

Wojciech ŚLIWIŃSKI\*

## MODEL AKUMULACJI CALICHE W KONTYNENTALNYCH OSADACH PERMU POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ CZĘŚCI NIECKI ŚRÓDSUDECKIEJ

### SPIS TREŚCI

Streszczenie . . . . .	83
Wprowadzenie . . . . .	84
Sytuacja geologiczna . . . . .	85
Opis horyzontów bogatych w węglany . . . . .	85
Skład chemiczny . . . . .	87
Cementacja . . . . .	87
Szkielet ziarnowy . . . . .	92
Sylifikacja . . . . .	94
Geneza horyzontów węglanowych . . . . .	94
Diagenetyczne modyfikacje caliche . . . . .	95
Neomorfizm agradacyjny . . . . .	95
Neomorfizm degradacyjny . . . . .	97
Cementacja końcowa . . . . .	97
Warunki powstania i czynniki modyfikujące rozwój caliche . . . . .	98
Literatura . . . . .	100
A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland . . . . .	102

### Streszczenie

Praca niniejsza ma na celu wyjaśnienie mechanizmu wczesnodiagenetycznej akumulacji węglanu wapnia, występującej w kontynentalnych osadach czerwonego spągowca niecki śródsudeckiej.

Do akumulacji autogenicznego węglanu wapnia dochodzi w warunkach klimatu gorącego i niedostatecznej wilgotności. Akumulacja odbywa się w strefie przypowierzchniowej w rezultacie cyklicznie zachodzących procesów rozpuszczania i wytrącania węglanów. Efektem tych zjawisk jest powstanie zmiennego w pionie horyzontu caliche. Zmienność wyraża się wzrostem zawartości węglanu wapnia ku górze profilu oraz zróżnicowanym

wykształceniem strukturalnym i teksturalnym. W osadzie objętym procesami calichefikacji<sup>1</sup> od dołu występują niewielkie ilości spoiwa wapiennego, następnie pojawiają się kilkucentymetrowej średnicy buły, które wyżej w profilu zrastają się ze sobą, tworzą nieforemne soczewy, by w stropie przejść w mniej lub bardziej zwarty i ciągły horyzont wapienia. Procesowi wzbogacania w węglan towarzyszy wypieranie minerałów krzemianowych i kwarcu.

Praca zawiera ponadto próbę wyjaśnienia pewnych typów przemian diagenetycznych, tj. neomorfizmów — agradacyjnego i degradacyjnego, na przykładzie horyzontu caliche.

\* Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, ul. Cybulskiego 30, 50—205 Wrocław

<sup>1</sup> Autor zdecydował się na użycie terminu „calichefikacja” z uwagi na brak w języku polskim jednowyrazowego określenia oddającego sens złożonego procesu wzbogacania przypowierzchniowej części sedimentu w węglany. Ponieważ angielski odpowiednik tego terminu „calichification” (Esteban 1974) został przyjęty w literaturze, autorowi wydaje się, że niepotrzebne jest tworzenie nowego terminu, jak również stosowanie formy opisowej.

## WPROWADZENIE

Badania ostatnich kilkunastu lat wykazały, jak wielkie znaczenie dla rozwoju procesów lityfikacji i przemian diagenetycznych w skałach węglanowych ma oddziaływanie na sedymenty warunków aeralnych lub subaeralnych. Dotyczy to nie tylko przemian fazowych, lecz także przeobrażeń teksturalnych i strukturalnych, stopnia lityfikacji, zmian porowatości i przepuszczalności. Specyficzną odmianą zjawisk diagenetycznych zachodzących w warunkach wadycznych jest calichefikacja osadów.

Termin caliche określa zazwyczaj drobnoziarniste, kruche lub dobrze scementowane utwory węglanowe, pionowo zmienne, tworzące się w postaci gleby lub na istniejącym sedymencie, glebie względnie skale (*vide* Esteban 1976). Caliche może powstać w warunkach klimatu gorącego, pólsuchego, w obrębie strefy wadycznej (Bertz i Horberg 1949; Brown 1956; Swineford *et al.* 1958; Blank i Tynes 1965; Gile *et al.* 1966; Aristarain 1970; Reeves 1970; Goudie 1972; Esteban 1976). Ostatnio Esteban (1976) zaproponował wyraźny podział utworów wadycznych na wadyczne pizolity i caliche. Zdaniem tego autora, istnieje wystarczająco dużo obserwacji pozwalających na jednoznaczne zdefiniowanie tych facji. Wciąż jednak termin caliche wydaje się określeniem zbyt szerokim. Caliche rozwinięte na podłożu węglanowym i niewęglanowym różnią się bowiem nie tylko pochodzeniem dostarczanej substancji węglanowej, lecz także mechanizmem cementacji i ostateczną formą wykształcenia horyzontów. Początkowo termin caliche stosowano do definiowania wszystkich utworów pochodzenia pedogenicznego, poczynając od już wymienionych utworów węglanowych po żelaziste, krzemionkowe, nitrytowe, fosforanowe i gipsowe. W celu jednoznacznego zdefiniowania węglanowych utworów o tej genezie Goudie (1973) zaproponował użycie terminu „calcrete”.

Współcześnie tworzące się caliche znane są z wielu obszarów, między innymi występują na obrzeżeniu Morza Śródziemnego, w Australii, południowej Afryce, Indiach, południowo-zachodnich stanach USA i Argentynie. Identyfikacja kopalnych caliche opiera się na porównaniu ich cech ze współczesnymi utworami o takiej samej genezie. Najstarsze rozpoznane caliche stwierdzono w środkowym proterozoiku centralnej Karelii (Soczawa *et al.* 1975); są to zmetamorfizowane dolomitowe skorupy z zachowaną wyraźną zmiennością pionową. Duża liczba przykładów występowania caliche pochodzi z paleozoiku.

Zostały one rozpoznane przede wszystkim w dewonie Walii i dolnym permie Szkocji (Allen 1960, 1962, 1974; Burgess 1961; Pick 1964; Steel 1974), a także w dewońskiej formacji Wood Bay (Spitsbergen) przez Frienda i Moody-Stuarta (1970). Liczne stanowiska pochodzą z południowo-centralnych Pirenejów hiszpańskich, gdzie caliche występuje w wielu formacjach od stefanu po dolny trias (Nagtegaal 1969). W utworach młodszych caliche opisano w osadach dolnej kredy środkowego Teksasu (Amsbury 1967) i górnej kredy Mongolii (Soczawa 1975). W trzeciorzędzie caliche stwierdzono w dolnym eocenie południowej Francji (Freytet 1973) i w hiszpańskiej prowincji Tarragona (Esteban 1972, 1974) oraz w miocenie okolic Krakowa (Gradziński 1963).

Prezentowany artykuł poświęcony jest caliche występującemu wśród piaszczysto-zlepieńcowatych, kontynentalnych osadów dolnego permu depresji śródsudeckiej. Powiększono w ten sposób stosunkowo skromną liczbę kopalnych przykładów. Na terenie sudeckim wystąpienia caliche nie były dotąd znane. Jednocześnie przedstawiono próbę rekonstrukcji procesu cementacji węglanem wapnia (calichefikacji) osadów klastycznych, cementacji powstałej w wyniku uruchomienia węglanów zawartych jako pierwotna domieszka w osadzie, jak również pochodzących z bezpośredniego nadkładu. Ponadto przeprowadzono analizę zjawisk diagenetycznych w cemencie wapiennym zwracając uwagę na procesy neomorficzne.

Rozpoznanie środowisk wadycznych i jednoznaczne ich zaszeregowanie dostarcza wielu ważnych przesłanek paleogeograficznych i stratygraficznych oraz umożliwia właściwą rekonstrukcję przeobrażeń diagenetycznych. Badanie kopalnych caliche napotyka liczne trudności ze względu na często nieregularne poziome wykształcenie horyzontów, a w przypadku większej ich liczby z powodu wzajemnego przenikania się i nakładania.

Próby do badań pobierano w kilkunastocentymetrowych odstępach, mając na uwadze pionową zmienność w obrębie pojedynczego horyzontu. Próby dzielono na połowy, z jednej połowy wykonywano płytki cienkie, zglądy lub odbitki acetonowe, z drugiej — analizy chemiczne. Częściowo stosowano barwienie preparatów za pomocą czerwonej alizaryny S. Analizy chemiczne przeprowadzano w celu oznaczenia zawartości CaO, MgO, CO<sub>2</sub> oraz składników nierozpuszczalnych w HCl. Analizy granulometryczne wykonywano metodą mikroskopową.

## SYTUACJA GEOLOGICZNA

Osadowe kompleksy wypełniające nieckę śródsudecką należą do dolnego i górnego karbonu, permu i dolnego triasu. Kontynentalne serie dolnego permu reprezentowane są przez zlepieńce, piaskowce i mułowce. Sedymentacji klastycznej tego okresu towarzyszyła w środkowym dolnym permie intensywna działalność wulkaniczna. Całkowita miąższość utworów dolnego permu wynosi około 1500 m.

Badania Dziejica (1961) nad utworami dolnego permu pozwoliły ustalić następstwo stratygraficzne, a także określić sytuację tektoniczną oraz warunki paleogeograficzne i paleoklimatyczne. Najwyższe osady dolnego permu reprezentowane są przez zlepieńce

ślając wyżej wspomniane osady mianem ogniwa zlepieńców z Wambierzyc (fig. 2).

W stropowej części zlepieńcowych osadów w rejonie Radkowa obserwuje się 2 do 6 horyzontów o podwyższonej zawartości węgla wapnia, mniej lub bardziej regularnych i ciągłych. Są to, ze względu na zmienne zawartości węgla wapnia i składników klasycznych, zlepieńce wapniste, zlepieńcowate piaskowce wapniste, piaskowce wapniste oraz wapienie piaszczyste i wapienie. Forma występowania i geneza tych skał została pokrótce opisana przez Dziejica (1961, s. 84). Wapienie te są

„... niekiedy zupełnie czyste, w innych zaś przypadkach są zanieczyszczone piaskiem. W tym ostatnim przypadku piasek występuje w postaci nieregularnych gniazd, co nasuwa przypuszczenie, że luźny piasek był inkrustowany substancją wapienistą. W wapieniach nie znaleziono dotychczas żadnych skamieniałości. Jest prawdopodobne, że część opisanych wapieni powstała w sposób podobny do tego, jaki przyjmuje się dla krzemionkowych pól pustynnych”.

Zdaniem Dziejica (1961) opisywane skały wapienne należą już do górnego permu. Za cechsztyńskim wiekiem wapieni i skał wapienno-detrytycznych przemawia, według Dziejica, analogiczna pozycja dolomitów i tzw. arkoz dolomitycznych w północnej części niecki śródsudeckiej, uważanych powszechnie za cechsztyńskie. Należy jednak zaznaczyć, że przy tego typu ocenach przynależności stratygraficznej, nie bez znaczenia jest określenie genezy porównywalnych utworów.

Odmienny pogląd prezentuje Dathe (1904), zaliczając wapienie i leżące wyżej piaskowce do najwyższej części dolnego permu.

Na podstawie dotychczasowych wyników obserwacji terenowych, badań mikroskopowych oraz analizy porównawczej z utworami współczesnymi uznanymi powszechnie za caliche, należy przypuszczać, że wymienione horyzonty wapienne mają właśnie taką genezę. Natomiast fakt występowania tych horyzontów w obrębie fanglomeratu z Radkowa pozwala określić ich wiek jako najwyższy dolny perm. Tak więc, zdaniem autora, w południowej części niecki śródsudeckiej nie ma osadów górnego permu.

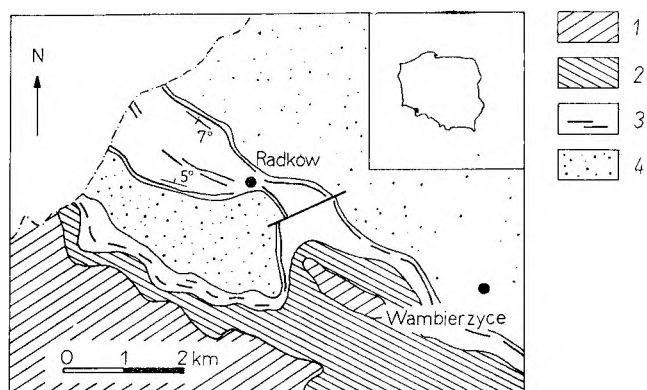


Fig. 1

Szkic geologiczny okolic Radkowa

1 - kreda górna, piaskowce; 2 - piaskowiec pstry, piaskowce; 3 - najwyższy czerwony spągowiec, piaskowce i zlepieńce z horyzontami caliche; 4 - górny czerwony spągowiec (fanglomerat z Radkowa), piaskowce, zlepieńce, mułowce

Simplified geological map of the vicinity of Radków, Intra-sudetic Basin

1 - Upper Cretaceous, sandstones; 2 - Bunter Sandstone, sandstones; 3 - uppermost Rotligendes, sandstones and conglomerates with caliche horizons; 4 - Upper Rotligendes (Radków fanglomerate), conglomerates, sandstones, siltstone

i piaskowce zlepieńcowate nazwane przez Dziejica fanglomeratem z Radkowa (fig. 1). Ostatnio Nemeč (praca w przygotowaniu) dokonał formalnego podziału litostratygraficznego wczesnego permu, okre-

## OPIS HORYZONTÓW BOGATYCH W WĘGLANY

Jak już wspomniano, horyzonty wzbogacone w węglan wapnia znajdują się w stropowej części fanglomeratu z Radkowa, a ich liczba waha się od 2 do 6. Miąższość poszczególnych horyzontów wynosi 0,5 do 4 m. Całkowita miąższość serii, łącznie

horyzonty wapienne i dzielące je partie nie mające makroskopowo widocznego wzbogacenia w węglany (fig. 3), osiąga maksymalnie 15 m. Skałą gospodarzem, w której tkwią horyzonty wapienne, jest piaskowiec, zlepieńce, a najczęściej piaskowiec zlepieńcowaty

P e r m i a n S a k s o n i a n ( S a x o n i a n )	Formacja radkowska	Ogniwo zlepieńców z Mioszowa		Ogniwo zlepieńców z Wambierzyc		
	Radków Formation	Mioszów Conglomerate Member		Wambierzycze Conglomerate Member		
E a r l y ( E a r l i a n )	Formacja stłupiecka	Ogniwo piaszczystych mułowców z Ratna Górnego Ratno Górne Sandy Siltstone Member				
		Ogniwo mułowców z Ratna Dolnego Ratno Dolne Siltstone Member				
	Stłupiec Formation	Ogniwo wulkanitów z Gór Suchych Suche Mts Volcanites Member				
P e r m ( A u t u n i a n )	Formacja krajanowska	Ogniwo mułowców z Góry Wilkowiec Wilkowiec Mt Siltstone Member				
		Ogniwo piaszczystych mułowców z Góry Anny Anna Mt Sandy Siltstone Member				
W c z e s n y A u t u n	Krajanów Formation	Ogniwo zlepieńców z Czarnego Boru Czarny Bor Conglomerate Member	Ogniwo zlepieńców z Unistawia Unistaw Conglomerate Member	Ogniwo zlepieńców ze Świerków Świerki Conglomerate Member	Ogniwo zlepieńców z Bieganowa Bieganów Conglomerate Member	Ogniwo piaskowców z Czerwieńczyc Czerwieńczyce Sandstone Member

Fig. 2

Podział litostratigraficzny dolnego permu niecki śródsudeckiej (wg W. Nemeč — praca w przygotowaniu)  
Formal lithostratigraphy of the Lower Permian in Intrasudetic Basin (after W. Nemeč — in prep.)

o barwie brunatnoczerwonej, skała najczęściej pozabawiona oddzielności ławicowej.

W obrębie poszczególnych horyzontów stwierdza się generalnie wzrost zawartości substancji węglanowej ku górze. Ilość węglanu wapnia w poszczególnych horyzontach jest zróżnicowana. W pojedynczym horyzoncie, poczynając od jego spągu, substancja wapienna występuje w formie niezbyt obfitego spoiwa. W miarę posuwania się ku górze pojawiają się kilkucentymetrowe nieforemne buły, które wyżej zrastają się ze sobą tworząc nieregularne soczewy. Granice między skałą gospodarzem a wapieniem są nieostre. Materiał klastyczny jest bądź równomiernie rozproszony, bądź tworzy nieregularne gniazda. Tylko

część horyzontów w najwyższej swej partii ma lite, masywne wapienie (fig. 3, 4). W wapieniach litych materiał klastyczny występuje w niewielkich ilościach i jest bardzo rozproszony. W całym profilu pojedynczego horyzontu obserwuje się ponadto drobne żyłki i gniazda kalcytu. Barwa skały ulega zmianie od czerwobrunatnej u dołu horyzontu do różowobiałej w stropie, na powierzchniach zwietrzałych jest szarobiała.

Forma wykształcenia horyzontów wapiennych jest w pewnym stopniu uzależniona od grubości frakcji materiału klastycznego budującego skałę, w której dany horyzont powstał. W kierunku wschodnim w fanglomeracie z Radkowa wzrasta ilość materia-



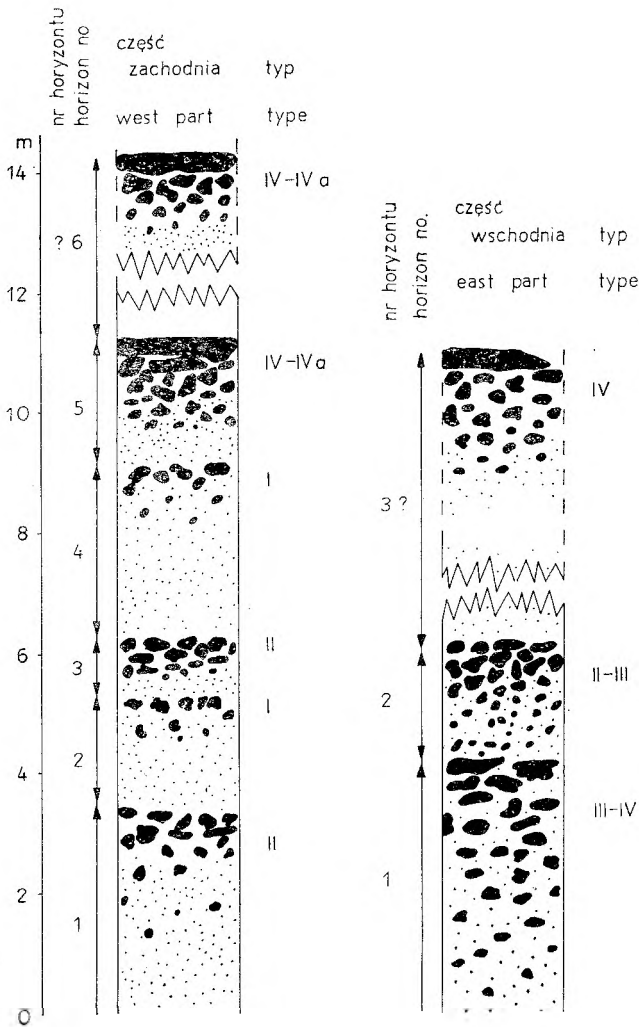


Fig. 3

Schematyczne profile rozmieszczenia i zawartości węgla w horyzontach caliche

Schematic profiles of the distribution and carbonate content in caliche horizons

łu gruboklastycznego. W tej części badanego terenu zaobserwowano trzy horyzonty o miąższości przeciętnie większej niż w części zachodniej (fig. 3). I tu również zaznacza się zmienność w profilu pionowym horyzontów. Cechą charakterystyczną jest występowanie nagromadzeń wapiennych poniżej płaskich otoczków lub wkładek ilastych (fig. 5). Liczne w skale otoczki wapieni krystalicznych noszą ślady rozpuszczania (fig. 6). W najwyższej części horyzontu 3 (część wschodnia; fig. 3) skała ma postać wapienia, w którym odseparowane otoczki zawieszane są w spoiwie wapiennym. Partie czysto wapienne są nieliczne, jakkolwiek spotyka się soczewy wapieni laminowanych z powierzchniami stylolitowymi (fig. 7).

