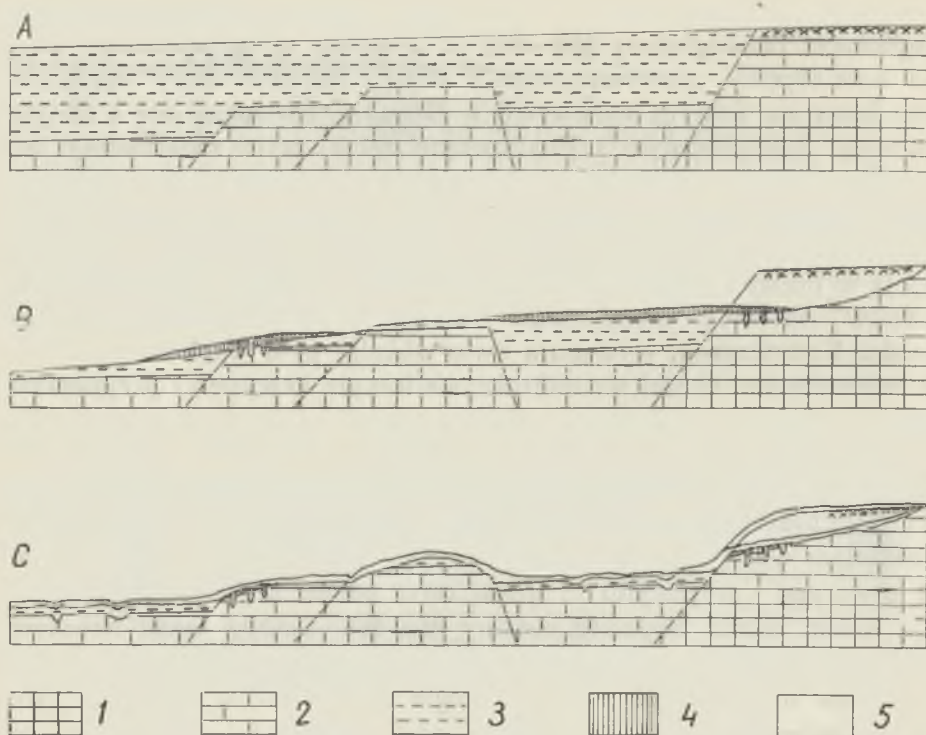


rozcinających wierzchowinę i zrównanie stopnia przykrawędziowego o wysokości bezwzględnej 260—270 m. Planacji tej odpowiadają, jako osad korelatywny, niewysortowane i słabo obtoczone żwiry wapienne, stwierdzone na jednym stanowisku w Kocudzy. Świadczą one o silnym wietrzeniu mechanicznym i gwałtownym spłukiwaniu zwietrzliny bez udziału procesów wietrzenia chemicznego. Na żwirach leżą wapniste mułki i piaski, często z wkładkami żwirów wapiennych, zawierających lidyty, otoczaki opoki odwapnionej i piaskowców. Zawartość węgla wapnia w mułkach jest duża i świadczy także o słabym zaawansowaniu procesów wietrzenia chemicznego. Dopiero w stropie mułków, na stanowisku Kopyteczna, występują dwie wkładki pyłu wapiennego, który pod mikroskopem okazał się mikrokryształicznym kalcytem i przypomina utwory z Wyżyny Krakowskiej opisane przez Gradzińskiego (10). Prawdopodobnie jest to odmiana martwicy. Charakter opisywanych utworów, jak też morfologia zrównania przykrawędziowego wskazują na warunki klimatu suchego, sprzyjającego pedyplanacji. Z opisywanym zrównaniem wiążą się dwa stanowiska gleb typu rędziny, zachowanych pod utworami „preglacjału” i glebą *terra calcis*, związaną z II generacją krasu. Silnie wapniste rędziny (do 66% CaCO_3) także świadczą o klimacie suchym i umiarkowanym pod względem termicznym. W sumie można tu zauważyć pewne analogie do warunków scharakteryzowanych palynologicznie dla osadów serii witowskiej, korelującej ze zrównaniem dolinnym w Karpatach i datowanej na chłodną i suchą fazę dolnego czwartorzędu (Villafranchien, Dżułyński i współaut. — 9).

