

Wacław RYKA, Henryk TOMCZYK

## Bentonity w osadach staropaleozoicznych Gór Świętokrzyskich

### WSTĘP

Praca ma charakter stratygraficzno-petrograficzny; część geologiczną dotyczącą stratygrafii, litologii i zdjęcia geologicznego omawianych utworów opracował H. Tomczyk, natomiast część petrograficzną W. Ryka.

Prowadzone w ostatnich latach badania geologiczne nad stratygrafią ordowiku i syluru w Górach Świętokrzyskich umożliwiły stwierdzenie występowania cienkich stosunkowo wkładek bentonitu w tych utworach. Pierwsze spostrzeżenia poczyniono pod koniec 1955 r. w profilu wiercenia obrotowego w Widelkach (H. Tomczyk, 1953—1957). W monotonnej serii ilastej łupków graptolitowych dolnego ludlowu, nawierconej w tym otworze, stwierdzono dziesięciocentymetrową wkładkę różniącą się nie tylko barwą, ale i ogólną strukturą.

Wiosną 1956 roku w czasie wycieczki geologicznej w okolice Kielc, w której uczestniczyli: prof. dr R. Kozłowski, dr P. E. Claud oraz H. Tomczyk, zwrócono wówczas szczególną uwagę na charakterystyczną wkładkę ilastą, występującą w wapieniach środkowego ordowiku w Mójczy.

Próbki pobrano z wiercenia w Widelkach oraz z odsłonięcia wapieni ordowiku w Mójczy — Góra Skała.

### CZEŚĆ GEOLOGICZNA

#### PUNKTY WYSTĘPOWANIA BENTONITÓW

Na obszarze paleozoiku Gór Świętokrzyskich w wielu profilach znane są już od dawna wychodnie ordowiku i syluru (J. Czarnocki, 1919). Występowanie jednak bentonitów w utworach staropaleozoicznych z tego regionu nie było dotąd notowane<sup>1</sup>. Natomiast bentonity wieku mezozoicznego i kenozoicznego są znane z obszaru Gór Świętokrzyskich i mają niejednokrotnie nawet znaczenie surowcowe.

<sup>1</sup> Jedynie na podstawie informacji ustnej od prof. dr J. Samsonowicza dowiedziałem się, że spotykał on cienkie wkładki prawdopodobnie bentonitu w osadach ordowiku występującego w łomie w Międzygórzu koło Sandomierza (H. T.).

W głównej mierze w Łysogórach (na północy) oraz w części południowo-zachodniej Gór Świętokrzyskich utwory ordowiku i syluru są wykształcone w postaci osadów ilastych, które na powierzchni są na ogół słabo odsłonięte, a najczęściej dostępna jest tylko powłoka zwietrzelinowa tych skał.

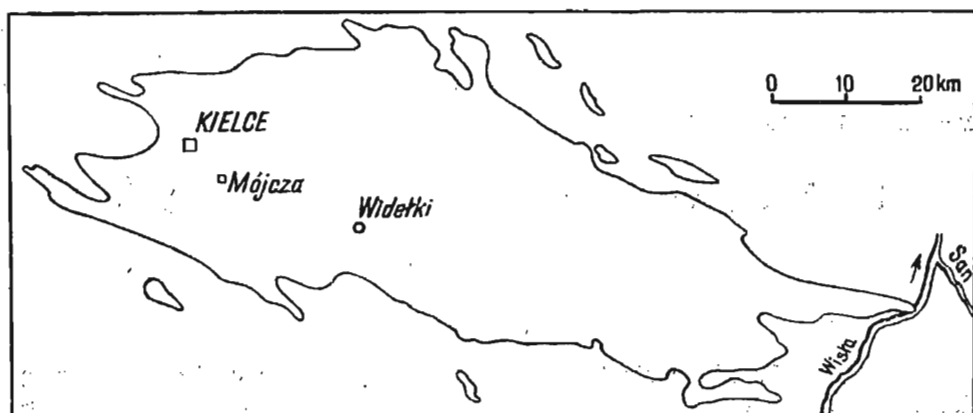


Fig. 1. Szkic lokalizacyjny występowania wkładek bentonitów w utworach ordowiku i syluru w Górach Świętokrzyskich  
Diagrammatic map showing localities of appearance of bentonite intercalations in Ordovician and Silurian sediments of the Święty Krzyż Mountains

Fakty te nasuwają przypuszczenie, że wkładki bentonitów uległy mogły całkowitemu zwietrzeniu lub zniszczeniu.

W centralnej części Gór Świętokrzyskich osady ordowiku tworzyły się w strefie nerytycznej w facji piaszczysto-wapiennej. Z tego rejonu bowiem (synklinorium centralne) znane są dość liczne odsłonięcia, w których prowadzona jest nawet eksploatacja, co w znacznym stopniu umożliwia przeprowadzenie wnikliwych obserwacji. Do centralnej części obszaru świętokrzyskiego odnosi się głównie stwierdzenie występowania bentonitów i to zaledwie w dwóch punktach, tj. w Mójczy i w Widelkach (fig. 1).

Ordowik i sylur okolic Mójczy bierze udział w budowie asymetrycznej antykliny mójczańskiej (siodła) tworząc wzgórze zwane Góra Skała, biegnące z północnego-zachodu na południowy-wschód (J. Czarnocki, 1948; H. Tomczyk, 1956). W północno-zachodniej części tego wzgórza występuje kilka łomów wapiennych w utworach ordowiku, które są zaznaczone na szkicu geologicznym (fig. 2) jako odkrywki literami od a do e. Odkrywki te, występujące prawie po rozciągłości warstw, pozwalają jedynie na dokładniejsze obserwacje górnych ogniw ordowiku, dolne jego partie i częściowo środkowe są natomiast słabiej odsłonięte i dlatego w opracowaniu tym potraktowano je głównie na podstawie piśmiennictwa (J. Czarnocki, J. Samsonowicz 1913; J. Czarnocki 1919, 1928, 1948).