W zachodniej części terenu najpełniej wykształcony jest horyzont nr 5 (fig. 3 i 8). Wyżej zalega około metrowej miąższości ławica o składzie ziarnowym odpowiadającym drobnoziarnistym piaskom i grubo-

ziarnistym pyłom z obfitym spoiwem wapiennym (fig. 9, pl. IV, 5). Bardzo dobre wysortowanie i występująca laminacja falista, przypominająca ripplemarki adhezyjne, wskazują na eoliczny charakter tej skały. Przypuszczalnie osady te odpowiadają współczesnym lessom lub pyłowcom pustynnym.

### SKŁAD CHEMICZNY

Analizowane skały węglanowe mają skład wapieni z nieznaczną domieszką węgla magnezu. Stosunek CaO do MgO waha się w szerokich granicach od 9:1 do 105:1. W niektórych horyzontach zaznacza się tendencja do wzrostu stosunku CaO:MgO w miarę wznoszenia się w górę profilu (fig. 8). Zawartość substancji węglanowej jest na ogół większa w skałach drobnoziarnistych niż gruboziarnistych. Przykładowo horyzont nr 5 (część zachodnia) zawiera od 23,04% sumy tlenków wapnia i magnezu w spągu do 47,20% w partii wapieni litych (fig. 8), gdy tymczasem odpowiadający mu stopniem rozwoju strukturalnego horyzont nr 3 (część wschodnia) zawiera 21,41% sumy CaO i MgO w spągu i 34,35% w części stropowej. W pozostałych horyzontach, tj. 1, 2, 3, 4 (w części zachodniej), zawartość węglanów jest mniejsza, np. horyzont nr 3 zawiera od 15,50 do 29,01% sumy tlenków wapnia i magnezu.

### CEMENTACJA

Z genetycznego punktu widzenia wszystkie struktury węglanowe występujące w badanych horyzontach można podzielić na trzy grupy. Do grupy pierwszej należą zaokrąglone ziarna węglanowe, prawdopodobnie pierwotne składniki sedymentu, do drugiej — struktury powstałe w czasie węglanowej cementacji nieskonsolidowanego osadu. Do trzeciej grupy zaliczono struktury będące rezultatem procesów diagenetycznych, w tym również struktury cementacyjne powstałe w drodze przemian neomorficzych.

Na części ziarn klastycznych w dolnej i środkowej części horyzontu nr 5 (w dalszej części pracy głównie ten horyzont będzie omawiany z racji pełnego wykształcenia) występują pakiety wyraźnie odcinających się od tła niewielkich kryształów kalcytu. Wyraźny relief i typowe ostre zakończenia kryształów pozwalają przyrównać je do „kalcytu mikroaktytowego” (microstallactitic druse; Purser 1969). Dłuższe osie poszczególnych osobników mają od 20 do 50  $\mu\text{m}$  (pl. I, 1). W opisywanej sytuacji kalcyt mikroaktytowy pokrywa fragmentarycznie różne powierzchnie ziarn. Kalcyt tego typu występuje w zasadzie tylko na spodnich powierzchniach ziarn, wytrąca się bowiem z wiszących kropli roztworów. Obserwowana obecność



Fig. 4

Stropowa partia horyzontu caliche nr 5; odsłonięcie na zachód od Radkowa  
Top of the caliche horizon no. 5; outcrop west of Radków

kalcytu mikroaktytowego na różnych powierzchniach ziarn sugeruje rotację materiału klastycznego we wczesnym etapie cementacji (fig. 10). Na tych samych powierzchniach, na których spotyka się kalcyt mikroaktytowy, występują nieliczne pakiety kalcytu włóknistego. Obie wymienione formy cementu kalcytowego prawdopodobnie reprezentują najwcześniejszy etap cementacji węglanowej.

Kolejny etap wiąże się z powstaniem naskorupień bądź ciągłych otoczek wokół ziarn klastycznych. Kryształy budujące otoczki mają postać kalcytu

radiaksjalnego (radial fibrous mosaic; Bathurst 1971). W bezpośrednim sąsiedztwie ziarna klastycznego kryształy kalcytu radiaksjalnego mają pokrój tępych stożków, dalej są wydłużone. Zgodnie z definicją podaną przez Bathursta (*op. cit.*) kryształy radiaksjalne składają się z szeregu zbliźnionych subkryształów o wygiętych lamelkach bliźniaczych. Promieniste ułożenie subkryształów powoduje faliste wygaszanie światła. Duża ilość zbliźniaczeń, inkluzji i wrostków wywołuje nieprzeźroczystość kryształów. Granice między poszczególnymi kryształami są nie-

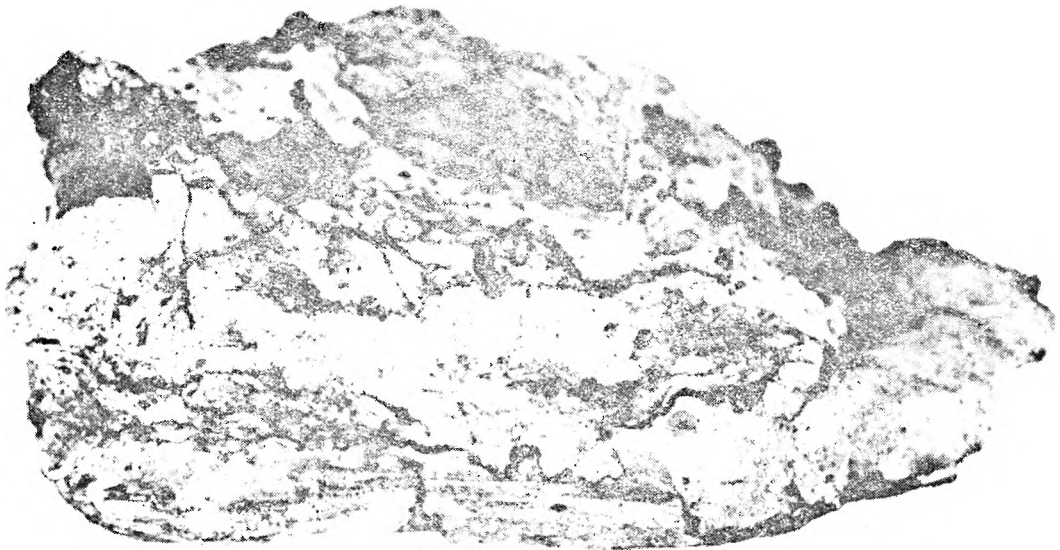


Fig. 5

Nagromadzenie węglańu wapnia poniżej otoczaka łupkowego; pow. 1,2 ×  
 Concentrate of calcium carbonate below a slate pebble; mag. 1,2 ×

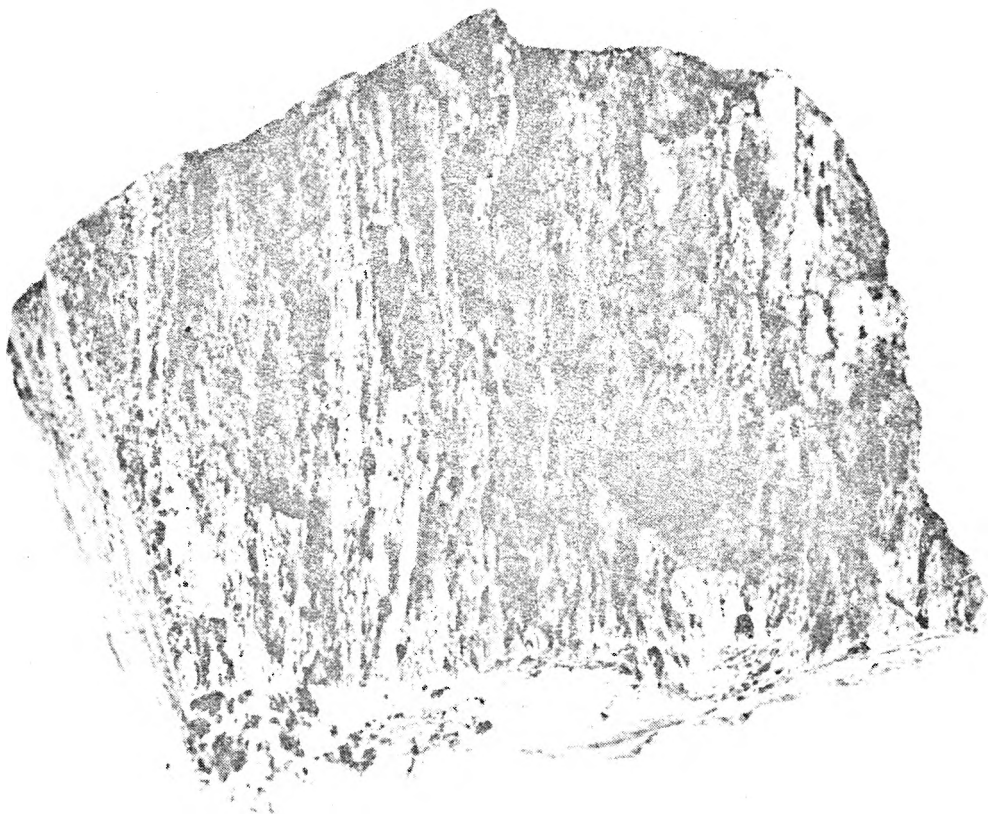


Fig. 6

Fragment wapienia krystalicznego ze śladami rozpuszczania, z bezpośredniego nadkładu horzontu nr 3 (część wschodnia obszaru badań); wielkość naturalna

Fragment of cristalline limestone with solution features, present immediately above the top of horizon no. 3 (eastern part of study area); actual size

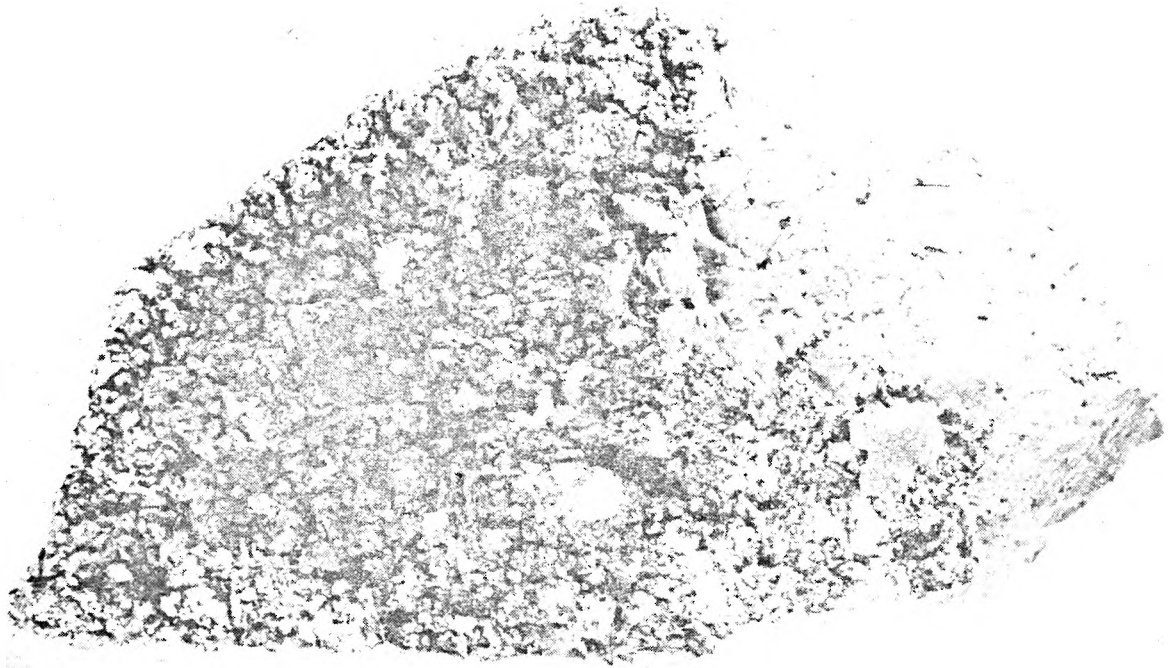


Fig. 7

Wapień laminowany ze stylolitami (fotografia od strony powierzchni styloliticzej); wielkość naturalna  
Laminated limestone with stylolites (view from stylolitic surface); actual size

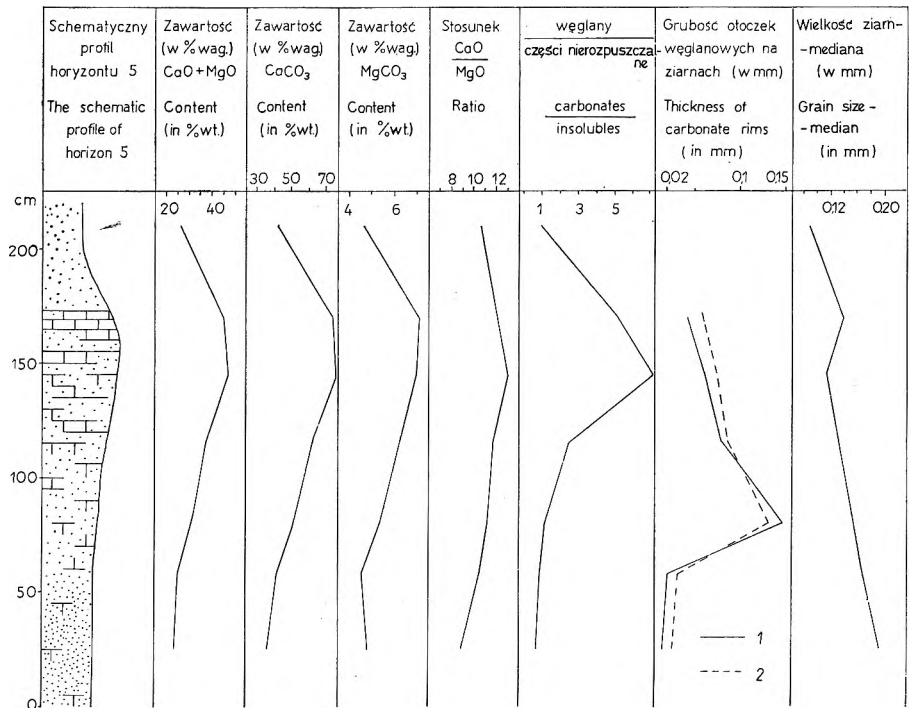


Fig. 8

Zestawienie wyników analiz chemicznych i niektórych obserwacji mikroskopowych horyzontu nr 5 i nadległej ławicy osadów eolicznych  
1 — średnie grubości otoczek kalcytowych na górnych powierzchniach ziarn; 2 — średnie grubości otoczek kalcytowych na dolnych powierzchniach ziarn

Summary of chemical and selected petrographic data from the caliche horizon no. 5 and overlying layer of aeolian deposits

1 — mean thickness of calcite rims on the upper grain-surfaces; 2 — mean thickness of calcite rims on the lower grain-surfaces

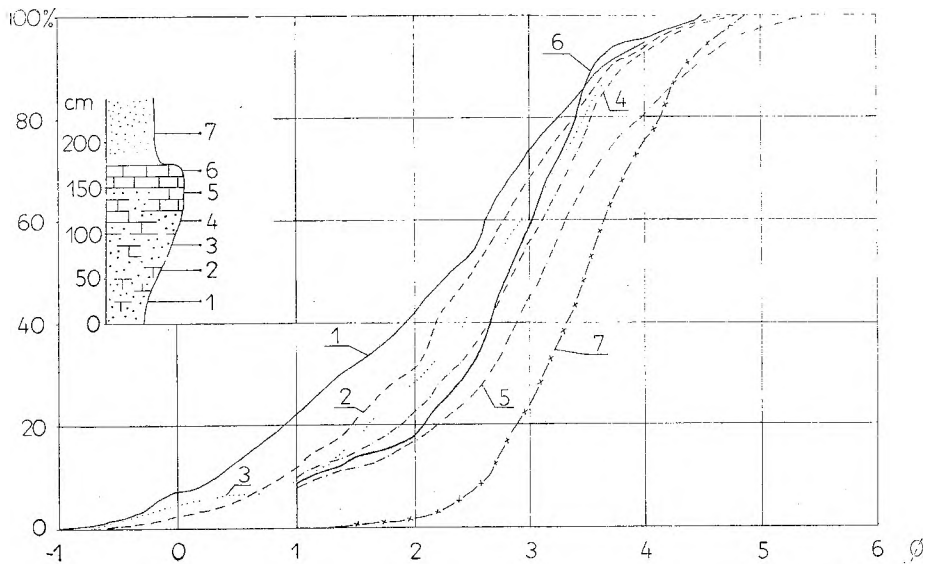


Fig. 9

Wyniki mikroskopowych analiz granulometrycznych prób z horyzontu nr 5

Przesunięcie krzywych kumulacyjnych ku frakcjom drobniejszym jest rezultatem mechanicznego rozszadzenia i korozji szkieletu ziarnowego; krzywa nr 7, wyraźnie odbiegająca od pozostałych, reprezentuje rozkład ziarnowy w osadach eolicznych zalegających w stropie horyzontu

Grain-size analyses of rock samples from horizon no. 5 (data obtained by optical method)

The progressive change observed in curves shape is the result of an upward increase in mechanical in-situ breakup of framework grains with the section; curve no. 7 represents aeolian deposit present above top of caliche horizon

równe. Dłuższe osie kryształów radiaksjalnych są prostopadłe do powierzchni ziarn. Długość kryształów tego typu wynosi 50–400  $\mu\text{m}$ , a szerokość od 10 do 100  $\mu\text{m}$  (pl. I, 1, 2). Jeśli kalcyt radiaksjalny krystalizuje

na powierzchni pokrytej uprzednio kalcytem mikroalaktytowym, ten ostatni może zachować się i wyraźnie różni się pokrojem, rozmiarami i przezroczystością od pierwszego. Kalcyt radiaksjalny krystalizuje w wielu wapieniach jako pierwsza generacja cementu, wypełniając puste przestrzenie (Bathurst 1971). Morfologia kryształów wskazuje, że rosły one swobodnie tylko w jednym kierunku, na zewnątrz od ziarn klastycznych.