Ponowny rozwój zjawisk krasowych wiąże się z dalszym rozciniem wierzchowiny Roztocza i zrównania przykrawędziowego. W zespole tym (II generacja) przeważają formy o rozwoju pionowym (studnie). Formy te występują na wierzchowinie Roztocza, zboczach dolin, na powierzchni

Ryc. 13. Typy form poszczególnych zespołów krasu; A—I generacja, B—II generacja, C—III generacja, D—zagłębienia bezdopływowe IV generacji, 1—skała podłoża, wapień detrytyczny, 2—utwory preglacjalne, 3—, 4—, 5—iły residualne, 6—gleby kopalne, 7—pyły, 8—gliny soliflukcyjne, 9—gruzowe zwietrzliny peryglacjalne, 10—mułki warstwowe, 11—piaski, 12—pyły humusowe, 13—torf, 14—pyły piaszczyste, warstwowe

Types of forms of various karst associations; A—I-st generation, B—II-nd generation, C—III-rd generation, D—closed depression of the IV-th generation, 1—basement rock—detrital limestone, 2—pre-glacial sediments, 3—, 4—, 5—residual clays, 6—fossil soil, 7—silts, 8—solifluction loams, 9—periglacial rubble regolith, 10—layered silts, 11—sands, 12—humus silts, 13—peat, 14—layered sandy silts



Ryc. 14. Rozwój krasu na tle rozwoju rzeźby; A — etap środkowoplioceniński, B — etap dolnoplejstoceniński, C — etap holoceniński, 1 — opoki górnokredowe, 2 — wapienie detrytyczne, trzeciorzędowe, 3 — iły krakowieckie, 4 — utwory preglacjalne, 5 — pokrywy środkowego i górnego plejstocenu

Karst development in relation to morphologic evolution; A — Middle Pliocene phase, B — Early Pleistocene phase, C — Holocene phase, 1 — opoka's Upper Cretaceous, 2 — detrital limestones — Upper Tertiary, 3 — Krakowiec clays, 4 — pre-glacial sediments, 5 — accumulation covers of the Middle and Upper Pleistocene

zrównania przykrawędziowego i na jego krawędzi. Są więc młodsze zarówno od wymienionych elementów rzeźby, jak też od utworów „preglacjalnych”, przebitych w kilku miejscach przez formy krasowe tej generacji.

Na podstawie położenia i głębokości studni krasowych można wyciągnąć wniosek o obniżaniu się poziomu wody gruntowej, a więc o rozcinaniu terenu. W opisywanym zespole form krasowych występują także inicjalne formy krasu podziemnego, rozmycia szczelin, kanały, a nawet większe wnęki typu jaskiń. Punktowo występujące studnie odwadniały dość duże powierzchnie. Studnie, które odprowadzały wody opadowe z tego samego obszaru, powstawały zapewne nie równocześnie, lecz ko-

lejno, w miarę wypełniania starszych różnorodnymi osadami. W tym czasie ulegały zapewne wahaniom warunki klimatyczne, co mogło w konsekwencji spowodować, że studnie położone w niewielkiej odległości od siebie są wypełnione różnym materiałem. W czasie tworzenia się form tego zespołu na powierzchni wykształciła się druga z kolei, młodsza gleba typu *terra calcis* opisana przez Nakonecznego i współaut. (16) jako wynik panowania klimatu zbliżonego do dzisiejszego śródziemnomorskiego.

Kras II generacji rozwijał się aż do okresu zlodowacenia krakowskiego, o czym świadczą osady morenowe wtłoczone w niektóre studnie, a także zaleganie moreny bezpośrednio na glebie *terra calcis*. Istnieją pewne przesłanki wskazujące na to, że kras II generacji rozwijał się w dwu fazach sprzyjających powstawaniu gleb typu śródziemnomorskiego. Fazy te były przedzielone okresem chłodnym, w którym odbywała się sedymentacja pyłów i pyłów piaszczystych na wierzchowinie i w obrębie stopnia przykrawędziowego. Pakiety tych pyłów spotyka się we wnętrzu niektórych studni. Odpowiada to dobrze stratygrafii dolnego czwartorzędu, gdzie pomiędzy okresem Villafranchien a zlodowaceniem krakowskim mamy dwa interglacjalny, tegeleński i kromerski, rozdzielone chłodnym i suchym okresem Günzu.