Wkładka bentonitu po raz pierwszy została spostrzeżona w odkrywce nr a. Następnie w czasie prac terenowych stwierdzono jej obecność w odkrywkach położonych bardziej na południowy zachód, to jest b i e, również w pobliżu wychodni górnego wenloku (fig. 2).

Drugi punkt występowania bentonitu odnosi się już do utworów sylurskich (dolny ludlow) nawierconych w Widełkach (fig. 3). Wiercenie to było położone w zachodniej części synkliny bardziańskiej i miało na celu uzyskanie profilu dolnego ludlowu wraz z dawką diabazową oraz utworów

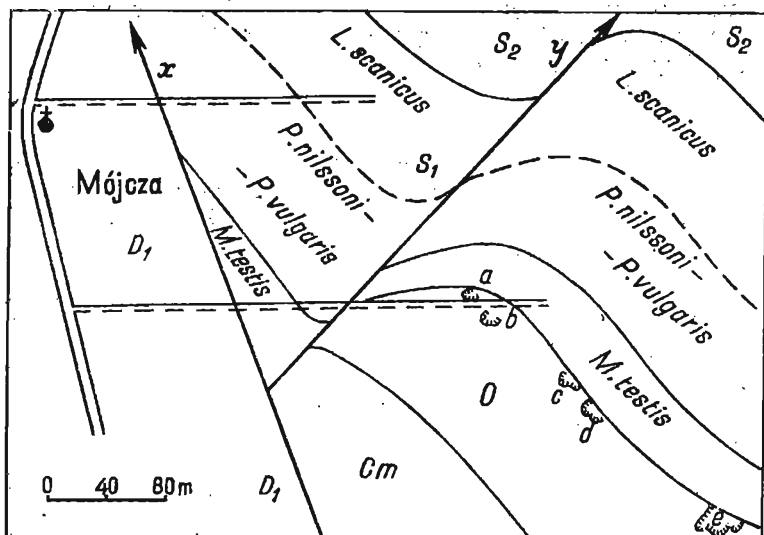


Fig. 2. Szkic geologiczny z lokalizacją odkrywek w utworach ordowiku w Mójczy koło Kielce

Diagrammatic geological map showing localities of outcrops in the Ordovician deposits at Mójcza near Kielce

Cm — kambr, O — ordowik, S<sub>1</sub> — sylur w wykształceniu ilastym, S<sub>2</sub> — sylur w wykształceniu szarogłazowym, D<sub>1</sub> — dewon, a, b, c, d, e, odkrywki, x, y — kierunki dyslokacji

Cm — Cambrian, O — Ordovician, S<sub>1</sub> — Silurian in argillaceous facies, S<sub>2</sub> — Silurian in greywacke facies, D<sub>1</sub> — Devonian, a, b, c, d, e, outcrops, x, y — directions of dislocations

wenloku. Wkładka bentonitu została stwierdzona w łupkach graptolitycznych od głębokości 84,65 m do 84,75 m oraz druga wkładka dochodząca zaledwie do grubości około 0,3 cm (fig. 6), w partiach nieco wyższych na głębokości około 81,3 m.

#### POŁOŻENIE STRATYGRAFICZNE BENTONITÓW

Opisywane wkładki bentonitów pod względem stratygraficznym są różnego wieku. Bentonit w Mójczy, jak to już było wyżej podane, występuje w osadach wapiennych środkowego ordowiku, natomiast w Widełkach — w osadach sylurskich dolnego ludlowu, dlatego też oba te wystąpienia będą potraktowane oddzielnie.

#### MÓJOZA

Utwory ordowiku w Mójczy—Góra Skała wskutek znacznych procesów tektonicznych, jakie tu nastąpiły, są częściowo zredukowane. Niezgodnie z utworami kambru stykają się tutaj piaskowce ortidowe (lan-

deilo), z bardzo liczną fauną ramienionogów, szczególnie *Orthis moneta* Eichw., *Orthis caligramma* Dalm., *Clitambonites plana* Pand., *Lycophoria nucella* Dalm. itd. (J. Czarnocki 1919, 1948; J. Samsonowicz, 1952). W stropowych partiach piaskowiec ten zawiera częste wkładki osadów węglanowych oraz wyżej przechodzi stopniowo w wapienie szare i jasnoszare, płytowe, w których spągu w dalszym ciągu spotyka się jeszcze podobny zespół ramienionogów.