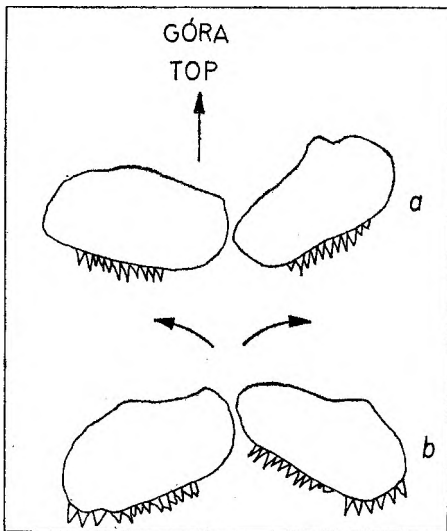


Fig. 10

Wynik krystalizacji pierwszej generacji kalcytu (kalcyt mikroalaktytowy) na dolnych powierzchniach ziarn klastycznych w warunkach małej stabilności osadu

a – stan wyjściowy; b – po rotacji ziarn

Result of the crystallization of first calcite generation (microstalactitic cement) on the lower surface of clastic grains in low-stability conditions of the sediment

a – initial state; b – after grains rotation

Uformowane z kalcytu radiaksjalnego otoczki rozwinięte wokół ziarn klastycznych są najczęściej jednowarstwowe (jeden rząd kryształów), choć sporadycznie spotyka się dwie lub nawet trzy warstewki kryształów radiaksjalnych, oddzielone subtelnymi powłokami mikrytowymi i nagromadzeniami tlenków żelaza (pl. I, IV i pl. II, 1). Grubość otoczek waha się od 30  $\mu\text{m}$  do 0,5 mm. Ciekawych wniosków dostarcza obserwacja morfologii otoczek. Są one zwykle asymetryczne, grubsze na powierzchniach dolnych i górnych, cieńsze lub nieobecne na bokach ziarn klastycznych (pl. I, 4, 5, 6 i pl. II, 1, 2 oraz 6). Szczególnie grube otoczki powstały na ziarnach płaskich i leżących poziomo. Zaznacza się również tendencja do zwiększania grubości otoczek na ziarnach większych niż przeciętne.

Asymetryczny kształt otoczek kalcytowych zdaje się wskazywać na istnienie w czasie cementacji uprzywilejowanego kierunku przenikania roztworów węglanu wapnia. Sytuacja taka mogła powstać jedynie



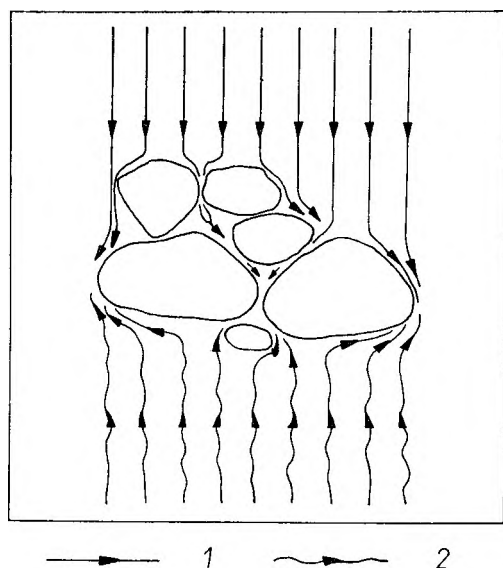


Fig. 11

Strefy zmniejszonego przepływu roztworów na dolnych i górnych powierzchniach ziarn w wyniku zagęszczenia linii strug cieczy na bocznych ścianach ziarn klastycznych

1 — gravitacyjny spływ roztworów; 2 — kapilarne unoszenie roztworów

Zones of a decreased flow of solutions near the lower and upper surfaces of detrital grains resulting from condensation of stream lines near lateral grain-surfaces

1 — gravitative solutions flow-down; 2 — capillary solutions lift

w warunkach aerycznych, w obrębie strefy wadycznej. Gravitacyjny spływ roztworów, a następnie ich kapilarne unoszenie spowodowało zagęszczenie linii strug cieczy na bocznych powierzchniach ziarn klastycznych (fig. 11). Warunki istniejące na dolnych i w nieco mniejszym stopniu na górnych powierzchniach ziarn bardziej sprzyjały wytrącaniu się otoczek kalcytowych. Predyspozycja ziarn dużych i płaskoleżących do tworzenia asymetrycznych otoczek wynika z obecności nad i pod nimi rozleglejszych „stref cienia”. Krystalizujące wokół ziarn kryształy otoczek kalcytowych odsunęły drobne ziarna klastyczne tworząc struktury „słonecznikowe”, tj. aureole drobnych ziarn wokół zewnętrznego skraju otoczki (pl. I, 2 i pl. II, 2).

W profilu horyzontu wapiennego istnieje dość wyraźna strefowość rozmieszczenia otoczek wokół ziarn klastycznych. Od dołu profilu ich liczba i grubość wzrasta, w 1/3 wysokości osiąga maksimum liczności i grubości, a następnie maleje (fig. 8). Przyczyną tego zjawiska jest migracja strefy aktywnego przepływu w dół wód gravitacyjnych i kapilarnych ku górze w wyniku cementowania coraz to wyższych partii horyzontu. Zjawisko to, nie zaburzone w czasie, powinno doprowadzić do nieustannego wzrostu otoczek ku górze horyzontu, aż do powstania pizolitów. Sytuacji tej odpowiada wznoszący się odcinek

krzywej obrazującej zmiany grubości otoczek (fig. 8). Procesowi temu przeciwdziałają jednak zjawiska rozpuszczania kalcytu radiakcyjnego i wytrącania mikrytowego cementu, a także zjawiska neomorfizmu. Z tych ostatnich ważny jest proces zmniejszania się kryształów cementu (grain diminution, degradation recrystallization; Chillingar *et al.* 1967), typowy dla przeobrażeń w warunkach niskich ciśnień i temperatur. W rezultacie ku górze profilu otoczki stają się cieńsze i upodobnione do tła (fig. 8 — opadająca część krzywej; pl. VI, 2).

Bez uwzględnienia innych, dotychczas nie omówionych, procesów towarzyszących rozwojowi otoczek na ziarnach klastycznych obraz zachodzących przemian cementu obwódkowego przedstawiałby się tak, jak pokazano na figurze 12 (etap I—III).

Powstanie otoczek było możliwe w osadzie nieskonsolidowanym w obecności licznych por międzyziarnowych, które umożliwiły rozrost kalcytowych powłok. Duża część z tych por została wypełniona mikrytem. Ten chemogeniczny mikryt stanowił prawdopodobnie zasadniczą część pierwotnego matrix.

#### SZKIELET ZIARNOWY

Specyficzny proces cementacji węglanowej skał klastycznych w warunkach aeralnych prowadzi do wyparcia częściowego lub całkowitego pierwotnych składników osadu. Zjawiska te występują zarówno w czasie cementacji, jak i w procesach dalszych przemian diagenetycznych. Polegają one na: (a) korodowaniu od zewnątrz ziarna bez widocznej zmiany jego wnętrza, (b) wytrawianiu całej przestrzeni ziarna wzdłuż spękań i (c) na obu tych procesach jednocześnie. Podatność poszczególnych składników pierwotnego osadu na czynniki przeobrażające jest zróżnicowana. W pierwszej kolejności przeobrażeniu ulega biotyt. W horyzoncie wapiennym jest on spotykany sporadycznie i jedynie w dolnej części profilu. Wytrawianiu biotyty towarzyszy wydzielanie zwartych nieprzeźroczystych agregatów tlenków żelaza (pl. II, 4). Większą odpornością cechują się skalenie, a zwłaszcza skalenie potasowe. Dość liczne w dolnej części profilu, szybko ulegają spękaniu, są intensywnie korodowane i wytrawiane przez węglan (pl. II, 2—6; pl. III, 2). Z procesami tymi związane jest wydzielanie wokół ziarn subtelných powłok tlenków żelaza (pl. III, 1, 6). Obserwowana niekiedy obecność kilku powłok wskazuje na istnienie przerw lub zmian natężenia procesów cementacji i nierozzerwalnie z nimi związanych procesów przeobrażeń materiału klastycznego (pl. III, 4; pl. VI, 2).

W górnej części profilu liczba ziarn z objawami przeobrażeń rośnie. Pozostają bardzo nieregularne, rozdrobnione fragmenty skaleni oraz cechujące się

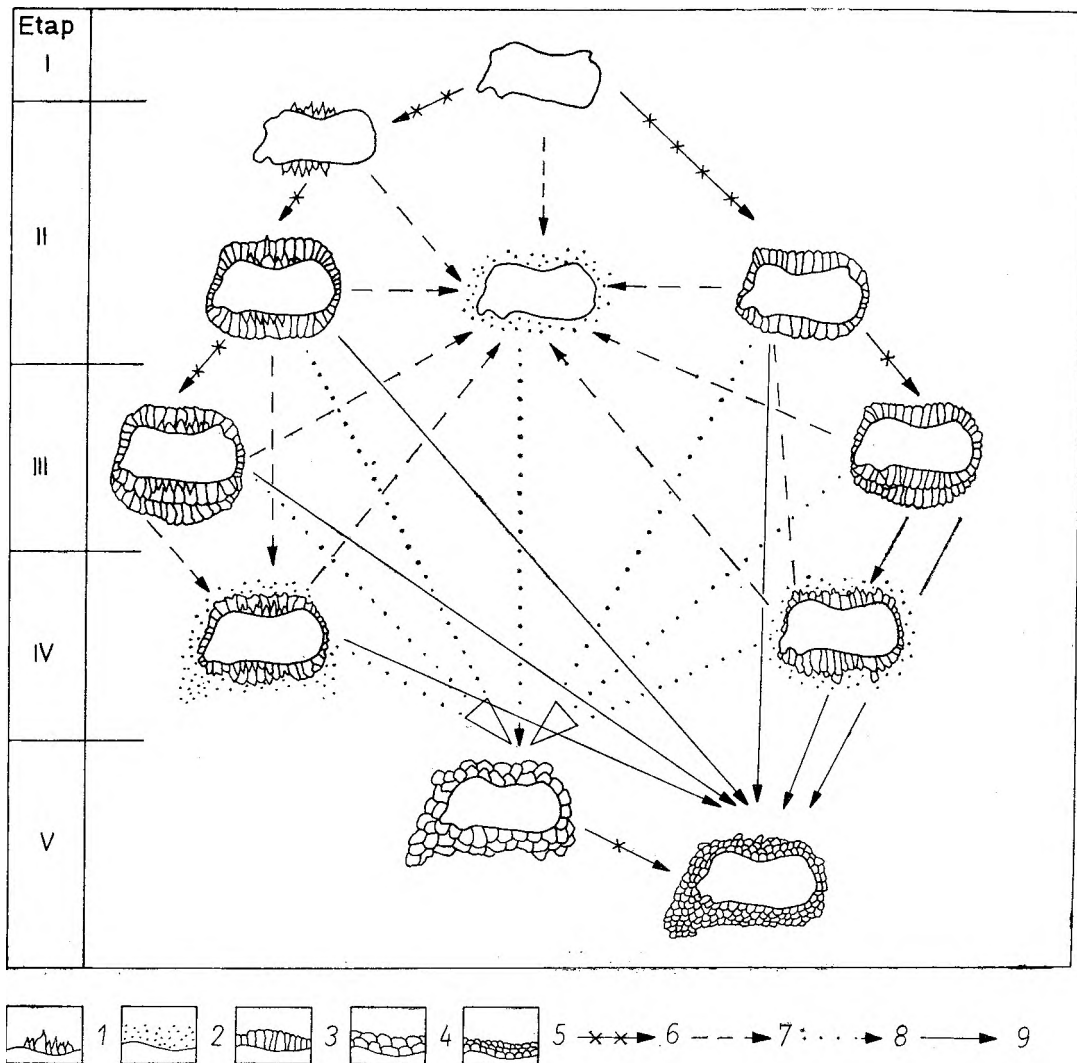


Fig. 12

Schemat rozwoju i przeobrażeń otoczek kalcytowych wokół ziarn klastycznych (na rysunku nie uwzględniono przeobrażeń ziarn klastycznych zachodzących jednocześnie z cementacją i neomorfizmem)

I – kalcyt mikrostalaktynowy; 2 – mikryt; 3 – kalcyt radiaksjalny; 4 – kalcyt granularny (pseudosparyt); 5 – sparmikryt; 6 – wytrącanie cementu obwódkowego; 7 – rozpuszczanie i wytrącanie cementu mikrytowego; 8 – rekrytalizacja agradacyjna; 9 – rekrytalizacja degradacyjna (sparmikrytyzacja)

The development and transformation of calcite rims around clastic grains (transformations of the clastic grains, simultaneous with the cementation and neomorphism are omitted)

I – microstalactitic druse calcite; 2 – micrite; 3 – radial fibrous mosaic calcite; 4 – granular calcite (pseudosparyte); 5 – sparmicrite; 6 – rim-cement precipitation; 7 – solution and precipitation of micrite cement; 8 – aggrading recrystallization; 9 – degrading recrystallization (sparmicritization)

najwyższą odpornością kwarc i muskowit. W przypadku ziarn kwarcu dominuje proces korodowania od zewnątrz i rozsadzania ziarn w wyniku krystalizacji węglanu wapnia w spękaniach (pl. I, 3; pl. III, 4, 3), szczególnie predysponowane są ziarna o naruszonej konstrukcji, mające ukryte spęknięcia.

Przeobrażenie okruchów skał skaleniowo-kwarcowych lub skaleniowo-kwarcowo-muskowitowych prowadzi do szybszego wyparcia składnika skaleniowego i powstania agregatów kalcytowo-kwarcowych lub kalcytowo-muskowitowo-kwarcowych (pl. II, 2–4; pl. III, 1, 5, 6; pl. IV, 3, 4). Wydzielające się tlenki żelaza gromadzą się w postaci powłok i zwartych

agregatów. Wypierający ziarna klastyczne węglan wapnia ma postać mikrosparytu lub sparytu granularnego.

W przypadku regularnych ziarn czysto kalcytowych mogą budzić się wątpliwości, czy powstały one przez wyparcie krzemianu, czy też są pierwotnym składnikiem osadu. Obecność powłok tlenków żelaza nic nie wyjaśnia, gdyż mogą one powstać w wyniku zmiany równowagi fizykochemicznej na granicy układu ziarno allochemiczne—cement węglanowy (pl. IV, 1, 2). Zwykle jednak wyparcie nie jest całkowite i pozostają nieregularne relikty pierwotnego składnika (pl. III, 1).

Opisane procesy korozji i wypierania prowadzą do rozdrobnienia i zaniku materiału klastycznego. Znalazło to potwierdzenie w analizach granulometrycznych. Autor stwierdza konsekwentny spadek mediany ziarn w horyzoncie 5, od 0,193 mm w spągu do 0,116 mm w stropie (fig. 8 i 9). Należy jednak zastrzec się, że nie można całkowicie wykluczyć zróżnicowania uziarnienia w stadium sedymentacji, jakkolwiek dotychczasowe obserwacje wskazują na brak takiego pierwotnego zróżnicowania. Wiąże się to z przypuszczalną genezą, omawianych skał. Wykazują one bowiem wiele cech uznawanych za typowe dla mechanizmu typu spływów rumoszowych (debris-flow; Walker 1975), są to:

1) charakter osadu (zlepnieńce są zawsze piaszczyste i piaskowce są zawsze zlepnieńcowate);

2) słabe wysortowanie osadu;

3) obfitość matrix w zlepnieńcach (otoczaki są niemal zupełnie odseparowane przez piaszczysto-mułowcową masę wypełniającą);

4) charakter wewnętrznej tekstury osadu (fabric) — zupełny brak imbrakacji typu a/t/b/i (*sensu* Walker *op. cit.*), dłuższe osie często w pozycji niemal pionowej;

5) brak jakichkolwiek wyraźnych powierzchni warstwowań;

6) brak skośnych warstwowań;

7) obecność porozrywanych i zdeformowanych (zapewne w czasie transportu) fragmentów mułowców i piaskowców.

Depozycja typu spływów rumoszowych została częściowo potwierdzona obserwacjami petrograficznymi pierwszej generacji spoiwa węglanowego.

#### SYLIFIKACJA

W stropie horyzontu 5, a także w zwietrzelinie będącej być może pozostałością horyzontu 6, obserwuje się miejscami sylifikację wapieni. Pojawia się ona w postaci co najwyżej kilkunastocentymetrowych nieregularnych ciał chalcedonowych zawierających

relikty kalcytu. Ilość konkrecji chalcedonu jest jednak nieproporcjonalnie mała w stosunku do obfitości zjawisk reakcyjnych w kwarcu i mierałach krzemianowych. Próba wyjaśnienia ubytku krzemionki jedynie w wyniku migracji ku górze horyzontu jest niewystarczająca. Autor przypuszcza, że obok zasadniczego pionowego kierunku przemieszczania roztworów istniał okresowo (w czasie nadmiaru wód) również spływ po upadzie (fig. 13). Strącająca

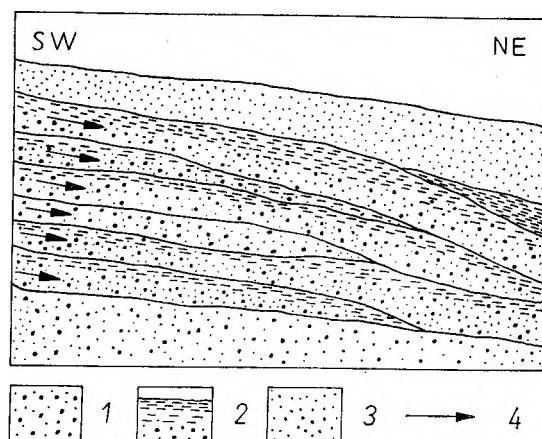


Fig. 13

Spływy rumoszowe na powierzchni stożka aluwialnego. Zróżnicowany stopień dojrzałości horyzontów caliche w stropie spływów ilustruje różną długość przerw między kolejnymi spływami

1 — spływy rumoszowe; 2 — caliche w stropie spływów rumoszowych; 3 — osady eoliczne, 4 — kierunki spływów i okresowego przesączania nadmiaru wód

Debris-flows on alluvial fan surface. Differentiated degree of caliche horizon maturity at the top of debris-flows illustrates different time spans between successive flows

1 — debris-flows; 2 — caliche at the top of debris-flow; 3 — aeolian deposits; 4 — directions of flows and periodic filtration of water excess

się powoli krzemionka mogła być okresowo odprowadzana wraz z wodami ku centrum basenu. Przyjęcie takiego modelu wyjaśnia jednocześnie, obserwowany w terenie, nieco intensywniejszy rozwój horyzontów wapiennych w części centralnej badanego terenu niż na obrzeżeniach.

#### GENEZA HORYZONTÓW WĘGLANOWYCH

Zgromadzone powyżej obserwacje wskazują na wadyczno-pedogeniczny charakter cementacji węglanowej. Powstałe w ten sposób horyzonty wykazują wiele cech zbliżonych lub analogicznych do opisywanych w literaturze utworów typu caliche tak współczesnych, jak i kopalnych. Stwierdzono podobieństwa w skali mikroskopowej i makroskopowej.

Podstawowa cecha diagnostyczna caliche: pionowa zmienność profilu horyzontu (Esteban 1976), występu-

je powszechnie w opisanych utworach z okolic Radkowa. Odpowiada ona w szczególności obserwacjom Steela (1974) wykonanym w dolnopermskich piaskowcach Szkocji oraz badaniom Soczawej (1975) w górnej kredzie Mongolii, natomiast pewne trudności sprawia porównanie z utworami współczesnymi, a to ze względu na różny stopień lityfikacji skał kopalnych i współczesnych.

Esteban (*op. cit.*) wyróżnił trzy typy caliche:



(1) masywno-„kredowe”, (2) gruzłowo-kruche, (3) laminowane lub skorupowo-pizolitowe. Na badanym terenie znaleziono utwory analogiczne do osadów typu pierwszego i drugiego oraz do caliche laminowanego, przy czym następstwo w pionie wymienionych skał jest następujące: od dołu wapienie gruzłowe, masywne i sporadycznie w partiach najlepiej rozwiniętych wapienie laminowane.