Okres zlodowacenia krakowskiego przerywa rozwój form krasowych. Ponowne ich ożywienie na terenie badanym przez autorów nastąpiło w młodszych okresach interglacjalnych. Na podstawie istniejących form i osadów dość trudno jest określić, na który okres ciepły przypada rozwój danej formy, ewentualnie maksimum natężenia procesów krasowych. Należy przypuszczać tylko, że jedna z głównych faz rozwoju krasu przypada na badanym terenie w okresie interglacjału wielkiego. Powstały wówczas ponownie formy studni, głębsze jednak, bo nawiązujące do niższej bazy denudacyjnej (niższy poziom wód gruntowych, związany z dnami pogłębionych dolin). Studnie te zostały wypełnione w okresie zimnym (zlodowacenie środkowopolskie?) materiałem przemieszczonym w warunkach peryglacjalnych. Niektóre formy mniejszych zagłębień krasowych rozwijały się także w ostatnim interglacjale, ponieważ stwierdzono ich rozwój pod pokrywami typu peryglacjalnego (ryc. 22).

Interesujących danych dotyczących aktualnie zachodzących zjawisk krasowych dostarczają obserwacje na ścianach szczelin ciosowych w kamieniołomach, a także analiza warunków hydrogeologicznych badanego terenu. Na odsłoniętych ścianach kamieniołomów i w rozwartych szczelinach ciosowych obserwuje się do głębokości 2—2,5 m od powierzchni ślady korozji. Poniżej tej głębokości następuje wytrącanie się węgla wapnia z infiltrujących wód opadowych w formie polew krystalicznego

kalcytu, drobnych żeber naciekowych bądź tzw. nacieków grzybkowych. Strefa ta przeciętnie sięga do głębokości 5—8 m. W poziomie współczesnego zwierciadła wody gruntowej powstają formy rozszerzonych szczelin i kanałów krasowych, a nawet większych komór. Mniejsze ilości wody opadowej, przenikając w głąb skał wapiennych, szybko się nasycają i wytrącają węglan wapnia w strefie nieco głębszej. Natomiast wody z roztopów i większych opadów szybko przenikają w głąb, nie niszcząc nacieków w rozwartych szczelinach mimo swej agresywności, i zasilają wody gruntowe, decydujące o rozwoju krasu podziemnego. Z korozyjną działalnością obfitych wód gruntowych należy wiązać rozwój form krasu reprodukowanego w rowie przykrawędziowym i na przedpolu stopnia przykrawędziowego.

Na zakończenie autorzy pragną podziękować gorąco Doc. Dr. habil. L. Stochowi za bezinteresowne wykonanie analiz termicznych różnicowych, Doc. Dr. habil. J. Rutkowskiemu za interpretację krzywych DTA, Doc. Dr. habil. M. Krysowskiej-Iwaszkiewicz za wykonanie analiz minerałów ciężkich i Dr. J. Pomianowi za uwagi w terenie i dyskusję dotyczącą zagadnień pedologicznych. Autorzy dziękują także studentom geografii UMCS, którzy w ramach praktyki geomorfologicznej w r. 1968 przyczynili się do zebrania materiałów terenowych i wykonania niektórych analiz do niniejszego opracowania.