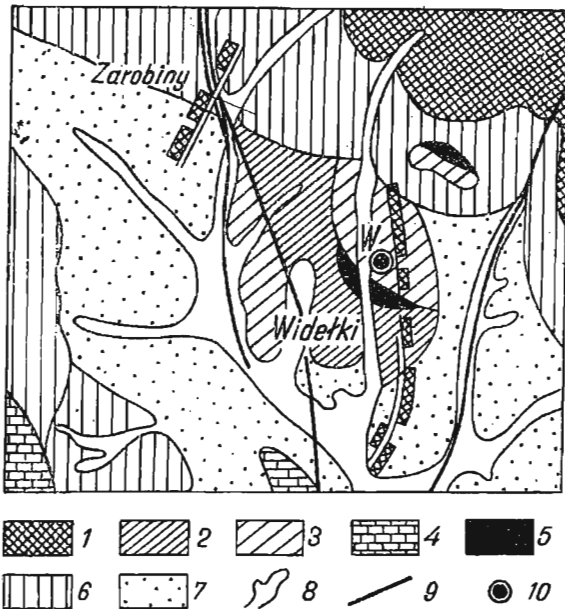


Fig. 3. Szkic geologiczny z lokalizacją wiercenia w Widełkach

Diagrammatic geological map showing locality of Widełki bore hole

1 — kambr, 2 — sylur w wykształceniu łupkowym, 3 — sylur w wykształceniu szarogiazowym, 4 — dewon, 5 — diabaz, 6 — lessy, 7 — płaski i gliny akumulacji lodowcowej i rzecznej, 8 — aluwia, 9 — dyslokacje, 10 — wiercenie

1 — Cambrian, 2 — Silurian in shale facies, 3 — Silurian in greywacke facies, 4 — Devonian, 5 — diabase, 6 — loesses, 7 — sands and clays of glacial and fluvial accumulation, 8 — alluvia, 9 — dislocations, 10 — bore-hole

Według J. Czarnockiego i J. Samsonowicza (1913) w niektórych partiach wapieni szarych w Mójczy występuje charakterystyczna dla piętra landeilo fauna trylobitów, są to: *Asaphus* cf. *tyrannus* Murch., *Iliaenus revaliensis* Holm, *Cheirurus polonicus* Czarn. i Sams. Wyższe ogniwa wapieni zawierają znacznie uboższy zespół fauny, ponieważ są one bardziej zwięzłe, grubopłytowe i miejscami krystaliczne.

Następna seria osadów wapiennych z bardzo ubogą fauną, o niedużej stosunkowo miąższości, zmienia stopniowo zabarwienie na żółtoróżowawe. Prawdopodobnie wskutek przerostów (wtrąceń) marglistych, które mogły ulec wcześniej zwietrzeniu, w wyniku czego wapienie te mają charakterystyczne centki (plamki) rdzawożółte. W serii tych wapieni w odkrywce a (fig. 2 i 4) stwierdzono występowanie bentonitu o miąższości zmiennej, od 5 do 8 cm, barwy szarej z odcieniem niebieskawym lub miejscami żółtawym. Poza tym warstewka tego bentonitu występuje również w odkrywce b, jednak jest ona tutaj znacznie cieńsza, od 4 do 5 cm, oraz wykazuje odmienną nieco barwę, rdzawożółtą.

Dalsze partie osadów występujące około 3 metrów nad bentonitem, stanowią serię wapieni nieco odmiennych, cienkopłytowych, częściowo marglistych i oolitycznych, o jasnych ziarnach oolitów dochodzących do 2 mm średnicy. Barwa tych wapieni jest na ogół szara, z lekkim odcieniem różo-

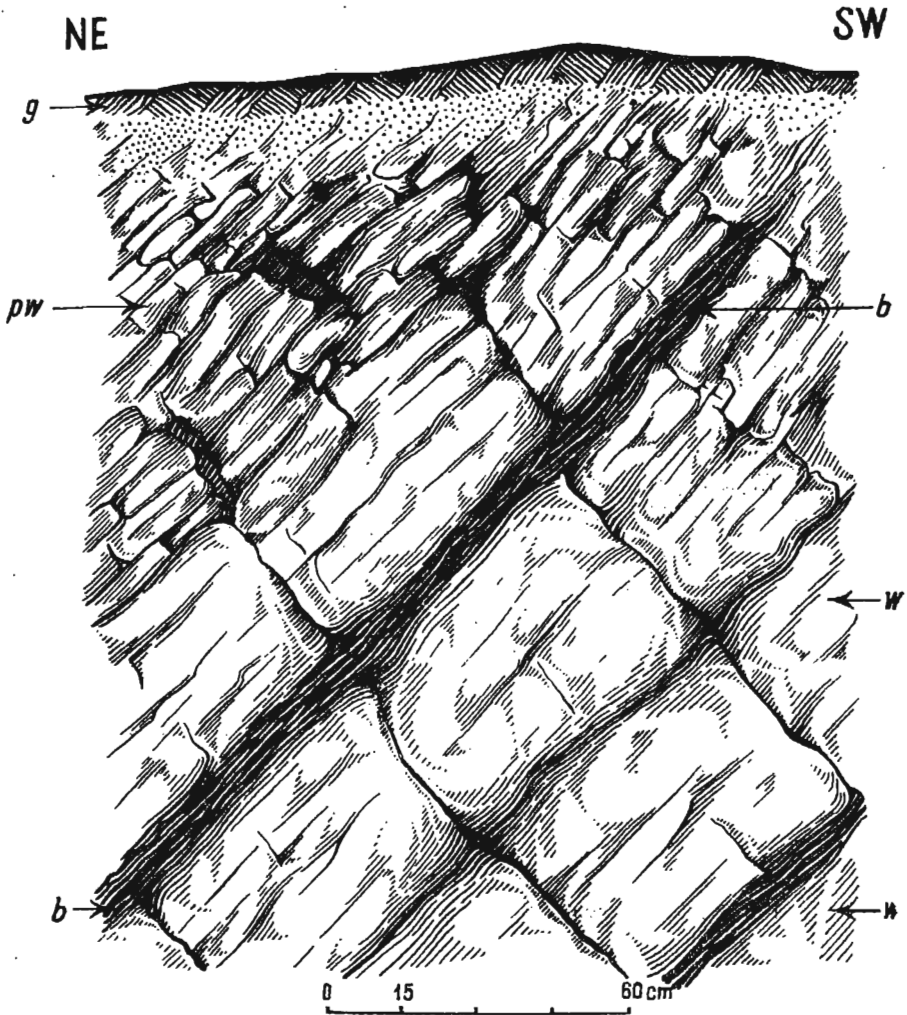


Fig. 4. Odkrywka „a” wapieni ordowiku z wkładką bentonitu w Mójczy koło Kielc

Outcrop „a” of Ordovician limestones with bentonite intercalation at Mójczy near Kielce