W obrębie badanych horyzontów obserwuje się postępujące ku górze rozluźnienie szkieletu ziarnowego, połączone z wypieraniem składników krzemianowych. Zjawisko „pływania” ziarn w węglanowym cementcie (Brown 1956) występuje zawsze we współczesnych poziomach akumulacji autogenicznego węgla w glebach (caliche). Gile *et al.* (1965, 1966) podają, że cechą rozpoznawczą tych poziomów jest tekstura K, w której drobnoziarnisty węglan separuje i cementuje szkielet ziarnowy. Dla stwierdzenia obecności tekstury K wystarcza obecność cienkich powłok wapiennych kontaktujących się między sobą na narożach ziarn. Oznacza to zawartość od 15 do 40% węgla w zależności od składu granulometrycznego materiału klastycznego. W kopalnych caliche zjawisko separacji ziarn klastycznych obserwowali między innymi Nagtegaal (1969) i Soczawa (1975).

Zanik materiału klastycznego, polegający na rozdrabnianiu i wytrawianiu ziarn, został stwierdzony tak w kopalnych, jak i współczesnych caliche. Według

Goudiego (1972, 1973) zróżnicowany stopień rozdrobnienia ziarn w caliche występującym na obrzeżeniu Morza Śródziemnego i na terenie pustyni Kalahari może być uwarunkowany różnicami klimatycznymi obu tych rejonów.

Towarzysząca wytrawianiu ziarn krzemianowych i kwarcu sylikacja jest zdaniem Reevesa (1970) charakterystyczna dla dojrzałych caliche z High Plains (Teksas i Nowy Meksyk), gdzie ciała chalcedonowe gromadzą się w dolnej części horyzontów. W utworach kopalnych autogeniczna krzemionka tworzy formy konkrecyjne, wypełnia przestrzenie intergranularne (Nagtegaal 1969) lub występuje w postaci naprzemianległych lamin kalcytu i „czertów” (Steel 1974; Röper i Rothe 1975).

W caliche z okolic Radkowa stwierdzono obecność nagromadzeń węgla poniżej otoczek lub porozrywanych wkładek ilastych. Cecha ta, typowa dla współczesnych caliche (Bretz i Horberg 1949), nie została opisana dotychczas w utworach kopalnych. Natomiast węglanowe otoczki na ziarnach klastycznych występują przede wszystkim w kopalnych caliche. Nagtegaal (1969) uważa, że duża ilość otoczek, a zwłaszcza ich asymetryczność (grubsze na górnej stronie ziarn według tego autora), jest szczególnie charakterystyczna dla wapienia o genezie caliche i może służyć jako cecha diagnostyczna.

## DIAGENETYCZNE MODYFIKACJE CALICHE

Proces cementacji horyzontu caliche (przez cementację autor rozumie zamknięcie pewnej części lub całości horyzontu przed swobodnym dopływem roztworów, co nie wyklucza jednak wypełniania węglanem powstających szczelin kontrakcyjnych) dokonał się wcześniej w dole horyzontu, a następnie sukcesywnie przesunął się ku stropowi. Tym samym przemiany neomorficzne dotknęły najpierw wapieni w dolnej części horyzontu i w miarę cementowania stropu atakowały partie wyższe.

Rozmiary oraz zasięg procesów neomorficznych są trudne do ustalenia, ponieważ prawdopodobnie doszło do nałożenia się przeciwstawnych procesów, tj. neomorfizmu agradacyjnego i degradacyjnego. Przypuszczalnie proces wzrostu ziarn cementu (grain growth) rozpoczął się wcześniej i intensywność jego rosła ku górze. Zjawisko przeciwstawne, zmniejszanie się ziarn cementu (grain diminution), zostało zapoczątkowane po zasadniczym scementowaniu, ale przed brekcionowaniem i spojeniem brekacji, i stopniowo obejmowało głębsze partie horyzontu caliche.

Podstawę tych wydzieleni genetycznych stanowi

stopniowa zmienność struktur wapiennych w profilu pojedynczego horyzontu caliche.

## NEOMORFIZM AGRADACYJNY

Procesy neomorfizmu agradacyjnego reprezentowane są przez rozwój kalcytowego pseudosparytu granularnego oraz syntaksjalnego kalcytu obwódkowego. Pseudosparytowy kalcyt granularny powstał kosztem mikrytu, a w mniejszym stopniu kalcytu radiaksjalnego. Pierwotny cement mikrytowy ulegając rekrytalizacji przechodzi w mikrosparyt bądź pseudosparyt. Powstałe kryształy charakteryzują się zmiennymi od miejsca do miejsca rozmiarami, granice pomiędzy poszczególnymi osobnikami są krzywoliniowe i nieostre (pl. IV, 6; pl. VI, 3—6). Natomiast partie przejściowe między mikrytem a pseudosparytem granularnym są zwykle stopniowe, granice nieostre a pseudosparyt zawiera często relikty mikrytu (pl; IV, 6). Struktury takie przypominają niekiedy słabo wykształcone sferolity (podobną koncepcję powstania sferolitów podaje Bathurst 1971). Z kolei Nagtegaal

Proces Process	Dezintegracja Desintegration	Wypieranie składników niewęglano- wych skały macierzystej Replacement of non-carbo- nate compo- nents of host rock	Kalcyt mikrosta- laktytowy i włóknisty Microstala- ctitic and fibro- us calcite	Kalcyt radiaksjalny Radiaxial fibrous mosaic	Cement mikrytowy Micrite cement	Rekrystalizacja agradacyjna Aggrading recrystallization			Sparmiki- ryt Sparmic- ryt	Obwódki tlenków żelaza Iron-oxide coatings	Pseudo- pellety Pseudo- pellety	Proces Process
						Kalcyt granularny Granular calcite	Syntaksjalny kalcyt obwódkowy Syntaxial rim calcite	Mikrospar- ryt Microspa- rite				
Stadium Stage												Stadium Stage
1												1
2												2
3												3
4												4
5												5
6												6
7												7
8												8

Fig. 14

Przypuszczalne i obserwowane zjawiska cementacji i przeobrażeń diagenetycznych oraz ich następstwo w horyzoncie caliche; zakres zjawisk przedstawiono dla hipotetycznego fragmentu w stropowej części horyzontu

Inferred and observed phenomena of cementation and diagenetic transformation and their sequence in caliche horizon; range of phenomena shown for a hypothetic fragment at the top of the horizon

(1969 za Ruhe 1967) prezentuje odmienny pogląd. Uważa on, że sferolity powstają w fazie cementacji w wyniku krystalizacji kalcytu podczas zmian objętości wywołanych nagrzewaniem i oziębianiem sedymentu.

Rekrystalizacja agradacyjna kalcytu radiaksjalnego prowadzi do powstania kryształów pseudosparytu granularnego o wyraźnym równomiarowym pokroju (fig. 12). Powstałe w ten sposób otoczki są nieregularne i stopniowo przechodzą w tło mikrytowe.

Syntaksjalny kalcyt obwódkowy rozwija się na ziarnach klastycznych zastąpionych przez węglan (pl. V, 1–3) lub na hipotetycznych pierwotnych ziarnach węglanowych pochodzących z sedymentu. Syntaksjalny kalcyt tworzy wokół tych ziarn obwódki, niejednokrotnie podkreślone powłokami tlenków żelaza. Amebowate wyrostki syntaksjalnego kalcytu wnikają nieregularnie w zewnętrzną mozaikę pseudosparytu granularnego (pl. V, 3). Obecność wyrostków, niekiedy o bardzo urozmaiconym zarysie, stanowi według Chillingara i in. (1967) cechę diagnostyczną

pozwalającą rozpoznać syntaksjalny kalcyt obwódkowy powstały wskutek neomorfizmu agradacyjnego. Pierwotny syntaksjalny kalcyt obwódkowy powstający w rezultacie zgodnoosiowej krystalizacji w przestrzeni pustej ma zwykle proste granice.

Należy podkreślić, że w dotychczasowych doniesieniach nie zanotowano przejawów neomorfizmu agradacyjnego w typowym caliche. Nieliczne przykłady tego procesu pochodzą jedynie z tzw. skorup węglanowych (calcareous crusts) rozwiniętych na wapieniach. I tak James (1972) stwierdza zjawisko rekrystalizacji mikrytu w mikrosparyt w holocenijskich i plejstocenijskich skorupach węglanowych z Barbados, natomiast Kahle (1977) zaobserwował sparytyzację allochemów, a w szczególności ooidów wapieni Miami (Floryda), podlegających w swej stropowej części calichefikacji. Według Folka (1965) rekrystalizacja mikrytu w mikrosparyt jest zjawiskiem powszechnym, gdy wapienie są przeobrażone na kontakcie z wodą słodką, a zwłaszcza przy współdziałaniu materii organicznej.

## NEOMORFIZM DEGRADACYJNY

Rekrystalizacja węglanów wapnia prowadząca do zmniejszania się kryształów jest określana wieloma terminami. Podstawowy i najwcześniejszy z nich „mikrytyzacja” oznacza przeobrażenie allochemów w mikryt (Bathurst 1966). Odpowiednikiem mikrytyzacji bez definiowania charakteru materiału przeobrażonego jest „rekrystalizacja do kryptokrystalicznego węglanu” (recrystallization to cryptocrystalline carbonate; Purdy 1968). Sparmikrytyzacja (sparmicritization; Kahle 1977) określa powstanie mikrytu przez przemianę sparytowego cementu. Jest to proces złożony, obejmujący zjawiska czysto fizykochemiczne przy niewielkim udziale organizmów żywych (borowanie, metabolizm). Termin „sparmikryt” (sparmicrite) określa produkt procesu sparmikrytyzacji.

Zjawiska sparmikrytyzacji prawdopodobnie zachodziły w horyzontach caliche okolic Radkowa. Procesem tym objęte byłyby górne części horyzontów. Do takiego wniosku skłania fakt, że ilość sparytu bądź pseudosparytu granularnego początkowo szybko rosnąca od dołu horyzontu przy zbliżaniu się do stropu maleje, natomiast pojawia się kryptokrystaliczny węglan wapnia. Sparmikrytyzacja dotknęłaby zatem głównie kalcytowy sparyt i pseudosparyt (pl. V, 4 i 6) oraz kalcyt radiaksjalny (pl. VI, 2), stąd zanik w górnej części horyzontów otoczek wokół ziarn klastycznych (pl. V, 5). Schematyczną ilustrację tego procesu prezentuje figura 12.

W rozdziale dotyczącym cementacji zaznaczono, że obok kalcytu radiaksjalnego głównym cementem jest pierwotny chemogeniczny mikryt. Zagadnienie sprowadza się zatem do odróżnienia mikrytu od nowo powstałego sparmikrytu. Problem ten jest stosunkowo łatwy do rozwiązania w przypadku wapieni organogenicznych. W opisywanej sytuacji horyzontów caliche można co najwyżej przypuszczać,

że kryształy o wielkości i pokroju mikrytu (1 do 5  $\mu\text{m}$ ) i barwie bladożółtej są sparmikrytem, w przeciwieństwie do mikrytu, który jest intensywnie brązowo-żółty. Tak określony sparmikryt tworzy na ogół nieregularne ciała o słabo zaznaczonych granicach (pl. V, 4; pl. VI, 1). Mikryt występuje w postaci zwartych lub rozczłonkowanych agregatów i lamin o milimetrycznych rozmiarach (pl. VI, 3, 4).

Podobnie jak w przypadku neomorfizmu agradacyjnego, proces sparmikrytyzacji może spowodować (jeśli nie doprowadził do całkowitego przeobrażenia) powstanie form nieco zbliżonych do sferolitów, to znaczy promienistych skupień wokół ziarn klastycznych (pl. VI, 2). Ponadto procesy rekrystalizacji selektywnie atakując spoiwo wapienne mogą uformować owalne skupienia mikrytowe lub sparmikrytowe, pseudopellety (pl. VI, 5, 6).

Zakres i następstwo przedstawionych procesów cementacji, wypierania składników klastycznych oraz zjawisk neomorficznych, poczynając od stadium nieskonsolidowanego osadu po stadium tworzenia się wapieni litych prezentuje figura 14.

## CEMENTACJA KOŃCOWA

W profilu horyzontu caliche występują liczne drobne żyłki i gniazda kalcytu. Dominują żyłki o przebiegu pionowym i poziomym. Grubość żyłek wynosi od kilku milimetrów do kilku centymetrów, długość do kilkunastu centymetrów. Wypełnienie ich stanowi wielokryształiczny izometryczny kalcyt sparytowy, o ostrych prostoliniowych granicach między osobnikami. Wielkość kryształów rośnie ku centrum żyłek. Analogiczny kalcyt spaja brekcję ostrokrawędzistych fragmentów szarobiałego drobnokrystalicznego wapienia w stropowej części horyzontu 5 (fig. 15).

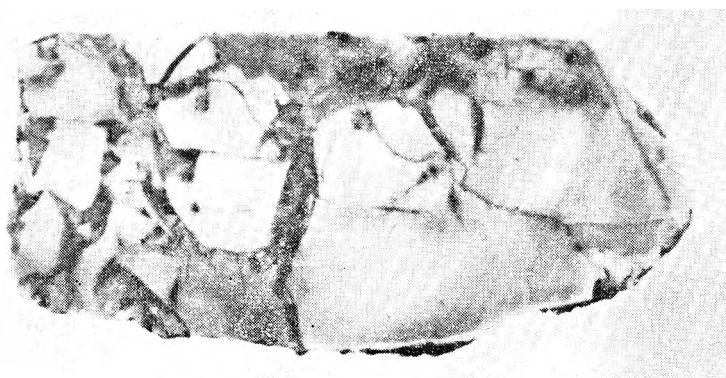


Fig. 15

Brekcja drobnokrystalicznego wapienia spojona sparytowym kalcytem; strop horyzontu nr 5, zgład, pow. 1,5  $\times$   
Brecciated fine-grained limestone cemented with sparite calcite; top of horizon no. 5, polished slab, mag. 1,5  $\times$

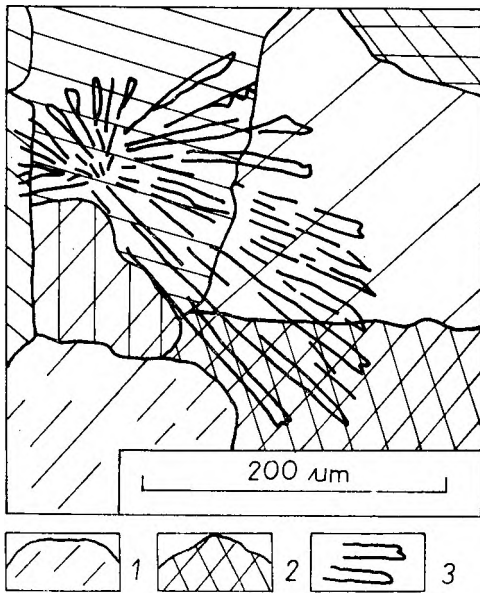


Fig. 16

Agregat pierwotnych kryształów aragonitu na brzegu szczeliny, wtórnie skalcytizowany

1 - ziarno skalenia; 2 - kryształy kalcytu, 3 - ślady pierwotnych kryształów aragonitu podkreślone cienkami żelaza

Aggregate of primary aragonite crystals at fissure margin, secondarily calcitized

1 - feldspar grain; 2 - calcite crystals; 3 - traces of primary aragonite crystals marked by iron oxides

## WARUNKI POWSTAWANIA I CZYNNIKI MODYFIKUJĄCE ROZWÓJ CALICHE

Akumulacja autogenicznego węgla wapnia w warunkach panujących w dolnym permie była rezultatem działania następujących czynników: (1) warunki klimatyczne, (2) pochodzenie węgla, (3) czas rozwoju, (4) charakter sedymentacji skały gospodarza, (5) granulometria i skład petrograficzny skały gospodarza, (6) topografia terenu, (7) pokrywa glebowa.

We współczesnych środowiskach proces powstawania caliche przebiega według następującego schematu. W porze deszczowej wody opadowe zawierające  $\text{CO}_2$  z atmosfery i gleby przenikają w głąb sedymentu rozpuszczając częściowo znajdujący się w strefie aeracji węgiel wapnia. Rozpuszczanie zachodzi tak długo, aż roztwór zostanie nasycony w danych warunkach (ilość wody, temperatura, pH wód, ciśnienie parcjalne  $\text{CO}_2$ ). W okresie suchym i gorącym roztwory podnoszone są kapilarnie ku górze. Częściowa utrata wody w wyniku ewaporacji powoduje zagęszczenie roztworów, następnie krystalizację węgla wapnia na ziarnach klastycznych i jednocześnie zmianę warunków pH środowiska. Staje się ono zasadowe, co sprzyja rozpuszczaniu krzemianów. Z całkowitym odprowadzeniem wody wiąże się gwałtowne strącanie węgla wapnia oraz odwadnianie kwasu meta-krzemowego. Powtarzające się rytmicznie okresy suszy i opadów o różnym natężeniu prowadzą do

W jednej z prób (3C1) zaobserwowano obecność skalcytizowanych, wachlarzowo ułożonych agregatów na brzegach sparytowej żyłki. Średnica wachlarzy wynosi 100 do 250  $\mu\text{m}$ , taka też jest długość budujących agregaty pręcikowych pseudomorfoz (fig. 16). Ponieważ nie zachowały się pierwotne kryształy, a tylko ich zarys podkreślony tlenkami żelaza, można jedynie przypuszczać, iż są to pseudomorfozy kalcytu po aragonicie. Charakterystyczne zakończenia pręcików, jak maźnięcia pędzlem, przypominają opisane przez Loucksa i Folka (1976) pseudomorfozy dolomitu po aragonicie, a także kalcytu po aragonicie (Folk i Assereto 1976). Zdaniem Folka (1974) występowanie aragonitu wskazuje na solankowy charakter roztworów. W późniejszej pracy Loucks i Folk (*op. cit.*) zwracają uwagę na możliwość tworzenia się aragonitu z bogatych w magnez wód słodkich. Ponieważ nie stwierdzono dotychczas żadnych innych przejawów środowisk solankowych, prawdopodobnie aragonit powstał na skutek okresowej zmiany zawartości jonów Ca i Mg w wodach szczelinowych. Kolejno krystalizujący kalcyt zastąpił kryształy aragonitu, ich zarys zachował się dzięki cienkim powłokom tlenków żelaza.

cementacji, co pociąga za sobą zmniejszenie zasięgu wnikania wód atmosferycznych i przenoszenie ku górze strefy wytrącania węglanów (Brown 1956; Reeves 1970).

Przedstawiony schemat ulega daleko idącym modyfikacjom w zależności od wpływu wymienionych wcześniej czynników.

Warunki klimatyczne. Współczesne caliche powstaje w klimatach o następujących po sobie suchych i gorących oraz wilgotnych porach roku. Roczna ilość opadów na tych obszarach wynosi 20 do 600 mm (Brown 1956; Nagtegaal 1969; Goudie 1972, 1973) i zgrupowane są one w jednej porze roku. Periodyczność ta zapewnia cementację w warunkach lądowych, gdyż możliwe są dzięki niej procesy rozpuszczania (nadmiar wód), częściowego rozpuszczania i wytrącania (fluktuacja poziomu wód) i całkowitego wytrącania (wysychanie w porze suchej). Warunki klimatyczne w górnej części dolnego permu były prawdopodobnie zbliżone do opisanych powyżej. Jest to zgodne w ogólności z poglądami Diedzica (1961), Skcêka (1974) oraz Holuba i Taslera (1978), którzy stwierdzają w górnym czerwonym spągowcu postępujące osuszanie klimatu z ekstremum w saksonie i turyngu (Holub i Tasler *op. cit.*). Autor jest zdania, że ilość opadów w porównaniu z okresem wcześniej-

szym mogła pozostać ta sama, natomiast nastąpił wzrost średnich temperatur, co doprowadziło do osuszenia klimatu.