LITERATURA

1. Areń B.: Miocen Roztocza Lubelskiego pomiędzy Sanną i Tanwią (The Miocene of the Lublin Roztocze Range between the Sanna and Tanew Rivers). IG, Prace, t. XXX, cz. III, Warszawa 1962, ss. 5—81.
2. Bielecka M.: Główne problemy trzeciorzędu okolic Zaklikowa (Main Problems of the Tertiary in the Zaklików Region (Lublin Plateau)). Kwartalnik Geologiczny, t. III, z. 3, Warszawa 1959, ss. 638—659.
3. Bielecka M.: Trzeciorząd południowo-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (The Tertiary of the South-western Part of the Lublin Upland). IG, Biuletyn 206, Warszawa 1967, ss. 115—188.
4. Bogacz K.: New Data on the Geological Structure of the Krzeszowice Graben. Bull. Acad. Pol. Sc. Cl. III, t. VII, z. 3, Warszawa 1959, ss. 183—191.
5. Brzezińska M.: Szkic stratygraficzny miocenu środkowej części Roztocza Lubelskiego. Przegl. Geol., t. V, z. 9, Warszawa 1957, ss. 395—401.
6. Buraczyński J.: Okolice Frampola. VIII Ogólnopolski Zjazd FTG. Przewodnik wycieczkowy. Lublin 1964, ss. 63—64.
7. Buraczyński J.: Zarys geomorfologii Roztocza Zachodniego (Essai géomorphologique du Roztocze Occidental). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. XXII, Lublin 1967, ss. 77—125.
8. Dżułyński St.: Tektonika południowej części Wyżyny Krakowskiej. Acta Geol. Pol., vol. III, nr 3, Warszawa 1953, ss. 325—440.
9. Dżułyński S., Krysowska-Iwaszkiewicz M., Oszast J., Starckel L.: O staroczwartorzędowych żwirach w Kotlinie Sandomierskiej (On

- Pliocene and Lower Quaternary Gravels in the Sandomierz Basin). *Studia Geomorph. Carpatho—Balcanica*, vol. II, Kraków 1968, ss. 63—77.
10. Gradziński R.: Rozwój podziemnych form krasowych w południowej części Wyżyny Krakowskiej (Origin and Development of Subterranean Karst in the Southern Part of the Cracow Upland). *Rocznik PT Geol.*, t. XXXII, z. 4, Kraków 1962, ss. 429—493.
 11. Harasimiuk M., Henkiel A., Pękala K.: Kras okolic Frampola (Karst Phenomena in the Neighbourhood of Frampol). *Speleologia*, t. IV, z. 1, Warszawa 1969, ss. 39—51.
 12. Jahn A.: Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd (Geomorphology and Quaternary History of Lublin Upland). PAN, Inst. Geogr. Prace Geogr., nr 7, Warszawa 1956, ss. 453.
 13. Malicki A.: Kilka przyczynków do poznania warunków i procesów tworzenia się wertebów w Kraście Dynarskim (Contributions to the Knowledge of Conditions and Processes Causing the Development of Dolines in the Dinaric Karst). *Czas. Geogr.* t. XX, z. 1—4, Wrocław 1949, ss. 245—259.
 14. Maruszczak H., Wilgat T.: Rzeźba strefy krawędziowej Roztocza Środkowego (Le relief de la zone lisière du Roztocze Central). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, sectio B, vol. X, Lublin 1956, ss. 1—109.
 15. Nakonieczny S., Pomian J., Turski R.: Gleba kopalna z grupy *terra calcis* na Wyżynie Lubelskiej (The Fossil Soil from the Group of *Terra Calcis* in the Lublin Upland). *Folia Soc. Sc. Lublinensis*, sec. D, vol. 5/6, Lublin 1967, ss. 17—21.
 16. Nakonieczny S., Pomian J., Turski R.: Stanowisko gleby kopalnej grupy *terra calcis* na Wyżynie Lubelskiej (Fossil Soil from Terra Calcis Group on the Lublin Upland). *Ann. Univ. Mariae Curie Skłodowska*, sectio B, vol. XX, Lublin 1968, ss. 147—158.
 17. Pawłowski St.: Charakterystyka morfologiczna południowej krawędzi Wyżyny Lubelskiej (Sur la morphologie de la lisière meridionale du plateau de Lublin). *Bull. Ac. Sc. série A, Cracovie* 1938, ss. 366—372.
 18. Starkel L.: The Age of the Stages of Development of the Relief of the Polish Carpathians in the Light of the most Recent Geological Investigations. *Studia Geomorph. Carpatho—Balcanica*, vol. III, Kraków 1969, ss. 33—45.
 19. Tyczyńska M.: Klimat Polski w okresie trzeciorzędowym i czwartorzędowym (Climat de Pologne au Tertiaire et au Quaternaire). *Czas. Geogr.*, t. XXVIII, z. 2, Warszawa—Wrocław 1957, ss. 131—170.