g — gleba, pw — powłoka zwietrzałych wapieni, b — bentonit, w — wapienie zwięzłe, plamiste, grubopłytkowe

g — soil, pw — cover of weathered limestones, b — bentonite, w — compact spotted thick-platey limestones

wawym. Najwyższe ogniwa utworów ordowiku w Mójczy — Góra Skąła tworzą wapienie cienkopłytkowe, wyraźnie margliste, o powierzchniach nieregularnych, charakteru gruzelkowatego, barwy czerwobrunatnej. Miejscami wapienie te przekładane są warstewkami ilasto-marglistymi, barwy ceglastoczerwonej. Z partii tych wapieni znana jest liczna fauna (J. Czarnocki 1919, 1928; J. Samsonowicz 1952) ortocerasów i trylobitów

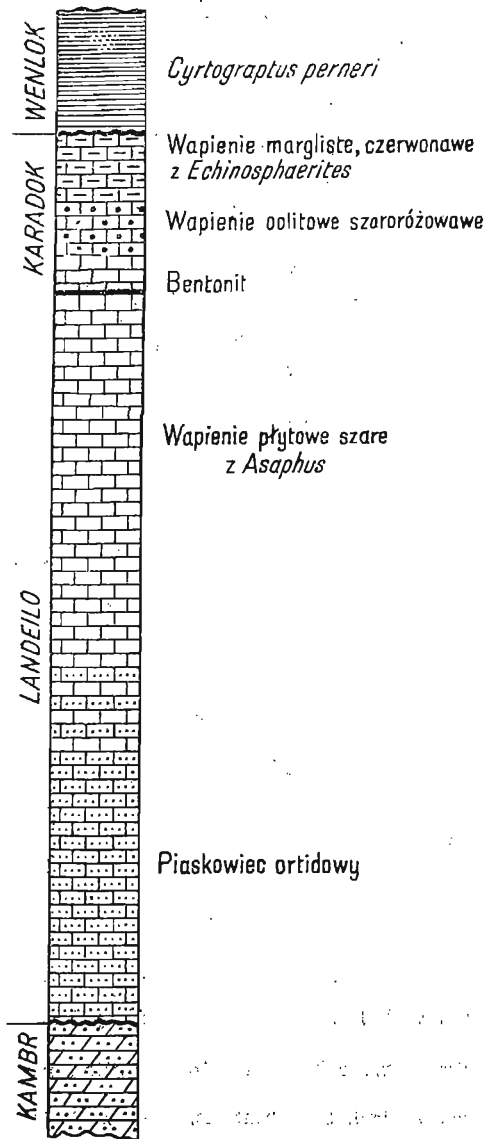


Fig. 5

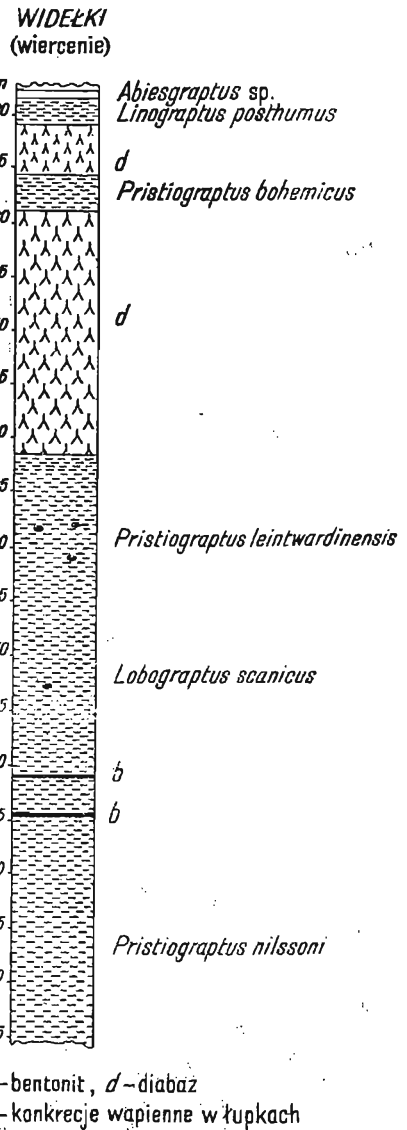


Fig. 6

Fig. 5. Schematyczny profil utworów środkowego ordowiku w Mójczy—Góra Skała  
Diagrammatical section of Middle Ordovician deposits at Mójczy—Góra Skała  
(Skała Hill)

Fig. 6. Schematyczny profil utworów dolnego ludlowu z otworu wiertniczego w Widelkach  
Diagrammatical section of Lower Ludlovian deposits from Widelki bore hole

(*Lichas* sp., *Chasmops* sp.) oraz cystoidy *Echinospaerites* aff. *aurantium* Gyll. Wapienie te odpowiadają więc karadokowi, z którymi niezgodnie (fig. 5) kontaktują już łupki graptolitowe górnego wenloku poziomu *Cyrtograptus perneri* oraz *Cyrtograptus lundgreni* (H. Tomczyk, 1956).