Pochodzenie węglanu. Rozpatrywane horyzonty caliche były zasilane w węglany z dwóch źródeł. W fanglomeracie z Radkowa procentowy udział otoczków wapiennych wynosi około 30% (Dziedzic 1961). W dobrze wykształconych caliche nie ma ich, a te które występują w sąsiedztwie, noszą wyraźne ślady ługowania. Drugim źródłem węglanu były prawdopodobnie występujące nad horyzontem nr 5 osady eoliczne. Akumulowane w porze suchej lessy w porze deszczowej były rozpukiwane, a zawarte w nich węglany rozpuszczane i znoszone w głąb sedymentu. Pogląd o eolicznym pochodzeniu węglanów zawartych we współczesnych caliche jest powszechny (Brown 1956; Goudie 1973). Reeves (1970, s. 355) podaje: „Pustynne lessy są ważnym (jeśli nie dominującym) źródłem węglanu dla rozwoju szczególnie grubych profili caliche”. Obecność osadów eolicznych w saksonie i turyngu niecki śródsudeckiej została stwierdzona między innymi przez Valina (1972). Możliwość istnienia trzeciego źródła substancji węglanowej poniżej.

Czas rozwoju. W dogodnych warunkach klimatycznych i przy dostatecznych ilościach węglanów długość trwania procesu calichyfikacji określa stopień zaawansowania danego profilu, tj. wartość stosunku wapienia do skały gospodarza. W pracach Gile'a *et al.* (1965, 1966), Reevesa (1970) oraz Steela (1974) znajdują się próby podziału caliche ze względu na ten stosunek i formę wykształcenia. W pracy niniejszej autor przedstawia próbę zastosowania podziałów Reevesa i Steela do caliche z rejonu Radkowa. Wykorzystano również określenia czasu rozwoju caliche zaczerpnięte z pracy Leedera (1975). Datowania Leedera są oparte na badaniach izotopów węgla i pochodzą z różnych współczesnych stanowisk. W badanych w rejonie Radkowa horyzontach caliche wyróżniono następujące stadia rozwoju (fig. 3):

Typ I — stadium młode. Występują małe, nieregularne buły o średnicy 1 do 6 cm, nie przekraczające 10% objętości skały. Minimalny czas powstawania 1000 lat, maksymalny 4500 lat.

Typ II — stadium wczesnodojrzałe. W skale występują buły o średnicy do 10 cm, zajmujące mniej niż 50% objętości skały. Okres tworzenia 3500 do 7000 lat. Typ II stopniowo przechodzi w dół profilu do typu I.

Typ III — stadium dojrzałe. Węglan występuje w formie żył, buł i wkładek stanowiąc więcej niż 50% objętości skały. Materiał klastyczny jest dobrze widoczny. Okres tworzenia 6000 do 10 000 lat. W dół profilu przejście do typu II.

Typ IV — stadium stare. Węglan tworzy ciągle warstwy, materiał klastyczny nieliczny, rozproszony lub zebrany w gniazda. Minimalny okres tworzenia 10 000 lat.

Typ IV-a — stadium bardzo stare. Węglan występuje w ławicach laminowanych, występują brekcje, spotyka się pizolity z przejawami sylikfikacji.

Charakter sedymentacji skały gospodarza. Przyjęcie hipotezy o splywowej genezie skał macierzystych pozwala wiązać poszczególne horyzonty caliche z jednym lub kilkoma kolejnymi splywami. W takim przypadku stadium rozwoju danego horyzontu określa długość przerw między kolejnymi splywami. W badanym kompleksie, wobec coraz lepszego wykształcenia ku górze kolejnych horyzontów, przerwy między splywami rumoszowymi były coraz dłuższe.

Granulometria i skład petrograficzny skały gospodarza. Jak już wspomniano, rozwój caliche przebiega nieco inaczej w osadach drobno- i gruboziarnistych (porównaj Gile *et al.* 1966; Reeves 1970). Efekt końcowy jest jednak w obu przypadkach podobny. Powstaje ciągły horyzont wapienny, z tym że caliche rozwinięte w zlepieńcach zawiera więcej materiału klastycznego. Skład petrograficzny i chemiczny skały macierzystej decyduje między innymi o natężeniu procesów trawienia. Wietrzenie i rozkład pierwotnego osadu (szczególnie plagioklazów, biotytu i innych minerałów ciemnych) stanowi może źródło wapnia i magnezu. Na taką możliwość pochodzenia substancji węglanowej zwrócili uwagę Friend i Moody-Stuart (1970).

Topografia terenu. Horyzonty caliche dostosowują się do powierzchni gruntu. W sprzyjających warunkach klimatycznych partie położone w obniżeniach morfologicznych znajdują dogodniejsze warunki do rozwoju niż położone na wyniesieniach, wiąże się to z głębokością zalegania zwierciadła wód gruntowych. Pewne dostrzegalne różnice w stopniu rozwoju tego samego horyzontu w części centralnej i zachodniej zdają się wskazywać na tę zależność.

Pokrywa glebowa. Wpływ pokrywy glebowej i szaty roślinnej na współczesne caliche jest szczególnie duży. Po pierwsze, określa zasięg i mechanizm przenikania wód opadowych oraz reguluje warunki chemiczne, tj. zawartość CO<sub>2</sub> w roztworach i ich pH, a w pewnych warunkach stanowi również źródło substancji węglanowej (porównaj Harrison 1977). W omawianych utworach nie stwierdzono dotychczas typowych gleb kopalnych. Przypuszczalnie bardzo uboga roślinność tego okresu mogła co najwyżej wpływać modyfikująco na niektóre parametry chemiczne środowiska.

*Podziękowanie.* Autor składa serdeczne podziękowania Panu docentowi Tomaszowi Jerzykiewiczowi za inspirację i życzliwość

pomoc w przeprowadzeniu badań. Pani docent Aleksandrze Kosteckiej wyraża wdzięczność za konsultacje terminologiczne. Wyrazy podziękowania za liczne dyskusje i uwagi należą się

doktorowi Tadeuszowi Perytowi i magistrowi Wojciechowi Nemecewi. Za przygotowanie fotografii dziękuję magistrowi Jerzemu Stachowiakowi.

## LITERATURA

- ALLEN J. R. L., 1960: Cornstone. *Geol. Mag.*, vol. 97, no. 1, p. 43–48.
- 1962: Petrology, Origine and Deposition of the Highest Lower Old Red Sandstone of Shropshire, England. *J. Sed. Petrol.*, vol. 32, no. 5, p. 657–697.
- 1974: Geomorphology and Sub-surface Structure of Siluro-Devonian Aluvial Plains Shown by Pedogenic Carbonates. *Nature*, vol. 249.
- AMSBURY D. L., 1967: Caliche Soil Profiles in Lower Cretaceous Rocks of Central Texas (abs.). *Geol. Soc. America Arcn. Program, Spec. Paper*, vol. 15, p. 4–5.
- ARISTARAIN L. F., 1970: Chemical Analysis of Caliche Profiles from High Plains, New Mexico. *J. Geol.*, vol. 78, no. 2, p. 201–212.
- BATHURST R. G. C., 1966: Boring Algae, Micrite Envelopes and Lithication of Molluscan Biosparites. *Geol. J.*, vol. 5, no. 1, p. 15–32.
- 1971: Carbonate Sediments and their Diagenesis, "Developments in Sedimentology", vol. 12, Elsevier, Amsterdam – London–New York, p. 620.
- BLANK H. R., TYNES E. W., 1965: Formation of Caliche in situ. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 76, p. 1387–1392.
- BRETZ J. H., HORBERG L., 1949: Caliche in Southeastern New Mexico. *J. Geol.*, vol. 57, p. 491–511.
- BROWN C. H., 1956: The Origin of Caliche in the Northwestern Llano Estacado, Texas. *J. Geol.*, vol. 64, no. 1, p. 1–15.
- BURGESS J. C., 1961: Fossil Soils of the Upper Old Red Sandstone of South Ayrshire. *Geol. Soc. Glasgow, Trans.*, vol. 24, no. 2, p. 138–153.
- CHILLINGAR G. V., BISSELL H. J., WOLF K. H., 1967: Diagenesis of Carbonate Rocks. [in:] *Diagenesis in Sediments*. G. Larsen, G. V. Chillingar (eds.), "Developments in Sedimentology", vol. 8, Elsevier, Amsterdam–London–New York, p. 179–323.
- DATHE E., 1904: Erläuterungen zur geol. Karte Blatt Wünschelburg. Kgl. preuss. geol. L. A.
- DON J., 1961: Utwory młodopaleozoiczne okolic Nowej Rudy. *Zesz. Nauk. Univ. Wrocław., Nauki Przyrod.*, ser. B, nr 6, Nauka o Ziemi 3.
- DZIEDZIC K., 1961: Utwory dolnopermskie w niecce śród-sudeckiej. Lower Permian of the Intra Sudetic Basin. *Studia Geol. Pol.*, vol. 6, p. 1–121.
- ESTEBAN M., 1972: Presencia de caliche fosil en la base del Eoceno de los Catalanides, provincias de Tarragona y Barcelona. *Acta Geol. Hisp.*, VII, 6, p. 164–168.
- 1974: Caliche Textures and Microcodium. *Soc. Geol. Italiana Boll.*, (supp.), vol. 92, p. 105–125.
- 1976: Vadose Pisolites and Caliche. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, vol. 60, no. 11, p. 2048–2057.
- FOLK R. L., 1965: Some Aspects of Recrystallization in Ancient Limestones. [in:] *Dolomitization and Limestone Diagenesis*, L. C. Pray, R. C. Murray (eds.), *Soc. Econ. Pal. Miner. Spec. Publ.*, vol. 13, p. 14–48.
- 1974: The Natural History of Crystalline Calcium Carbonate: Effect of Magnesium Content and Salinity. *J. Sed. Petrol.*, vol. 44, no. 1, p. 40–53.
- FOLK R. L., ASSERETO R., 1976: Comparative Fabrics of Lengt-slow and Length-fast Calcite and Calcitized Aragonite in Holocene Speleothem, Carlsbad Caverns, New Mexico. *J. Sed. Petrol.*, vol. 46, no. 3, p. 486–496.
- FREYTET P., 1973: Petrography and Paleo-environment of Continental Carbonate Deposits with Particular Reference to the Upper Cretaceous and Lower Eocene of Languedoc (Southern France). *Sed. Geol.*, vol. 10, no. 1, p. 25–60.
- FRIEND P. F., MOODY-STUART M., 1970: Carbonate Deposition on the Flood Plains of the Wood Bay Formation (Devonian) of Spitsbergen. *Geol. Mag.*, vol. 107, no. 3, p. 181–195.
- GILE L. H., PETERSON F. F., GROSSMAN R. G., 1965: The K-horizon: a Master Soil Horizon of Carbonate Accumulation. *Soil Sci.*, vol. 99, no. 2, p. 74–82.
- 1966: Morphological and Genetic Sequences of Carbonate Accumulation in Desert Soil. *Soil Sci.*, vol. 101, no. 5, p. 347–360.
- GOUDIE A., 1972: A Chemistry of World Calcrete Deposits. *J. Geol.*, vol. 80, no. 4, p. 449–463.
- 1973: The Geomorphic and Resource Significance of Calcrete. *Progress in Geography*, vol. 5, p. 79–118.
- GRADZIŃSKI R., 1963: Sedymentacja wapieni słodkowodnych w okolicach Krakowa. *Sprawoz. Posiedz. Kom. Oddz. PAN w Krakowie*, styczeń–czerwiec 1963, p. 292–293.
- HARRISON R. S., 1977: Caliche Profiles: Indicators of Near-surface Subaerial Diagenesis, Barbados, West Indies. *Bull. Canad. Petrol. Geol.*, vol. 25, no. 1, p. 123–173.
- HOLUB V., TASLER R., 1978: Filling of the Late Palaeozoic Continental Basins in the Bohemian Massif as a Record of Their Palaeogeographical Development. *Geol. Rdsch.*, B. 67, H. 1, p. 91–109.
- JAMES N. P., 1972: Holocene and Pleistocene Calcareous Crust (Caliche) Profiles: Criteria for Subaerial. *J. Sed. Petrol.*, vol. 42, no. 4, p. 817–836.
- KAHLE C. F., 1977: Origine of Subaerial Holocene Calcareous Crusts: Role of Algae Fungi and Sparmicritization. *Sedimentology*, vol. 24, no. 3, p. 413–436.
- LEEDER M. R., 1975: Pedogenic Carbonates and Flood Sediment Accretion Rates: a Quantitative Model for Alluvial Arid-zone Lithofacies. *Geol. Mag.*, vol. 112, no. 3, p. 257–270.
- LORENC St., MROCZKOWSKI J., 1978: The Sedimentation and Petrography of Zechstein and Lowermost Triassic Deposits in the Vicinity of Kochanów (Intra-Sudetic Trough). *Geol. Sudetica*, vol. 13, nr 2, p. 23–38.
- LOUCKS R. G., FOLK R. L., 1976: Fanlike Rays of Former Aragonite in Permian Capitan Reef Pisolite. *J. Sed. Petrol.*, vol. 46, no. 3, p. 483–485.
- NAGTEGAAL P. J. C., 1969: Microtextures in Recent and Fossil Caliche. *Leidse Geol. Med.*, vol. 42, p. 131–142.
- PICK M. C., 1964: The Stratigraphy and Sedimentary Features of the Old Sandstone, Portshhead Coastal Section, North-east Somerset. *Geologists Assoc. Proc.*, vol. 75, p. 199–221.
- PURDY E. G., 1968: Carbonate Diagenesis: an Environmental Survey. *Geol. Rom.*, vol. 7, p. 183–228.
- PURSER B. H., 1969: Syn-sedimentary Marine Lithification of Middle Jurassic Limestone in the Paris Basin. *Sedimentology*, vol. 12, p. 205–230.

- REEVES C. C., Jr., 1970: Origine, Classification and Geologic History of Caliche on the Southern High Plains, Texas and Eastern New Mexico. *J. Geol.*, vol. 78, no. 3, p. 352–362.
- RÖPER H. P., ROTHE P., 1975: Petrology of a Fossil Duricrust: the “Kar neodolomit-Horizont”, Permian, SW-Germany. IX-th Internat. Cong. Sedimentology, Nice, 1975.
- RUHE R. V., 1967: Geomorphic Surfaces and Surficial Deposits in Southern New Mexico. State Bureau of Mines and Mineral Resources, *New Mexico Institute of Mining and Technology Mem.*, vol. 18, p. 1–66.
- SKOČEK V., 1974: Climate and Diastrophism, the Principal Factors Controlling Late Paleozoic Sedimentation in Central Bohemia. *Cas. Mineral. geol.*, vol. 19, no. 1, p. 27–45.
- [SOCZAWA A. V.,] 1975: СОЧАВА А. В., Стратиграфия мезозойских отложений Монголии. Наука, Ленинград.
- [SOCZAWA A. V., SAWIELJEW A. A., SZULESZKO J. K.,] 1975: СОЧАВА А. В., САВЕЛЬЕВ А. А., ШУЛЕШКО И. К., Каличе в среднепротерозойских отложениях центральной Карелии. Carbonate Crust in the Middle Proterozoic Deposits in Central Karelia. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, vol. 223, no. 6, p. 1451–1454.
- STEEL R. J., 1974: Cornstone (Fossil Caliche) — its Origine, Stratigraphic and Sedimentological Importance in the New Red Sandstone, Western Scotland. *J. Geol.*, vol. 82, no. 3, p. 351–369.
- SWINEFORD A., LEONARD A. B., FRYE J. C., 1958: Petrology of the Pliocene Limestone in the Great Plains. *State Geol. Survey Kansas Bull.*, vol. 130, p. 98–116.
- VALIN F., 1972: New Evidence of Eolian Desert Sedimentation in the Northeast Bohemia. *Věst. Ústř. Úst. Geol.*, vol. 47, p. 141–146.
- WALKER R. G., 1975: Conglomerate: Sedimentary Structures and Facies Models. [in:] *Depositional Environments as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratification Sequences*, SEPM Short Course No. 2, Dallas, p. 133–161.

Wojciech ŚLIWIŃSKI\*

## A MODEL FOR CALICHE FORMATION IN THE CONTINENTAL PERMIAN DEPOSITS OF SOUTHWESTERN INTRA-SUDETIC BASIN, SOUTHWESTERN POLAND

**ABSTRACT:** A number of caliche horizons (0.5–4 m thick) in the conglomeratic Permian red-bed sequence is described. The individual caliche horizons are typified by a vertical variability in their features, among them being an upward increase in carbonate content and a changing mode of their structural/textural attributes. The calichification process in sediment was accompanied by the diminution of detrital silicates and quartz and also by rock silicification.

The caliche horizons appear useful for studies of aggradational/degradational neomorphism phenomena within the carbonate cement. The specified model of caliche development considers a number of various controlling agencies, among which the most important factors are: the climatic circumstances, the source for carbonates, and the lifetime of calichification processes.

### Summary

### INTRODUCTION

The term "caliche" is widely referred in the literature to fine-grained, brittle to indurated (concrete-like) carbonate bodies, which vary vertically in their properties and which are developed authigenically as soil within, and/or at the top of, the existing sediment, soil or even consolidated rock. The process of calichification takes place within the vadose zone in warm climatic settings, under conditions of limited moisture (Bretz, Horberg 1949; Brown 1956; Swineford *et al.* 1958; Blank, Tynes 1965; Gile *et al.* 1965, 1966; Aristarain 1970; Reeves 1970; Goudie 1972, 1973; Esteban 1976).

The well-known occurrences of fossil caliche horizons, representing specific effects of carbonatic cementation in non-carbonate clastic sediment, are those described by various

authors from the Old Red Sandstone of North Wales and New Red Sandstone of Scotland (Allen 1960, 1962, 1974; Burgess 1961; Pick 1964; Steel 1974). Similar occurrences of carbonate horizons were also reported from the south-central Spanish Pyrenees (Nagtegaal 1969), from the Lower Cretaceous of Texas (Amsbury 1967), from the Upper Cretaceous of Mongolia (Sochava 1975), and from the Eocene of Languedoc (Freynet 1973) and Tarragona (Esteban 1972, 1974).

In the area of Poland the caliche deposits have not been recognized so far at any level of the stratigraphic column, though some loose suggestions concerning the origin of carbonate cement in the rock horizons discussed herein are found in the paper by Dziedzic (1961).

### GEOLOGICAL SETTING

The sedimentary infill of the Intra-Sudetic Basin, Central Sudetes Mts, spans the stratigraphic interval from Lower Carboniferous to Lower Triassic, and includes also a cover of Upper Cretaceous marine clastics. The continental Lower Permian succession is predominantly composed of red-coloured conglomerates, pebbly sandstones, sandstones and mudstones. The Early Permian stage of the Intra-Sudetic Basin creation and filling was also accompanied by an episode of strong volcanic activity, corresponding in age to the end of middle Early Permian (Dziedzic 1961; fig. 2). The uppermost segment of the Lower Permian red-bed succession is represented by a few-hundred metres thick conglomeratic unit, which was informally referred to as "Radków fanglomerate" by Dziedzic (1961; fig. 1) and which has been recently renamed as "Wambierzyce

Member" by Nemeč (in prep.) in his formalized lithostratigraphic division (fig. 2).