РЕЗЮМЕ

Окрестность Фрамполя расположена в зоне краевого уступа Розточа, сложена из детритовых и рифовых известняков, залегающих на меловых отложениях. В тектоническом отношении эта структура сложена из нескольких блоков, ограниченных сбросами, секущими отложения мела, тортона и нижнего сармата. Отдельные блоки сброшены на юго-запад, т.е. к Предкарпатской впадине. Некоторые сбросовые уступы в верхнем миоцене покрылись краковецкими глинами. В настоящее время они лишены этого покрова. Только кое-где, а главным образом в тектоничес-

ких рвах, глины еще покрывают поверхности известняков. Местами на известняках выступают пласты „прегляциальных” отложений (гравий и суглинков). Почти весь этот район покрыт, в общем, тонким покровом отложений среднего и верхнего плейстоцена.

На известняках развит богатый комплекс карстовых форм. Проведены исследования взаимных зависимостей между отдельными генерациями форм. Особое внимание обращено на отношение карстовых форм к четвертичным образованиям разного возраста и отложениям „прегляциала”. Известняки и отложения, наполняющие карстовые формы, исследовали в лаборатории. Изучали физические свойства, химический состав, количество органической субстанции, минералогический состав (ДТА и тяжелые материалы), гранулометрию (механический состав и обработка зерен кварца).

На основе полевых и лабораторных исследований предприняли попытку воспроизведения хронологии и хода процессов.

В среднем плиоцене в условиях влажного субтропического климата при отсутствии более значительных денивеляций (поверхности выравнивания) развился наиболее древний комплекс форм. Его образуют: почва типа *terra calcis* мощностью до 1 м, мощная зона (до 3 м) ребер и свободных глыб известняков, находящихся в бурой глине резидуального характера (пропорция глины и известняка 1 : 1) и нижняя часть мощностью от 3 до 5 м, в которой имеются единичные расширенные трещины, также наполненные бурой глиной резидуального характера. Главная составная этой глины — монтмориллонит. Кроме того, она содержит много мелких конкреций соединений железа и небольшое количество зерен неокатанного кварца. В кровле (почва *terra calcis*) констатировано содержание органической субстанции до 0,8%.

Этот древний комплекс карстовых форм подвергался разрушению при последующих этапах развития рельефа. В очередных климатических фазах верхнего плиоцена и нижнего плейстоцена происходило следующее: рассечение поверхности долинами, а также образование в условиях сухого и холодного климата более низкой поверхности выравнивания (местами на этом уровне сохранились ископаемые почвы типа рендзин). После планации последовало новое рассечение и отложение гравия и суглинков, определяемых как „прегляциальные”.

Очередная фаза карстообразования моложе прегляциала, так как карстовые формы пробивают гравийно-суглинистую серию. В это время образовалась младшая почва типа *terra calcis*. Синхронно с ее образованием формировались колодца и воронки, которые расположены на некотором расстоянии друг от друга в отличие от форм старшей генерации, занимавших, по существу, поверхность выравнивания. Колодца и воронки наполнены разными отложениями: глинами, песками и пы-

лью, часто слонистыми. Главной составной частью глин является снова монтмориллонит, но в почве намечается резкое уменьшение органической субстанции, приблизительно до 0,2%. Как почва, так и верхние части форм нарушены ледником.

В интергляциале Миндель/Рисс образовался подобный комплекс карстовых форм (колодца и воронки). Эти формы в последствии наполнились зеленоватыми глинами, в составе которых кроме монтмориллонита появляется также примесь иллита, что указывает на изменение условий выветривания горных пород. Кроме вышеописанных глин в этих формах имеются также глины, содержащие кристаллический материал севера, структура которых указывает на участие процессов солифлюкции в их перемещении.

В последнем интергляциале образовались единичные небольшие воронки, наполненные, обычно, продуктами выветривания.

Голоцен — это время образования воронок, репродуцированных в покровах четвертичных отложений. Развитие этих форм происходит прежде всего в краевой впадине и у подножия уступа. Одновременно, как вытекает из многих гидрогеологических данных, развивалась система подземной циркуляции.

На стенах расширенных трещин и бывших каменоломен образуется много микроформ (в зоне около 2,5 м ниже поверхности). Ниже зоны микроформ на стенах расширенных трещин многократно наблюдались глазури кальцита на глубине от 2,5 м до 5—8 м.

ОБЪЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ И РИСУНКАМ

Табл. 1. Литологические свойства детритовых известняков.

Табл. 2. Гранулометрический состав резидуальных глин из карстовых форм.

Табл. 3. Гранулометрический состав аллохтоновых отложений из карстовых форм.

Табл. 4. Гранулометрический состав отложений некарстового происхождения.

Табл. 5. Химический анализ материнской породы и резидуальных глин.

Табл. 6. Тяжелые минералы.

Рис. 1. Блокдиаграмма исследованного района.

Рис. 2. Диаграмма направлений трещин в детритовых известняках.

Рис. 3. Диаграмма направлений долин в исследованном районе.

Рис. 4. Гранулометрические кривые резидуальных глин.

Рис. 5. Гранулометрические кривые резидуальных глин, обогащенных аллохтоновым материалом.

Рис. 6. Гранулометрические кривые аллохтоновых песков из карстовых форм на возвышенности Масин.

Рис. 7. Гранулометрические кривые других аллохтоновых материалов из карстовых форм.

Рис. 8. Гранулометрические кривые третичных и четвертичных отложений, несвязанных с карстом.

Рис. 9. Чертеж пределов изменчивости гранулометрических кривых разных генетических групп отложений: 1 — резидуальные глины, 2 — резидуальные глины, обо-

гашенные аллохтоновым материалом, 3 — аллохтоновый материал из карстовых форм, 4 — отложения, несвязанные с карстом.

Рис. 10. Кривые дифференциального термического анализа (ДТА).

Рис. 11. Диаграмма окатанности зерен кварца в пяти классах Рюхина: 1 — класс 4, 2 — класс 3, 3 — класс 2, 4 — класс 1, 5 — класс 0.

Рис. 12. Окатанность зерен кварца в трех классах на треугольнике Осанна: 1 — кварц из пород основания, 2 — кварц резидуальных глин, 3 — кварц из отложений верхнего и среднего плейстоцена, 4 — кварц из других отложений, а именно: 18 — речной прегляциальный наиллок, 21 — плейстоценовый аллохтоновый песок из карстовой формы I генерации, 43 и 51 — прегляциальные отложения на вторичном залегании.

Рис. 13. Типы форм отдельных комплексов карста: А — I генерация, В — II генерация, С — III генерация, D — бессточные углубления IV генерации. 1 — порода основания, детритовый известняк, 2 — прегляциальные отложения, 3, 4, 5 — резидуальные глины, 6 — ископаемые почвы, 7 — пыль, 8 — солифлюкционные глины, 9 — перигляциальные продукты выветривания, 10 — слоистые наилки, 11 — пески, 12 — гумусовые пыли, 13 — торф, 14 — песчаная слоистая пыль.

Рис. 14. Развитие карста на фоне развития рельефа. А — среднеплиоценовый этап, В — нижнеплейстоценовый этап, С — голоценовый этап. 1 — меловые опоки, 2 — третичные детритовые известняки, 3 — краковецкие глины, 4 — прегляциальные отложения, 5 — покровы среднего и верхнего плейстоцена.

Рис. 15. Комплекс форм карста I генерации.

Рис. 16. Микрорельеф стены трещины, принадлежащей к I генерации.

Рис. 17. Обнажение стены расширенной трещины в комплексе I генерации.

Рис. 18. Формы комплекса I генерации.

Рис. 19. Ископаемые колодца комплекса II генерации.

Рис. 20. Верхние расширенные части трещин, наполненные резидуальными глинами и мореной.

Рис. 21. Воронка из комплекса II генерации карста.

Рис. 22. Ископаемые карстовые углубления, наполненные продуктами выветривания перигляциального типа.

Рис. 23. Малые углубления на стене каменоломни.

Рис. 24. Желобки в бывшей каменоломне.

Рис. 25. Ямки на стене каменоломни.

Рис. 26. Обнаженные остатки форм подземного карста II генерации.

Рис. 27. Карстовый ключ на дне долины Бялой Ляды (фото Пенкаля).

Рис. 28. Обнаруженная в каменоломне действующая система каналов и разных трещин с проточной водой.