#### WIDELKI

Pod niegrubą powłoką zwietrzliny zostały nawiercone w Widelkach szarogłazowe utwory syluru z ubogą fauną małżów *Cardiola bohemicus* Barr., *Cardiola interrupta* Barr. oraz głowonogów. Niższe (starsze) partie szarogłazów zawierają wkładki łożupków z bardzo nieliczną fauną graptolitów *Abiesgraptus* sp., *Pristiograptus* sp. i *Linograptus posthumus*. Na głębokości 20 ÷ 52 m występuje dajka diabazu, która przedziela niegrubą stosunkowo partię łupków graptolitowych z *Pristiograptus* sp. i *P. bohemicus* (Barr.). Pod diabazem w dalszym ciągu występują łupki graptolitowe, szare i ciemnoszare z odcieniem zielonawym, dobrze łupliwe, z licznymi blaszkami muskowitu oraz z fauną *Pristiograptus* sp., i *Monoclimacis* cf. *ultimus* (Perner), a niżej na głębokości około 60 metrów stwierdzono występowanie przewodnich form *Saetograptus leintwardinensis* (Lapw.). Poniżej tego poziomu graptolity są coraz liczniejsze i bardziej zróżnicowane. Są to głównie: *Pristiograptus dubius ludlowensis* (Bouček), *P. bohemicus* (Barr.), *Saetograptus chimaera semispinosus* (Elles et Wood), *Colonograptus dalejensis* (Bouček), *Cuculograptus* sp., oraz liczne małże (*Cardiola*, *Slava*, *Antipleura*) i głowonogi.

W niższych partiach łupków występuje już dość często forma przewodniego graptolita *Lobograptus scanicus* (Tullb.), która była spotykana aż do wkładek bentonitu. Na głębokości 81,3 m stwierdzono w łupkach graptolitowych cienką warstewkę bentonitu o grubości około 0,3 cm. Próbkę do badań petrograficznych z tej wkładki nie były pobierane (rdzeń pokruszony). Parę metrów niżej (fig. 6), od głębokości 84,65 m do 84,75 m występowała wkładka bentonitu jasnoszarego z odcieniem zielonooliwkowym, która w części środkowej zawierała liczne blaszki (do 1 mm wielkości) biotyty. Pod bentonitem (warstwa druga, patrz fig. 6) formy typu „*scanicus*“ spotykane były bardzo rzadko. Jedynie parę metrów niżej (fig. 6) stwierdzono obecność form przewodnich *Pristiograptus nilssoni* (Barr.). W poziomie tym zespół graptolitowy był dość urozmaicony i liczny, a mianowicie: *Pristiograptus bohemicus* (Barr.), *P. dubius ludlowensis* (Bouček), *Saetograptus chimaera chimaera* (Barr.), *S. chimaera salweyi* (Lapw.), *Colonograptus roemeri* (Barr.), *C. colonus* (Barr.), *Monograptus uncinatus* Tullb., *M. crinitus* Elles et Wood, oraz liczne małże i głowonogi.

Powyższy zespół graptolitowy, występujący w stropie i w spagu bentonitu, charakteryzuje całkowicie pograniczne dwóch poziomów, to jest *Pristiograptus nilssoni* i *Lobograptus scanicus*.

#### WNIOSKI STRATYGRAFICZNE

Z utworów ordowiku występującego w Mójczy (północno-zachodnia część Góry Skala) można wydzielić zasadnicze trzy serie warstw. Wprost na utworach kambru zalegają osady wieku landeilo, a mianowicie: piaskowce ortidowe (1), które z kolei przechodzą stopniowo w wapienie pły-

towe, szare z *Asaphus* (2). Wyżej spoczywają wapienie cienkopłytkowe, margliste z *Echinosphaerites* (3) przynależne już do karadoku (J. Samsonowicz, 1952; H. Tomczyk, 1957). Wkładka bentonitu, przypadająca mniej więcej na strop kompleksu wapieni szarych z *Asaphus*, a około 3 metry poniżej wapieni marglistych z *Echinosphaerites*, będzie charakteryzowała pogranicze piętra landeilo i karadoku.

Ściślej określone położenie stratygraficznego omawianej wkładki bentonitu nie może tu być interpretowane, ponieważ nie jest dokładnie znana granica między tymi piętrami, jak również brak jest szerszego opracowania zespołów fauny z tych osadów.

Jak już poprzednio podkreślałem, strefa nerytyczna w facji wapiennej dla osadów karadoku znana jest tylko w centralnej części Gór Świętokrzyskich (H. Tomczyk, 1957), a natomiast na północy (region łysogórski) i w rejonie południowo-zachodnim (Zbrza) osady karadoku wykształcone są w facji ilastej (łupki graptolitowe), obejmującej poziomy *Climacograptus styloideus*, *Dicranograptus clingani* i *Diplograptus multidentis*. Ze względu na to, osadom wapiennym karadoku dolnego w Mójczy mogą odpowiadać w facji ilastej łupki graptolitowe poniżej poziomu *Dicranograptus clingani*. Tym bardziej jest to możliwe, że wapienie z *Echinosphaerites aurantium* w paralelizacji ogólnej (M. Gignoux, 1956) charakteryzują dolny karadok. Tak więc wkładka bentonitu występująca w Mójczy poniżej wapieni z *Echinosphaerites* przypadać będzie na granicę pięter landeilo-karadok.