In the vicinity of Radków, within the topmost portion of the afore-said conglomeratic unit, some 2 to 6 horizons were recognized which are manifestly enriched in calcium carbonate. These horizons are more or less regular in their appearance and are also laterally more or less continuous. From the standpoint of their variable clastic-material content and their grain-size composition, these horizons lithologically correspond to calcareous conglomerates, calcareous pebbly sandstones and sandstones, and carbonates. The present study is primarily concerned with the mode of origin of these calcareous/carbonatic deposits.

Because of the lack of fossils, the stratigraphic position

\* Institute of Geological Sciences, University of Wrocław, ul. Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław, Poland.



of these rocks remains uncertain and has been the subject of some controversy among the previous authors. Dathe (1904) included these deposits into the uppermost Rotliegendes (Lower Permian) succession in his detailed geological map, while more recently Dziedzic (1961) considered them as belonging to the Upper Permian (probably through the assumed analogy between these rocks and the Upper Permian, i.e. Zechstein, marine carbonates, which are extensively developed in many adjacent areas of SW Poland). In the opinion of the present author the age of these deposits, which are recognized here as representing fossil caliche horizons, is most likely to be Early Permian; that is because the presence of caliches is known to be suggestive only of certain climatic changes and should not be used as direct stratigraphic criterion.

The thickness of individual caliche horizons varies from 0.5 up to 4 m. They are separated by pebbly sandstones or, less commonly, by sandstones and conglomerates (fig. 3). The total thickness of this caliche-bearing succession attains 15 m.

Within the individual caliche horizons a general upward increase in the carbonate content is observed. In the lower portion of caliche horizon the carbonate is always present as moderately abundant rock cement. Farther up isolated nodular forms (few centimetres in diameter) appear and these grade upwards, by growing in size and joining one other, into irregular-shaped lenticular carbonate bodies. However, only a fraction of the studied horizons contains dense and uniformly developed

carbonate tops or cappings. The boundaries between the clastic host-rock and the carbonate are always obscure, since the detrital material is dispersed and/or forms irregular patches within the extensive carbonate background. In well-developed horizons the afore-said vertical changes in the carbonate content and in its mode of occurrence are also usually accompanied by a respective upward change of rock colouration from brownish-red to pinkish-white.

In the Radków fanglomerate unit, a lateral eastward increase in the grain-size of clastic material is observed and this particular textural trend is also well reflected by the changing morphology and thickness of the carbonate horizons (fig. 3).

Within the coarse-grained clastics the carbonate substance is noted to be manifestly concentrated directly below flat-lying pebbles and/or siltstone interbeds (fig. 5). As far as the author is aware, there are no previous records in the literature of such the mode of carbonate concentration in ancient carbonate-bearing clastic sequences.

Pebbles and angular clasts of crystalline limestone, which are fairly common in the conglomeratic sequence considered, show commonly traces of extensive *in-situ* dissolution (fig. 6). Lenses of laminated limestones with stylolites were also locally found (fig. 7). In the western part of study area, above the most completely developed carbonate horizon no. 5 (figs. 3 and 8), a unit of very well-sorted (fig. 9) and wavy-laminated deposit is present which may possibly represent a layer of fossil desert-silt or loess.

## CEMENTATION

In the deposits considered, the initial stage of their cementation resulted in formation of packets of sharply-bounded calcite crystals which precipitated on surfaces of detrital grains and which closely resemble the microstalactitic druse described by Purser (1969). Taking into account the mode of origin of this sort of cement, the evidenced occurrences of carbonate crystals on various grain-surfaces indicate that the framework grains of primary clastic deposit have most probably undergone some rotation during this early stage of sediment cementation (fig. 10).

In the next stage of cementation carbonate rims around the detrital grains were produced. Crystals, which form these rims, are developed as radiaxial fibrous mosaic (fig. 12; see also Bathurst 1971). The rims of such radiaxial fibrous mosaic are usually composed of a single layer, though two or three layers may also be locally developed and in such instances they are separated by subtle drapes of iron oxides (pl. I, 2; pl. II, 1). Around a given detrital grain the carbonate rim is, as a rule, asymmetric and non-uniformly distributed; in vertical section the rim is significantly thicker at both lower and upper grain's surface than along the remaining sides of the grain (pl. I, 3-6). This specific mode of carbonate-rim development is thought to be a result of the lateral condensation of flow-lines of vertically percolating fluids at the margins of clastic grains in sediment (fig. 11).

The crystallization of calcite around detrital grains brought about the general looseness of grain framework and also increasingly changed the distance between adjacent fine detrital grains; the observed "sunflower-like" textures (pl. I, 2; pl. II, 2) are thought to be a result of this phenomenon.

In the vertical section of caliche horizon a sort of zonal distribution of the carbonate rims in sediment was noted (fig. 8).

This fact is inferred to be an effect of grain-diminution process (Chillingar *et al.* 1967), a phenomenon typical to circumstances of low pressures and low temperatures.

The postulated scheme of all above-mentioned alterations is presented in figure 12.

The processes of carbonate cementation and diagenetic alteration lead to partial reduction or total replacement of the primary detrital components in sediment. This reduction/replacement phenomenon was brought about through: (a) corrosion of grain margins; (b) extensive etching of entire grain; and (c) a combination of these latter two processes. According to their increasing order of persistence to etching, the detrital constituents of sediment are as follow: biotite, plagioclases, alkaline feldspars, and quartz (pl. II, 2-6; pl. III, 2-4). This probably explains the predominance of detrital quartz, when compared to the amount of other detrital components, in the upper portions of the caliche horizons.

The replacement of detrital grains may be complete (pl. IV, 1-2), but usually some relics of original grains are still found preserved in such instances (pl. II, 3-4; pl. III, 1 and 5-6). The replacement of detrital silicates in sediment was accompanied by precipitation of thin iron-oxide halos (pl. III, 1 and 6; pl. IV, 3-4) and formation of chalcedony concretions.

The *in-situ* fragmentation and etching (or corrosion) of detrital grains lead to an effective reduction of the detrital matter in primary sediment, and this has both qualitative (grain-size) and quantitative (amount) sense. This fact is well evidenced by the results of grain-size analyses (fig. 9). It seems rather unlikely here that the conglomeratic deposits under consideration exhibited originally such sort of textural/compositional differentiation in their vertical sections; these coarse-grained clastics show many features indicating mass-flow depo-

sition and they are thought therefore to be a product of debris-flows (as inferred from the appropriate criteria postulated by Walker 1975).

The observed lateral variation in the mode of carbonate cementation, together with the areally variable rate of rock

silicification, all seem to suggest that the solutions in sediment percolated not only vertically, but also in the direction which corresponded to the general gradient of depositional slope (fig. 13).

#### DIAGENETIC MODIFICATIONS OF CARBONATE CEMENT

In the lower portion of caliche horizon the processes of cementation came to their end earlier than in its upper portion, respectively, and in this manner the processes migrated successively upwards. Thus, the carbonates at lower level of horizon were touched by neomorphic alterations first, and in the course of cementation progressively higher levels of the caliche horizon were subjected to chemical attack. This is evidenced by a number of facts revealed through detailed examination of the vertical sections of caliche horizons. These facts and the observed vertical variation (gradual change) in caliche structures make also primary basis for the genetic considerations summarized below.

Aggradational neomorphism lead to formation of calcite pseudosparite and syntaxial rim calcite. The former of the two originated at the expense of micrite and radial calcite, while the latter resulted from alteration of calcite which replaced detrital grains in sediment (pl. V, 1–2).

The occurrences of microsparite and granular pseudosparite are typified by variable crystal size, curvilinear non-sharp boundaries between individual crystals (pl. IV, 6; pl. VI, 3–6) and indistinct microsparite/pseudosparite contacts, which contain also some relics of microsparite preserved in granular pseudosparite (pl. IV, 6). The irregular, amoeba-like outgrowth of syntaxial rim calcite are seen protruding into the outer mosaic of micrite and/or pseudosparite (pl. V, 3). According to Chillingar *et al.* (1967), such irregularity of forms supports the neomorphic origin of syntaxial calcite. The alterations described above are known to occur within the calcareous crusts developing in limestones (James 1972; Kahle 1977; Harrison 1977).

Degradational neomorphic processes are described in literature under a number of different terms, among them being "micritization" (Bathurst 1966), "recrystallization to cryptocrystalline carbonate" (Purdy 1968) and "sparmicritization" (Kahle 1977). The effects of sparmicritization processes were recognized within the caliche horizons present in the vicinity of Radków. It is thought here by the author that the general disappearance of sparite, granular pseudosparite and radial calcite observed at the top of caliche horizons (pl. V, 4–6; pl. VI, 2) is partly an effect of sparmicritization. In its grain shape and size the sparmicrite corresponds to micritic crystalites, though it exhibits lighter colouration (pale yellow) when compared to the brownish-yellow colour of micrite. Moreover, in contrast to sparmicrite, micrite is present as dense aggregates the size of which is of the order of millimetre (pl. VI, 3–4).

The processes of aggradational/degradational neomorphism lead, in certain instances, to the origin of spherulites-like forms (pl. IV, 2) and small oval-shaped aggregates of cryptocrystalline calcium carbonate, known as pseudopellets (pl. VI, 5–6).

The inferred extent and chronological succession of the processes of cementation, detrital matter alteration and neomorphism are all schematically shown in fig. 14.

Final cementation in sediment resulted in filling of fissures and lithification of brecciated fine-crystalline limestone (fig. 15). In one of such calcite veins examined, some fan-shaped aggregates of calcite were noticed and these most probably represent calcite pseudomorphoses after aragonite (fig. 16). Similar forms were described by Loucks and Folk (1976) and also by Folk and Assereto (1976).

#### INTERPRETATION OF THE ORIGIN OF CARBONATE HORIZONS AND CONSIDERATION OF FACTORS MODIFYING THEIR DEVELOPMENT

The results of the author's study, briefly reviewed above, clearly indicate a vadose-pedogenic nature of the carbonate cementation discussed and point also into a fairly close analogy to both recent and ancient caliches.

Vertical variability of carbonate layer, the feature widely accepted as diagnostic to caliche (Steel 1974; Sochava 1975; Esteban 1976), is recognized as typical to the carbonate horizons investigated by the author in the vicinity of Radków. There are also many other features of these horizons which are widely attributed in literature to caliche deposits. The recognized increase in the looseness of detrital-grain framework and the replacement of detrital silicates were reported from both recent (Brown 1956; Gile *et al.* 1965, 1966) and ancient (Nagtegaal 1969; Sochava 1975) caliches. Also the processes of silicification are known as characteristic attribute of mature caliches (Reeves 1970; Steel 1974, Röper, Rothe 1975).

Accordingly to the categories proposed by Reeves (1970) and Steel (1974), the following five types of caliche were recognized as present within the investigated Permian horizons (fig. 3):

- type I — immature young-stage caliche;
- type II — slightly mature young-stage caliche;

- type III — mature intermediate-stage caliche;
- type IV — mature old-stage caliche;
- type IVa — highly mature very old-stage caliche.

The caliche deposits were categorized according to their gross form of carbonate and the approximate proportion of the clastic host-rock still recognizable. At this point it is also noteworthy, that Leeder (1975), on the basis of modern caliche studies, assigned a particular length of time of formation to each of the above listed caliche categories.

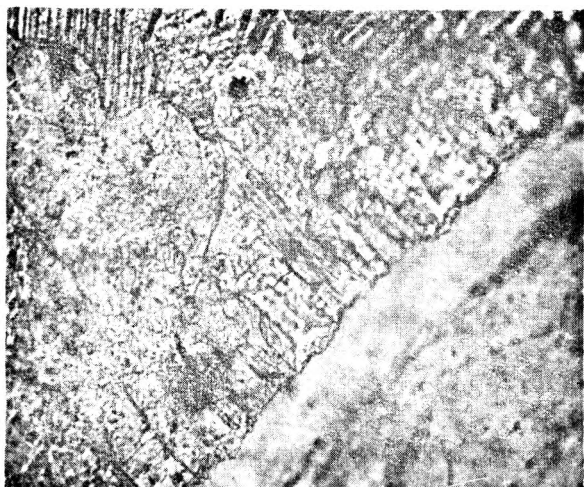
It is thought by the author that the authigenic accumulation of calcium carbonate and the formation of caliche horizons within the Permian clastic sequence was primarily due to the interaction of the following important factors: (1) climatic circumstances; (2) derivation of carbonate substance and nature of its source; (3) time-span of carbonate accumulation; (4) depositional mode of clastic host rock; (5) grain-size and petrographic compositions of host rock; (6) surfacial morphological features of the region; and (7) presence of soil cover. The former three factors controlled the formation of caliche itself, while the remaining four factors mostly modified caliche development and controlled the thickness of caliche horizons.

*Translated by W. Nemeč*

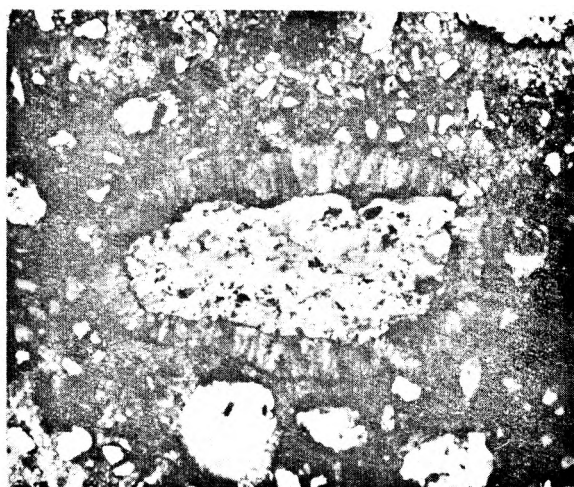
## PLANSZA I

### PLATE I

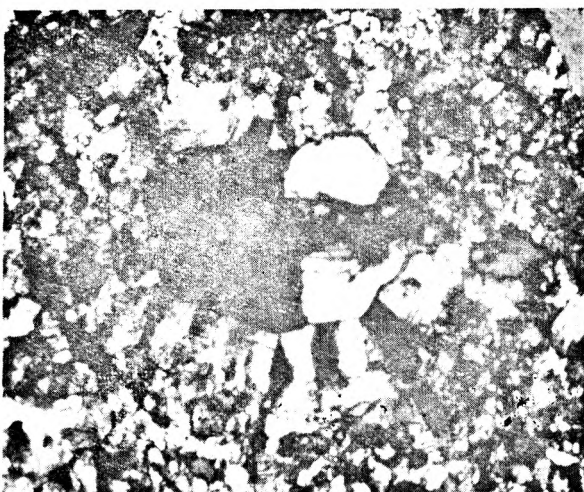
1. Kalcyt mikroalaktytowy; dłuższe osie kryształów skierowane prostopadle do powierzchni ziarn kwarcu. Próba 1K3, pojedynczy nikol, pow. 250 ×  
Microstalactitic calcite; longer axes of crystals oriented perpendicularly to quartz grain surface. Sample no. 1K3, one nicol, magn. 250 ×
2. Ziarno z symetryczną, jednowarstwową otoczką kalcytu radiaksjalnego. Wokół otoczki cienka powłoka tlenków żelaza. Próba 1K3, nikole częściowo skrzyżowane, pow. 20 ×  
Detrital grain with symmetrically developed single-layer rim consisting of radiaxial calcite; note the iron-oxides halo surrounding the rim. Sample no. 1K3, nicoles partly crossed, magn. 20 ×
3. Korodowane ziarno kwarcu z asymetryczną otoczką kalcytu radiaksjalnego. Próba 1K3, nikole skrzyżowane, pow. 30 ×  
Corroded quartz grain with asymmetrically developed rim of radiaxial calcite. Sample no. 1K3, crossed nicoles, magn. 30 ×
4. Ziarno klastyczne z asymetrycznymi otoczkami; w lewej górnej części ślady trójwarstwowej otoczki rozdzielonej powłokami tlenków żelaza. Próba 1K6, odbitka acetonowa, pow. 25 ×  
Detrital grain with asymmetrical carbonate rims; note the traces of three-layer rim separated by subtle drapes of iron-oxides (upper left). Sample no. 1K6, acetonian peel, magn. 25 ×
5. Ziarno z otoczką na dolnej powierzchni. Próba 1K4, odbitka acetonowa, pow. 60 ×  
Detrital grain with carbonate rim developed at its lower surface. Sample no. 1K4, acetonian peel, magn. 60 ×
6. Ziarna klastyczne „pływające” w spoiwie wapiennym; szkielet ziarnowy rozluźniony, brak kontaktów między ziarnami. Otoczki rozwinięte asymetrycznie i niekompletne. Próba 3K4, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Detrital grains “floating” in carbonate cement; note the “loosen” detrital grain framework in rock, with the individual grains lacking contacts. Carbonate rims are asymmetrically developed and incomplete. Sample no. 3K4, acetonian peel, magn. 16 ×



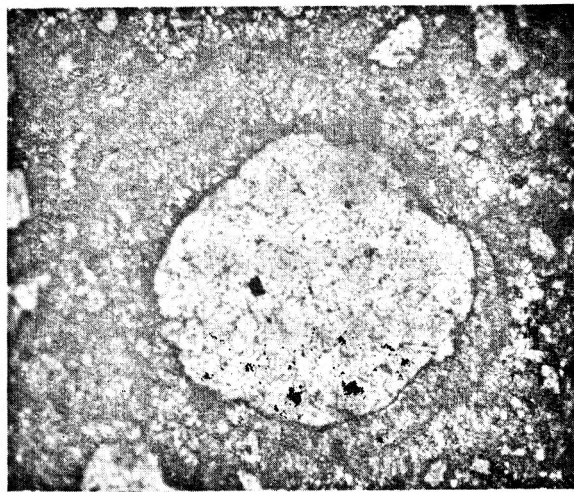
1



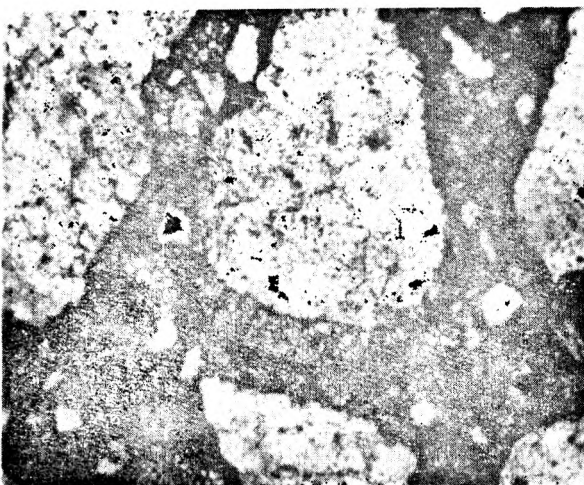
2



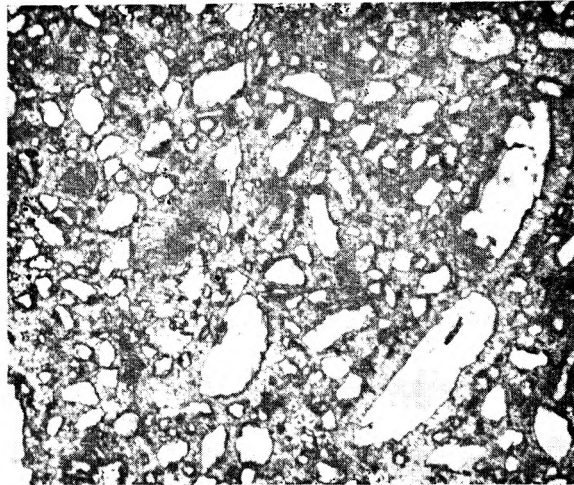
3



4



5



6

Wojciech ŚLIWIŃSKI — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej

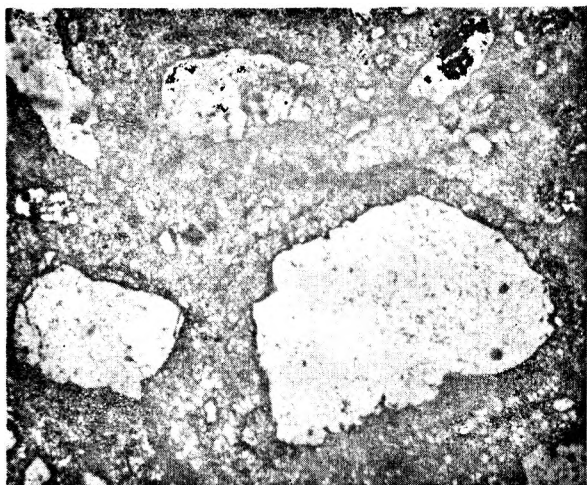
A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland

## PLANSZA II

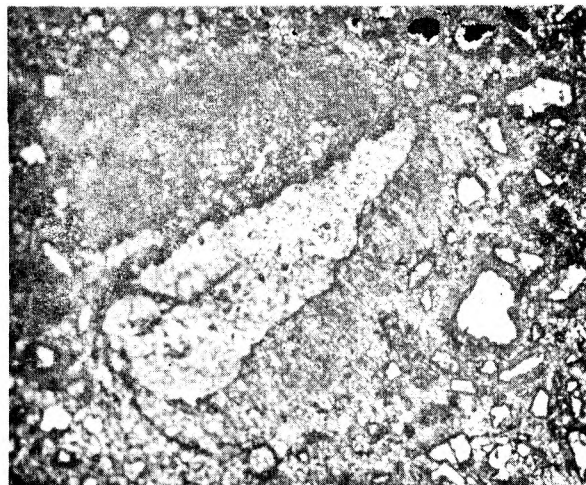
### PLATE II

1. Grupa ziarn klastycznych rozsuniętych w wyniku krystalizacji otoczek. Budowa wewnętrzna zatarta na skutek rekrytalizacji kalcytu radiaksjalnego. Próba 1K6, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
A cluster of detrital grains, with individual grains being displaced relative to one other in effect of carbonate-rims development. Internal structure is obscure due to recrystallization of radiaxial calcite. Sample no. 1K6, acetonian peel, magn. 16 ×
2. Skorodowane ziarno klastyczne, w górnej połowce całkowicie zastąpione węglanem i agregatami tlenków żelaza, od dołu niekompletna otoczka; widoczny efekt odpychania drobnych ziarn — struktura słonecznikowa. Próba 1K6/9, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Corroded detrital grain with completely altered upper half (replacement by calcite and iron-oxide aggregates) and with an incomplete carbonate rim at lower surface; note the effect of fine detrital grains displacement in relation to one other (the “sunflower” structure). Sample no. 1K6/9, acetonian peel, magn. 16 ×
3. Pierwotne ziarno skaleniowe zastąpione prawie w całości węglanem wapnia i pozostającymi na miejscu tlenkami żelaza. Próba 1C2, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Primary detrital feldspar-grain almost totally replaced by calcium carbonate, with the released iron-oxide pigment still preserved in place. Sample no. 1C2, acetonian peel, magn. 16 ×
4. Ziarno zastąpione kalcytem sparytowym oraz zwartymi agregatami tlenków żelaza. Pierwotnie w skład ziarna wchodziły minerały bogate w żelazo. Próba 3C2, odbitka acetonowa, pow. 40 ×  
Detrital grain replaced by sparry calcite and dense aggregates of iron-oxides. The sediment originally contained iron-rich detrital minerals. Sample no. 3C2, acetonian peel, magn. 40 ×
5. Fragment dużego ziarna skaleniowego wypierany przez węglan wapnia. Próba 3K4, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Alteration of fragment of large detrital feldspar by calcium carbonate. Sample 3K4, acetonian peel, magn. 16 ×
6. Ziarno skaleniowe wypierane przez kalcyt; na dolnej i górnej powierzchni zachowane w sposób szczątkowy otoczki. Próba 1K4, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Alteration of detrital feldspar-grain by calcite; note the remnants of carbonate rims preserved at both lower and upper grain’s surfaces. Sample no. 1K4, acetonian peel, magn. 16 ×

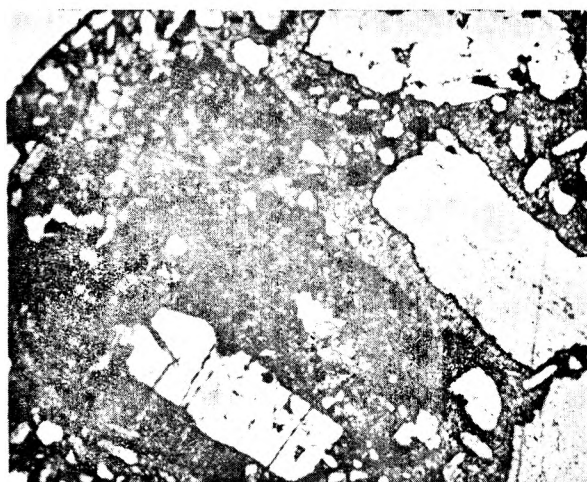




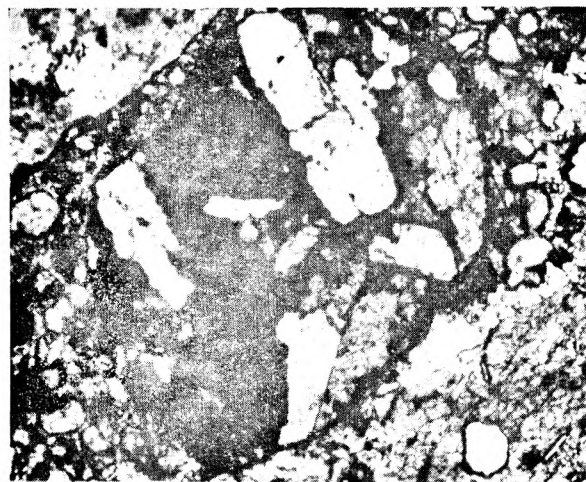
1



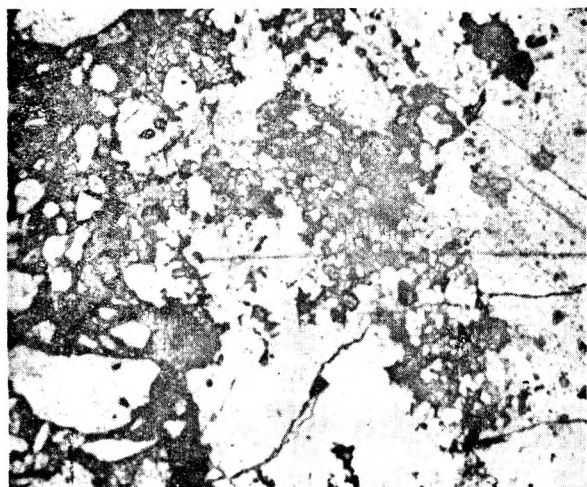
2



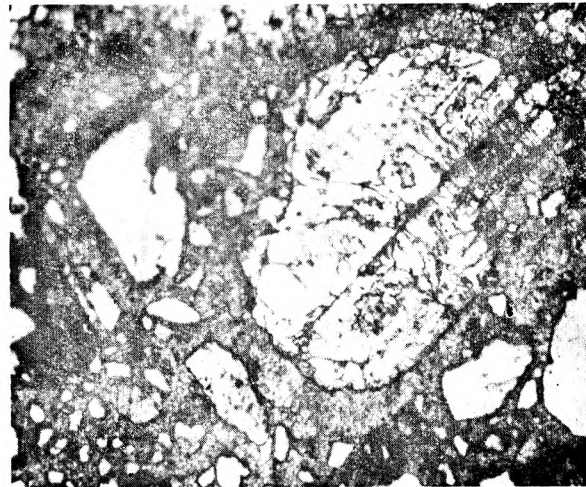
3



4



5



6

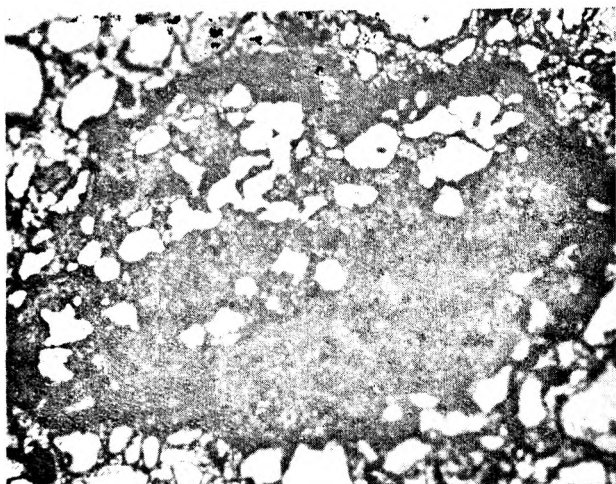
Wojciech ŚLIWIŃSKI — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej

A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland

### PLANSZA III

#### PLATE III

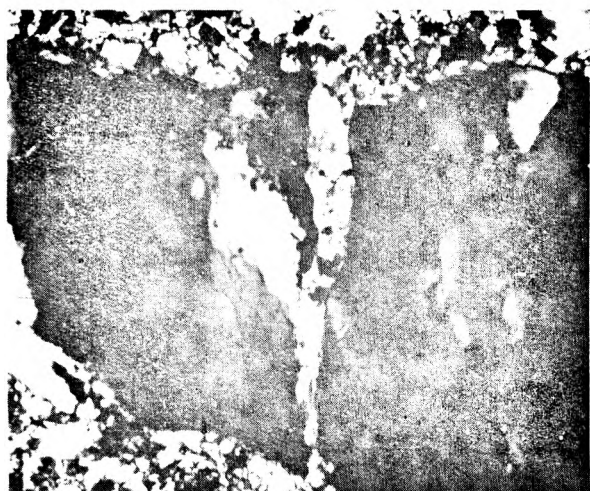
1. Ziarno klastyczne wyparte przez drobnokrystaliczny węglan wapnia. Pierwotny składnik jest zachowany w formie „robaczkowych” reliktyw. Wokół pierwotnego zarysu ziarna zachowane nieregularne powłoki tlenków żelaza. Próba 3C1, odbitka acetonowa, pow. 40 ×  
Detrital grain replaced by fine-crystalline calcium carbonate. Note the primary component preserved as “worm-like” relicts. The original grain shape is still visible due to the occurrence of irregular iron-oxide drapes. Sample no. 3C1, acetonian peel, magn. 40 ×
2. Ziarno skaleniowe zatokowo korodowane przez węglan wapnia. Próba 1K4, odbitka acetonowa, pow. 40 ×  
Detrital feldspar corroded by calcium carbonate. Sample no. 1K4, acetonian peel, magn. 40 ×
3. Duży otoczek kwarcowy rozsadzany przez krystalizujący w spękaniu sparytowy kalcyt. Próba 1C2/13, nikole skrzyżowane, pow. 16 ×  
Large quartz pebble broken-up due to crystallization of sparry calcite. Sample no. 1C2/13, crossed nicols, magn. 16 ×
4. Grupa ziarn klastycznych, spękanych, rozsuniętych i wypieranych przez krystalizujący węglan wapnia. Kalcyt budujący otoczki jest w znacznym stopniu przeobrażony. Próba 1K6/7, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
A cluster of detrital grains which are shrinkaged, displaced relative to one other and replaced by crystallizing calcium carbonate. Calcite in rims is largely altered. Sample no. 1K6/7, acetonian peel, magn. 16 ×
5. Pozostałość po pierwotnym ziarnie skaleniowo-muskowitowym; dobrze zachowane łuseczki muskowitu ułożone zgodnie z teksturą wyznaczają zarys ziarn. Próba 3K4, pojedynczy nikol, pow. 50 ×  
A remnant of primary feldspar-muscovite grain; note the well-preserved muscovite flakes, reflecting original rock-fabric through their arrangement and marking the primary grain shape. Sample no. 3K4, one nicol, magn. 50 ×
6. Pierwotne ziarno klastyczne zastąpione kalcytem sparytowym; wewnątrz drobne relikty pierwotnego składnika, ziarno obwiedzione cienką powłoką tlenków żelaza. Próba 3C1, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Primary detrital grain replaced by sparry calcite; note the small relicts of primary component and the iron-oxide drape surrounding the grain. Sample no. 3C1, acetonian peel, magn. 16 ×



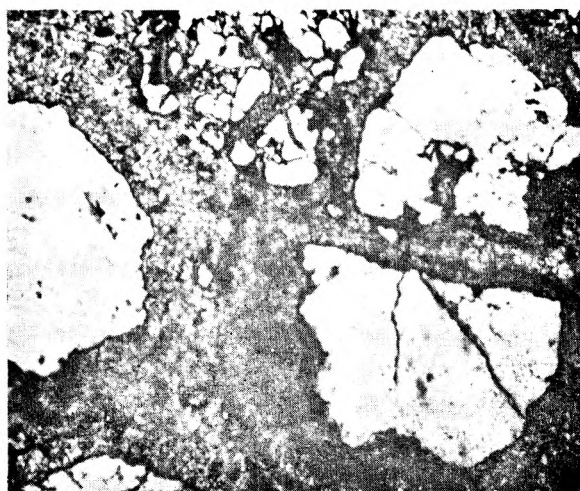
1



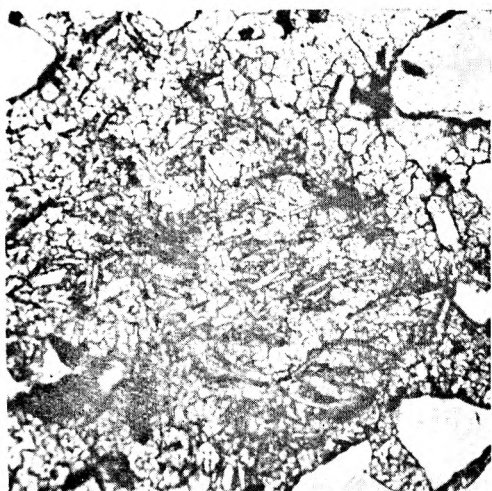
2



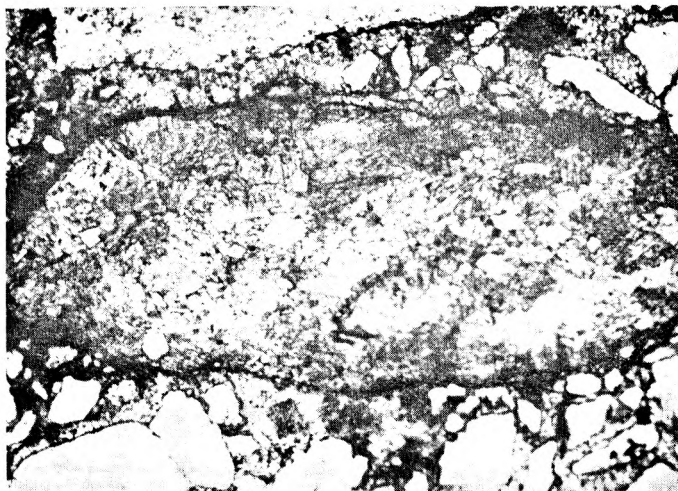
3



4



5



6

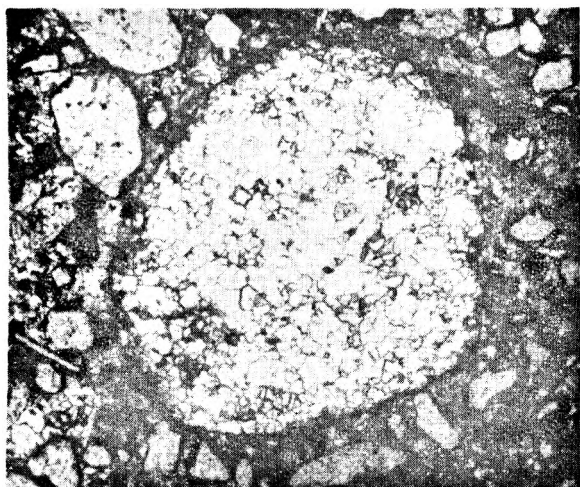
Wojciech ŚLIWIŃSKI — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej

A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland

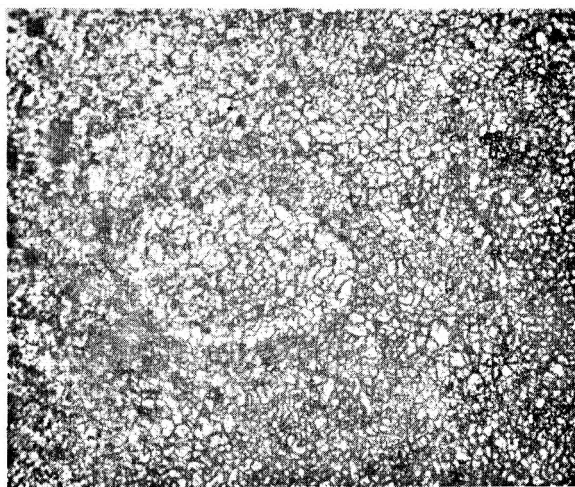


PLANSZA IV  
PLATE IV

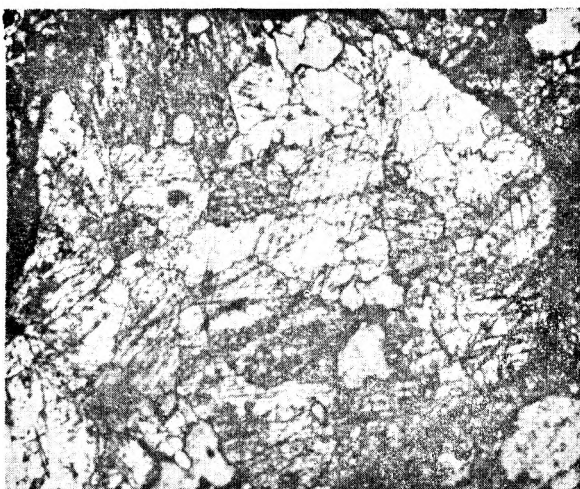
1. Ziarno sparytowe, obwiedzione cienką powłoką tlenków żelaza; wewnątrz ziarna brak reliktyw pierwotnego składnika. Próba 3C2/5, pow. 40 ×  
Spar grain surrounded by iron-oxide drupe (halo); note the lack of any relicts of primary component. Sample no. 3C2/5, acetonian peel, magn. 40 ×
2. Sparytowy kalcyt granularny; w środku jaśniejsza pseudomorfoza kalcytowa po ziarnie klastycznym. Próba 1K3/31, odbitka acetonowa, pow. 50 ×  
Granular sparry calcite; note the light-colour calcite pseudomorphosis after primary detrital grain (in center). Sample no. 1K3/31, acetonian peel, magn. 50 ×
3. Fragment pierwotnego ziarna klastycznego zastąpiony wielokryształicznym kalcytem sparytowym; wewnątrz ziarna nieregularne relikty pierwotnego składnika. Próba 3C1/21, odbitka acetonowa, pow. 60 ×  
Fragment of primary detrital grain, replaced by coarsely crystallized sparry calcite; note the irregular relicts of primary component present within the grain. Sample no. 3C1/21, acetonian peel, magn. 60 ×
4. Przeobrażone pierwotne ziarno klastyczne z zachowaną szczątkowo, przekrystalizowaną otoczką. Próba 1K3/12, odbitka acetonowa, pow. 20 ×  
Altered primary detrital grain, with fragmentary preserved recrystallized rim. Sample no. 1K3/12, acetonian peel, magn. 20 ×
5. Pyłowiec; ziarna kwarcu rozrzucone luźno w sparytowym cemencie; brak struktur reakcyjnych. Próba 3B5 (bezpośredni nadkład horyzontu nr 5), pojedynczy nikol, pow. 60 ×  
Siltstone; detrital quartz-grains widely scattered in sparry cement; note the lack of reactional structures. Sample no. 3B5 (immediate cover of horizon no. 5), one nicole, magn. 60 ×
6. Nieregularne relikty mikrytu w mozaice pseudosparytu granularnego. Próba 3K4/10, pojedynczy nikol, pow. 60 ×  
Irregular relicts of micrite within a mosaic of granular pseudospar. Sample no. 3K4/10, one nicole, magn. 60 ×