Рис. 29. Корродированная натечная глазурь на стене расширенной трещины.

SUMMARY

The vicinity of Frampol lying in the zone of the Roztocze escarpment is built of Miocene detrital limestones and reef limestones, overlying Cretaceous rocks. Faults, crossing the Cretaceous, Tortonian and Lower Sarmatian rocks, are dissecting the area into several blocks with downthrown south-western wings facing the Carpathian Foredeep.

The individual horsts were covered in Late Miocene times by deposits of the Krakowiec clays. Later, erosion removed the clay cover, which is present recently only locally, chiefly in grabens. At places the Miocene limestones are covered by patches of "Pre-glacial" sediments composed of silts and gravels. Nearly the whole area is covered by a thin layer of Middle and Late Pleistocene deposits.

A rich association of karst forms is developed on the limestones. The interdependencies between the consecutive generations of karst forms, and the relations of karst to various Quaternary and "Pre-glacial" sediments were studied. Laboratory studies of the limestones and of the fill of the karst forms were conducted in order to determine their physical properties, chemical composition, organic matter content, mineral composition (DTA and heavy minerals) and granulometry (size distribution and rounding of quartz grains).

The sequence and course of karst processes tentatively outlined below are based upon the data provided by the afore mentioned studies.

The oldest association of karst forms was developed in the Middle Pliocene in a humid, subtropical climate, on a flat planation surface. This association comprises a terra calcis-type soil, a 3 metres thick zone of limestone ribs and loose blocks embedded in brown residual clay (equal amounts of limestones and clay) and a lower zone of enlarged fissures in limestones, filled by clay identical with that occurring in the upper zone. Montmorillonite is the chief constituent of this clay. Small ferruginous concretions and rare non-rounded quartz grains are also present. The uppermost layer composed of terra calcis soil contains 0.8 per cent of organic matter.

This oldest association of karst forms was subjected to destruction during later phases of morphological evolution of the area. During the consecutive climatic phases of the Late Pliocene and Early Pleistocene the area was dissected by valleys, and a lower planation surface was formed in a cool and dry climate. Fossil rendzina soils are locally preserved on this level. There followed a second period of dissection, and deposition of fine-grained gravels and silts, the age of which was determined as "Pre-glacial".

The subsequent phase of development of karst processes is younger than the "Pre-glacial" sediments, as the karst forms are traversing the gravels and silts. A younger terra calcis soil was formed at that time. Sink-holes and funnels were formed synchronously with the terra calcis soil. These forms occur in isolated points contrary to the forms of the older generation, which are ubiquitous on the planation surface. The sink-holes and funnels are filled with diversified sedimentary material,

comprising clays, sands and layered silts. Montmorillonite is the principle constituent of the clays. The organic matter content in the younger terra calcis soil is lower than in the older one, and amounts to 0.2 per cent. The soil as well as the upper part of the karst forms are disturbed by pressure of ice.

A second set of sink-holes and funnels was formed during the Mindel-Riss interglacial. Later, they were filled by greenish clays, composed of montmorillonite with an admixture of illite which suggest a change of conditions of weathering of rocks. These clays are accompanied by loams, often containing Scandinavian rocks. The texture of these clays suggests that they were displaced by solifluction.