Ponadto jest bardzo znamienne, że według wyników P. Thorslunda (1946—1948) w osadach środkowego ordowiku Szwecji (Vestergötland), w rejonie Kinnekulle znane jest występowanie licznych wkładek bentonitów. Największa z nich, osiagająca około 2 m miąższości, została stwierdzona już kilka metrów niżej od poziomu *Dicranograptus clingani*, w spagu serii wapiennej z *Asaphus? glabratus* (Ang.). Następne wkładki bentonitów występują jeszcze w osadach około 10 m miąższości aż do poziomu *Diplograptus molestus*. Położenie stratygraficzne tych bentonitów z Vestergötland odnosi się do dolnego karadoku, bądź do stropu landeilo. Dlatego wydaje się być prawdopodobne, że występujące bentonity w otworze wiertniczym Kullatrop w rejonie Kinnekulle w Szwecji (P. Thorslund, 1946—1948) mogą wiekowo odpowiadać stwierdzonej wkładce bentonitu w Mójczy pod Kielcami.

Przejawy wulkanizmu w ordowiku na obszarze Gór Świętokrzyskich nie są znane (S. Małkowski, 1954; J. Samsonowicz, 1934), lecz mogły one wówczas nastąpić na obszarze Wołynia (J. Samsonowicz, 1939) lub na północy w Skandynawii.

Stwierdzony bentonit w otworze wiertniczym w Widelkach występuje w osadach sylurskich dolnego ludlowu, które są tu wyrażone łupkami graptolitowymi. Licznie spotykana fauna charakteryzuje dolną część poziomu *Lobograptus scanicus*. Nad wkładką bentonitu forma ta jest znana masowo razem z *Pristiograptus dubius ludlowensis*, *Monograptus crinitus*, *Cuculograptus* sp., *Saetograptus chimaera semispinosus* itp. Pod bentonitem formy przewodnie *Lobograptus scanicus* są spotykane sporadycznie, a już w niższych partiach pojawia się *Pristiograptus nilssoni* razem z *Pristiograptus bohemicus*, *Monograptus uncinatus*, *Colonograptus colonus*, *Saetograptus chimaera* itp.



Stropowa część poziomu *Pristiograptus nilssoni* i początek poziomu *Lobograptus scanicus*, na które przypada występowanie wkładki bentonitu, jest na obszarze Gór Świętokrzyskich okresem dość interesującym. W tym mniej więcej czasie przypada zmiana facji ilastej (łupki graptolitowe) na szarogłazowo-ilastą w regionie łysogórskim na północy oraz na wschodzie w niecce międzygórskiej (H. Tomczyk, 1956). Tworzące się wówczas osady facji typu fliszowego poprzedzały ruchy synorogenezy ardeńskiej, jaka później nastąpiła w środkowym łudlowie w centralnej części obszaru Gór Świętokrzyskich (J. Samsonowicz, 1952). Z fazą ardeńską związane były zapewne procesy wulkaniczne, za czym przemawiać mogą liczne składniki piroklastyczne, występujące w stropowych partiach szarogłazów środkowego łudlowu. Możliwe, że bentonit z Widełek występujący w spagu poziomu *Lobograptus scanicus* jest związany z początkowymi przejawami wulkanizmu, którego maksimum nasilenia przypada na fazę ardeńską.

### CZEŚĆ PETROGRAFICZNA

Przedstawiona przez C. S. Rossa i E. V. Shannona (1926) charakterystyka bentonitu staropaleozoicznego cytowana jest w nowszych opracowaniach jako definicja dla tej skały. Z definicji tej wynika, że skała jest bentonitem wówczas, gdy „całkowicie składa się z przekryształizowanego materiału ilastego, powstałego w wyniku dewitryfikacji przebiegającej z równoczesną zmianą składu chemicznego piroklastycznego szkliwa w tufach lub popiołach i zawiera w różnym stosunku akcesoryczne ziarna będące fenokryształami wulkanicznego szkliwa“.

Różnica pomiędzy bentonitami staropaleozoicznymi z trzeciorzędowymi, mezozoicznymi i młodopaleozoicznymi stanowiła podstawę stosowania odrębnej nomenklatury dla opisywanych skał ordowickich i sylurskich. C. S. Ross (1928) oraz P. P. Fox, L. F. Grant (1944) wprowadzają termin metabentonitu dla skał zmienionych, natomiast C. E. Weaver (1953) bentonity bogate w potas nazywa K-bentonitami. A. M. Byström (1956, 1957) stosuje ogólną nazwę bentonitu zakładając nieściskość szczegółowych terminów, ze względu na zmienność składu chemicznego i cech litologicznych tej samej skały.

Staropaleozoiczne bentonity występują sporadycznie. Związane zazwyczaj z warstwami ordowickimi i rzadziej sylurskimi, ograniczone są swym występowaniem do obszarów Ameryki Północnej (Tennessee, Kentucky, Alabama, Pennsylvania, Virginia, New York, Minnesota, Jowa, Wisconsin) oraz Skanii, Gotlandu, Bornholmu i regionu Oslo.

Opisów staropaleozoicznych bentonitów z innych obszarów w piśmiennictwie geologicznym nie znalazłem.

### ANALIZY MECHANICZNE

Próbki bentonitów świętokrzyskich reprezentują makroskopowo cztery typy:

1. Bentonit jasnoszary z odcieniem oliwkowym z Widełek bez obcych domieszek, bardzo twardy o przełamie nierównym (próbka Widełki 1, głębokość 84,65 ÷ 84,75 m);

2. Bentonit jasnoszary z odcieniem oliwkowym z Widełek, z biotytem, drobnowarstwowany, mniej twardy od poprzedniego, o równym przełamie (próbka Widełki 2, środkowa część wkładki);

3. Bentonit jasnoszary z odcieniem niebieskim z Mójczy, z domieszką obcych ziarn, miękki, o przełamie nierównym (próbka Mójcza 1, odkrywka a);

4. Bentonit rdzawy z Mójczy, z domieszką obcych ziarn, bardzo miękki, o nierównym przełamie (próbka Mójcza 2, odkrywka b).