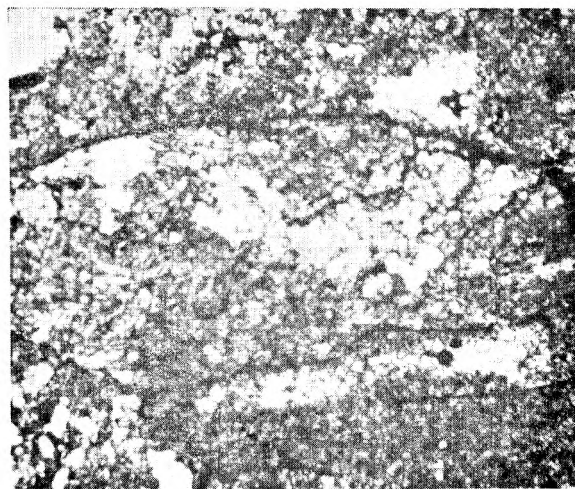
1



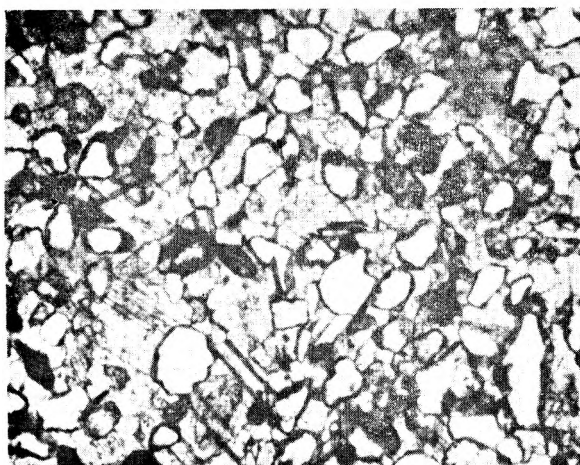
2



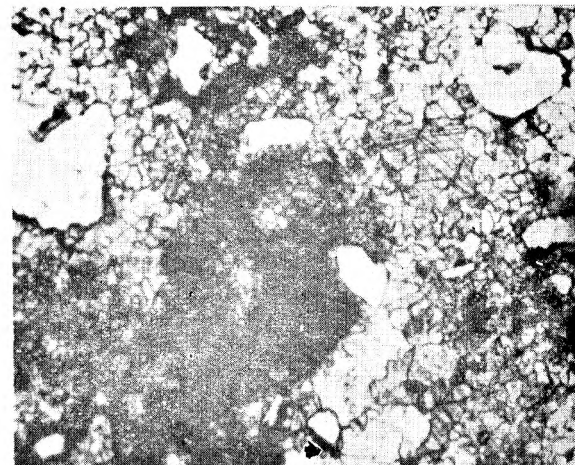
3



4



5



6

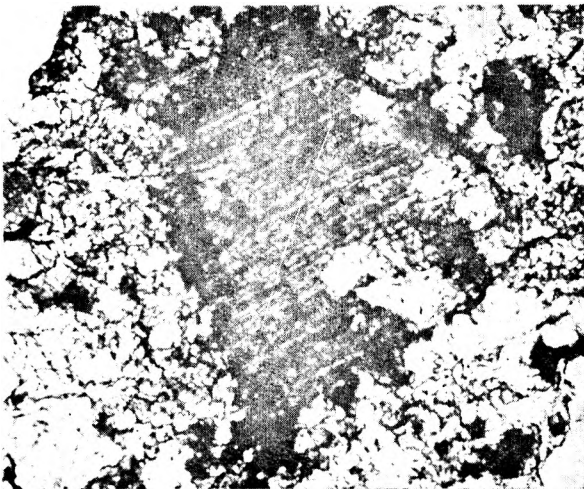
Wojciech ŚLIWIŃSKI — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej

A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland

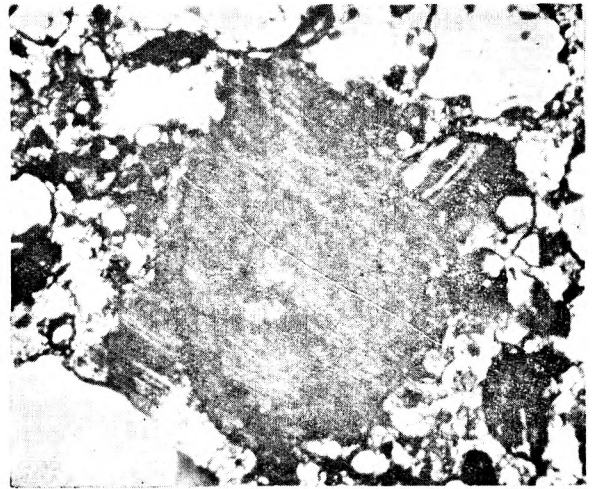
## PLANSZA V

## PLATE V

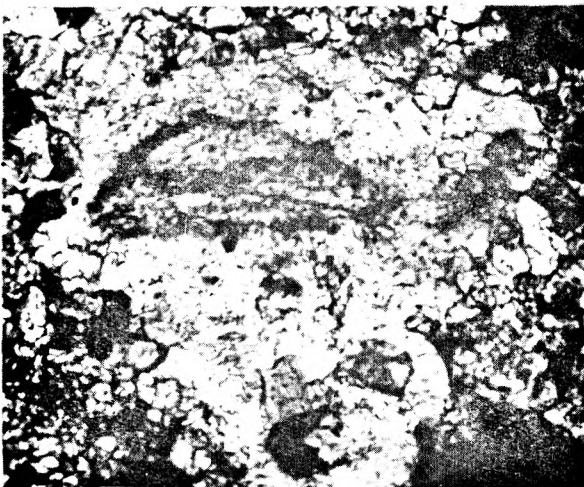
1. Syntaksjalny kryształ kalcytu wypełniający ziarno klastyczne; zarys pierwotnego ziarna podkreślają tlenki żelaza. Próba 1K5/22, nikole skrzyżowane, pow. 60 ×  
Syntaxial calcite crystal filling a primary detrital grain; note the original grain shape marked by iron oxides. Sample no. 1K5/22, crossed nicoles, magn. 60 ×
2. Syntaksjalny kryształ kalcytu na pierwotnym ziarnie klastycznym. Wczesne etapy wypierania pierwotnego składnika są zarejestrowane przez powłoki tlenków żelaza. Zgodnościowa krystalizacja przenosi się z ziarna na matrix. Próba 3C2/19, nikole częściowo skrzyżowane, pow. 60 ×  
Syntaxial calcite crystal developed on primary detrital grain. Early stages of primary-component alteration are documented through the presence of iron-oxide drapes. The syntaxial mode of crystalization is observed as transferring from the grain into matrix. Sample no. 3C2/19, nicoles partly crossed, magn. 60 ×
3. Zarys pierwotnego ziarna klastycznego w syntaksjalnym, amebowatym kryształe kalcytu wnikającym w mozaikę pseudosparytu granularnego. Próba 1K5/22, nikole skrzyżowane, pow. 170 ×  
Shape of primary detrital grain recognizable within a syntaxial "amoeba-like" calcite crystal, which penetrates into a mosaic of granular pseudospar. Sample no. 1K5/22, crossed nicoles, magn. 170 ×
4. Sparmikrytyzacja. Agregaty sparmikrytu wnikające w mozaikę wielokrystalicznego sparytu. Próba 1K3/5, nikole skrzyżowane, pow. 16 ×  
Sparmicritization; sparmicrite aggregates are seen penetrating into a mosaic of coarsely crystallized sparite. Sample no. 1K3/5 crossed nicoles, magn. 16 ×
5. Ziarno klastyczne w mikrosparytowym matrix. Próba 1K5/29, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Primary detrital grain present within microsparitic matrix. Sample no. 1K5/29, acetonian peel, magn. 16 ×
6. Sparmikrytyzacja sparytu granularnego. Próba 1K5/17, nikole skrzyżowane, pow. 60 ×  
Sparmicritization of granular spar. Sample no. 1K5/17, crossed nicoles, magn. 60 ×



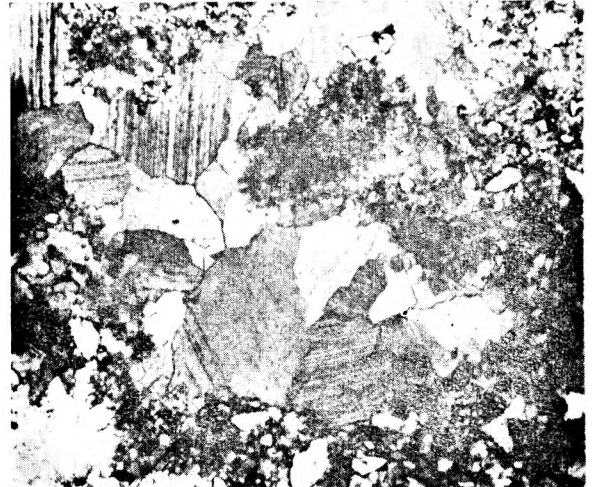
1



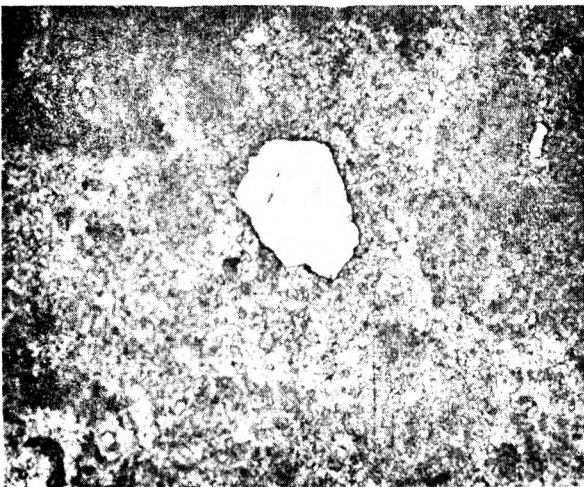
2



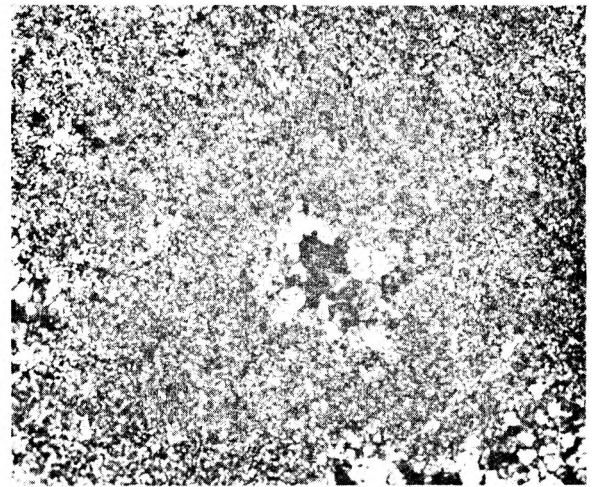
3



4



5



6

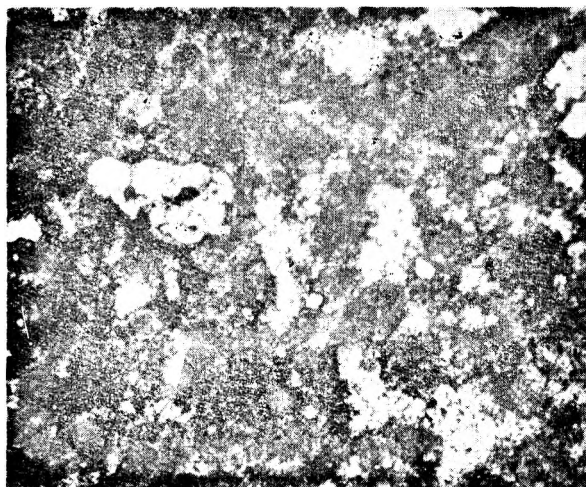
Wojciech ŚLIWIŃSKI — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej  
A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland

PLANSZA VI

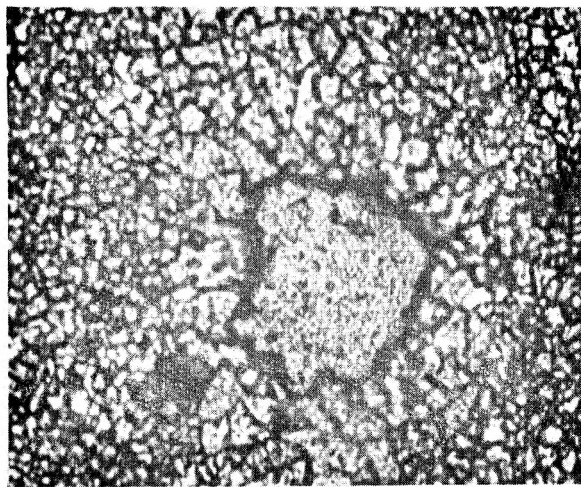
PLATE VI

1. Sparmikrytyzacja jasnego mikrosparytu i sparytu granularnego. Próba 3C1/2, odbitka acetonowa, pow. 40 ×  
Sparmicritization of light microspar and granular spar. Sample no. 3C1/2, acetonian peel, magn. 40 ×
2. Efekt neomorfizmu degradacyjnego otoczki sparytowej wokół ziarna klastycznego. Próba 1K3/30, odbitka acetonowa, pow. 170 ×  
Effect of degradational neomorphism of a sparitic rim surrounding primary detrital grain. Sample no. 1K3/30, acetonian peel, magn. 170 ×
3. Rozczłonkowany agregat mikrytowy podlegający rekrystalizacji prowadzącej do utworzenia mikrosparytu i sparytu granularnego. Próba 4K1, nikole skrzyżowane, pow. 16 ×  
Segmented micrite-aggregate which underwent recrystallization towards formation of microspar and spar. Sample no. 4K1, crossed nicoles, magn. 16 ×
4. Rozczłonkowane laminy mikrytowe z objawami rekrystalizacji prowadzącej do utworzenia sparytu granularnego. Próba 4K1, nikole skrzyżowane, pow. 16 ×  
Segmented micrite laminae, showing tendency of recrystallization towards formation of granular spar. Sample no. 4K1, crossed nicoles, magn. 16 ×
5. Zwarty agregat mikrytowy z objawami rekrystalizacji, pseudopellet. Próba 3C1/3, odbitka acetonowa, pow. 60 ×  
Dense micrite aggregate with signs of recrystallization; pseudopellet. Sample no. 3C1/3, acetonian peel, magn. 60 ×
6. Agregat mikrytowy podlegający rekrystalizacji. Próba 3K4/24, odbitka acetonowa, pow. 16 ×  
Micrite aggregate undergoing recrystallization. Sample no. 3K4/24, acetonian peel, magn. 16 ×

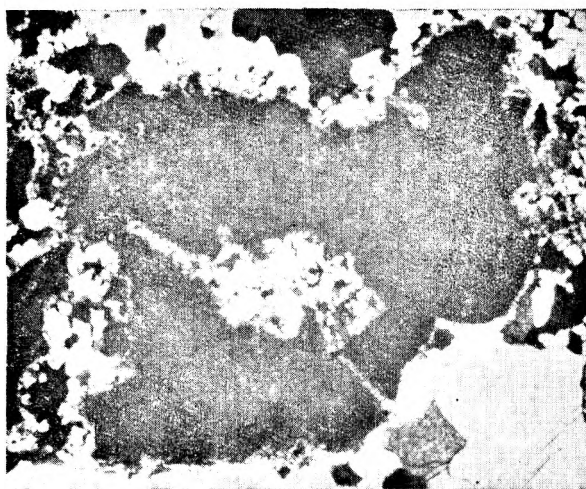




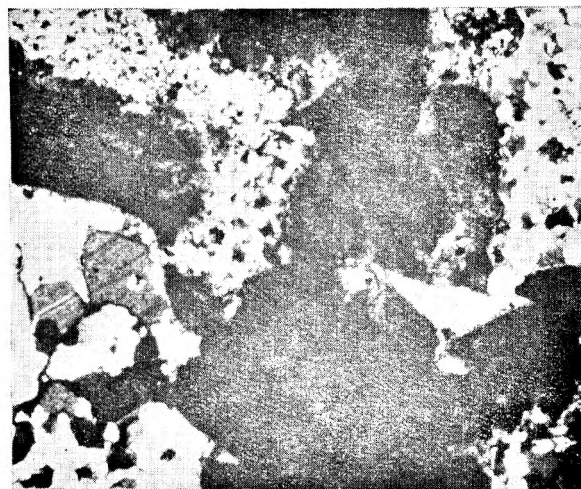
1



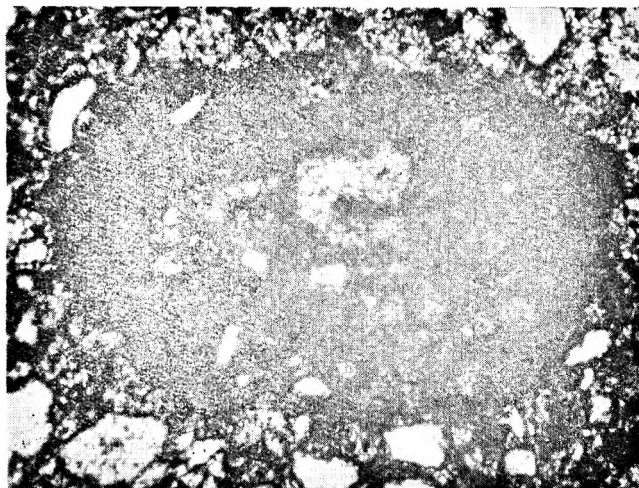
2



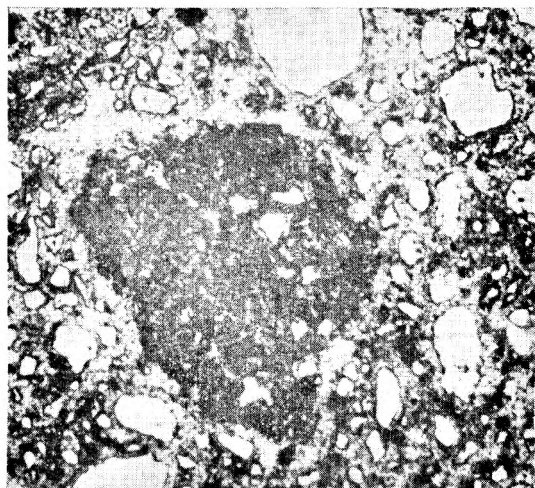
3



4



5



6

Wojciech ŚLIWINSKI — Model akumulacji caliche w kontynentalnych osadach permu południowo-zachodniej części niecki śródsudeckiej

A model for caliche formation in the continental Permian deposits of southwestern Intra-Sudetic Basin, southwestern Poland