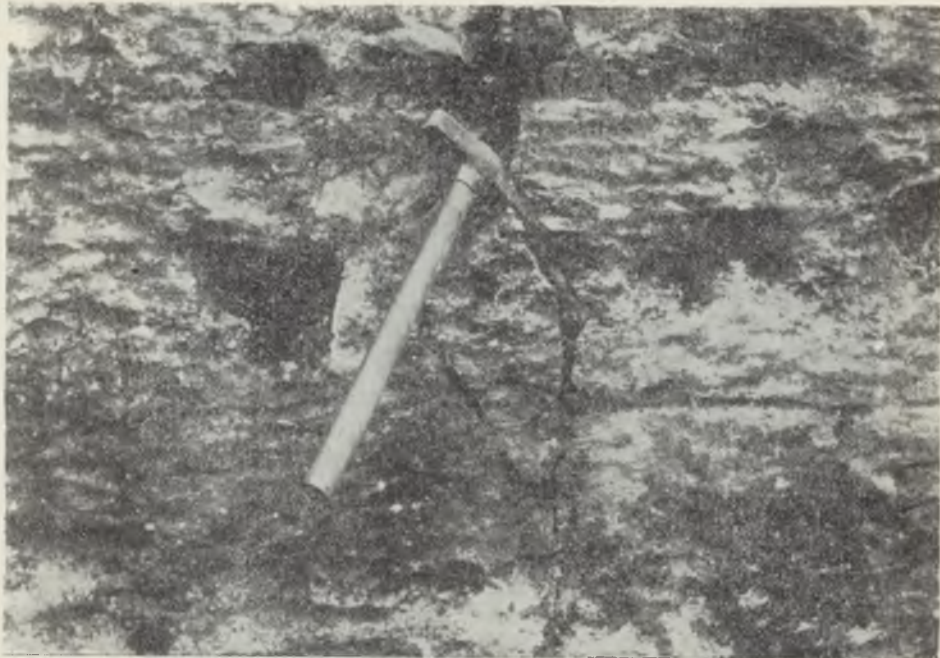
Small and not numerous funnels were formed during the youngest interglacial. They are filled by weathered material.

Funnels reproduced in Quaternary accumulation covers are forming in the Holocene. These forms are situated chiefly in the foreland of the escarpment and in the graben extending along the escarpment. Hydrogeological data suggest that a system of underground drainage is developing.

Numerous microforms are developing on open joint fractures and on faces of abandoned quarries, reaching down to 2.5 m under the surface. Incrustations of crystalline calcite were observed still lower, down to the depth of 5--8 m on surfaces of joint fractures.



Ryc. 15. Zespół form krasu I generacji (fot. A. Henkiel)
Karst forms of the I-st generation



Ryc. 16. Mikrorelief ściany szczeliny ciosowej, należącej do zespołu krasu I generacji (fot. A. Henkiel)

Microrelief on the face of a joint belonging to assemblage of the I-st generation of karst forms



Ryc. 17. Odsłonięta ściana poszerzonej szczeliny ciosowej należącej do I generacji krasu (fot. A. Henkiel)

Exposed face of an enlarged joint belonging to the I-st generation of karst forms



Ryc. 18. Resztki dolnych części form krasu I generacji (fot. A. Henkiel)
Basal remnants of karst forms of the I-st generation



Ryc. 19. Kopalnia studnia należąca do zespołu krasu II generacji (fot. A. Henkiel)
Fossil sink-hole belonging to the II-nd generation of karst forms



Ryc. 20. Poszerzone górne zakończenia szczelin ciosowych w zespole krasu II generacji (fot. A. Henkiel)

Widened upper terminations of joints in the association of II-nd generation karst forms



Ryc. 21. Werteb należący do zespołu krasu II generacji (fot. A. Henkiel)

Funnel belonging to the association of II-nd generation karst forms



Ryc. 22. Kopalne zagłębienie krasowe, wypełnione zwietrzelinami typu peryglacialnego — III generacja (fot. A. Henkiel)
Fossil karst depression filled with periglacial regolith — III-rd generation



Ryc. 23. Małe wnęki na ścianie kamieniołomu (fot. A. Henkiel)
Microforms of quarry face



Ryc. 24. Żłobki w starym kamieniołomie (fot. A. Henkiel)
Microforms in an old quarry



Ryc. 25. Jamki na ścianie kamieniołomu (fot. A. Henkiel)
Microforms on a quarry face



Ryc. 26. Ekshumowane resztki form podziemnych II generacji krasu
(fot. A. Henkiel)



Exhumed remnants of subterranean karst forms of the II-nd generation
Ryc. 27. Źródło krasowe w dnie doliny Białej Łady (fot. K. Pękala)
Karst spring in the Biała Łada valley



Ryc. 28. Odślonięty w kamieniołomie czynny system kanałów i rozmytych szczelin prowadzących wodę (fot. A. Henkiel)

Active system of water-conducting channels and widened joints, exposed in a quarry



Ryc. 29. Korodowana polewa naciekowa na ścianie rozwartej szczeliny (fot. A. Henkiel)
Corroded dripstone formation cover is on the face of a gaping joint