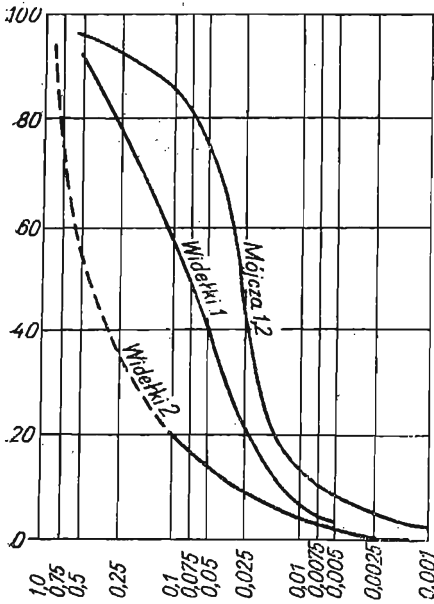


Fig. 7. Wykres uziarnienia bentonitów świętokrzyskich. Na osi poziomej podano wielkość ziarn w mm, natomiast na osi pionowej zawartość procentową poszczególnych frakcji

Diagram of grain sizes of the Święty Krzyż bentonites. On horizontal axis are shown grain sizes in mm., on vertical axis percentages of content of individual fractions

Badania bentonitów przeprowadzono na podstawie pierwszych trzech typów, gdyż bentonit rdzawy wykazał w szczegółowych badaniach analogię do bentonitu z próbki Mójcza 1. Różnica w zabarwieniu próbek polega na obecności uwodnionych tlenków żelaza w próbce Mójcza 2.

Umieszczone w wodzie próbki bentonitu już po kilku sekundach rozpadają się całkowicie zwiększając przy tym wyraźnie swoją objętość. Po 48 godzinym wstrząśnięciu w wodzie i długim wstrząśnięciu poddano próbki analizie pipetowej, której wyniki przedstawiono na figurze 7. Jak wynika z wykresu, krzywe próbki Mójcza 1 i 2 pokrywają się, natomiast próbka Widełki 2 zawiera znacznie więcej ziarn (78%) powyżej średnicy 0,1 mm niż próbki z Mójczy (13%). Krzywa uziarnienia próbki Widełki 1 charakterem swym poniżej granicy 0,01 mm średnicy ziarna zbliżona jest do typu uziarnienia próbki z biotytem, natomiast powyżej tej granicy odpowiada typowi krzywej bentonitu z Mójczy.

Poszczególne frakcje suszone w temperaturze 20°C wykazały swoisty sposób wysychania. Materiał frakcji najdrobniejszych odpryskiwał od dna zlewki (łuszczył się) tworząc pozawijane, silnie splekane płytki. Natomiast, materiał frakcji grubszych przylegał ściśle do dna

naczynia, ulegając nielicznym głębokim pęknięciom, z lekko podwiniętymi brzegami. Materiał frakcji najdrobniejszych odpowiada według założeń M. F. Wikułowej (1957) substancji montmorylonitowej, natomiast materiał grubszy — mieszaninie tej substancji z hydromikami.

Analizę odwodnienia frakcji 0,02, 0,01, 0,005 i 0,002 mm średnicy ziarna przeprowadzono dla próbek Widełki 2 (fig. 8a) i Mójcza 1 (fig. 8b). Krzywe poszczególnych frakcji próbki Mójcza 1 wykazują zgodny charakter przebiegu. Jedynie krzywa odwodnienia najdrobniejszej frakcji

wykazuje minimalne wartości w obu zakresach (powyżej i poniżej 500°C) oddawania wody. Krzywa próbki niefrakcjonowanej Mójcza 1 świadczy o częściowym pochłonięciu wody pierwszego zakresu przez próbki frakcjonowane podczas analizy pipetowej. Odmiennie zachowuje się ta pierwotna próbka w drugim zakresie oddawania wody, gdyż ma ona najwyższą wartość tego składnika w stosunku do jego ilości w próbkach frakcjonowanych. Bardziej uporządkowany przebieg krzywych odwodnienia wykazuje próbka Widelki 2 (fig. 8a). Wzrost oddawania wody w obu zakresach jest tutaj

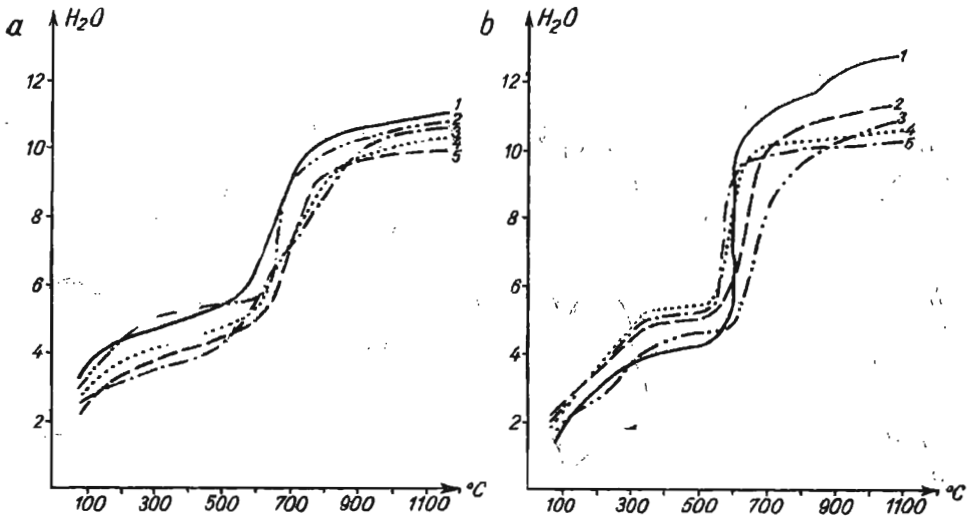


Fig. 8. Krzywe dehydratacji poszczególnych frakcji bentonitów z Widelki (a) i Mójczy (b). Linia pozioma przedstawia zakresy temperatur w °C, natomiast pionowa procenty wagowe H<sub>2</sub>O

Curves of dehydration of individual bentonite fractions from Widelki (a) and Mójczy (b). On horizontal axis are given temperature ranges in °C, on vertical axis weight percentages of H<sub>2</sub>O

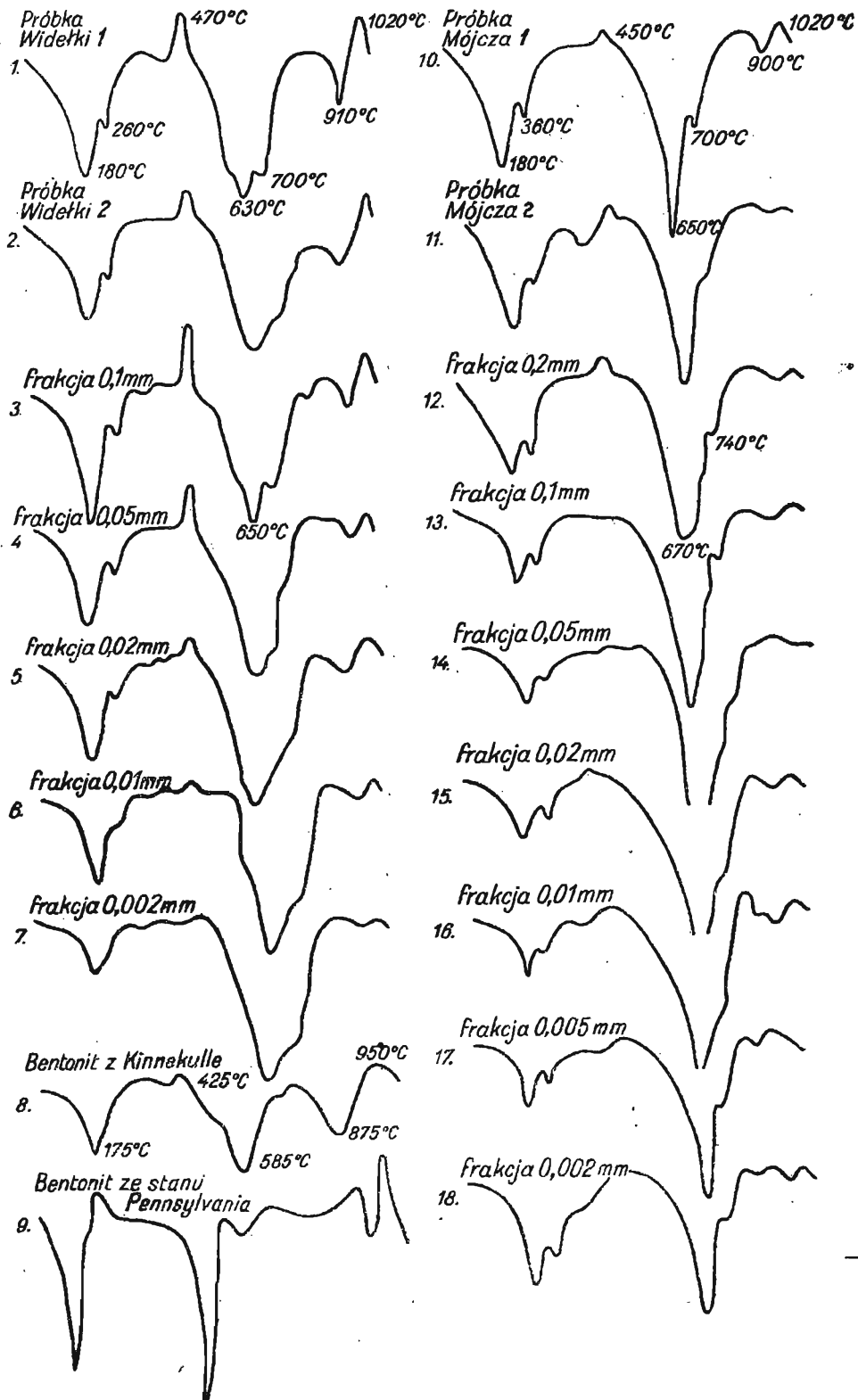
nr 1 — dotyczy próbki niefrakcjonowanej; krzywa nr 2 — frakcji 0,002 mm; nr 3 — frakcji 0,01 mm; nr 4 — 0,2 mm; nr 5 — 0,1 mm. Na fig. b krzywa nr 1 — dotyczy próbki niefrakcjonowanej; nr 2 — frakcji 0,2 mm; nr 3 — frakcji 0,001 mm; nr 4 — frakcji 0,01 mm i nr 5 — frakcji 0,1 mm

On Fig. a, curve No. 1 refers to non-graded sample, curve No. 2 to grade 0.002 mm., No. 3 — 0.01 mm.; No. 4 — 0.2 mm., No. 5 — 0.1 mm. On Fig. b, curve No. 1 refers to non-graded sample; curve No. 2 to fraction 0.002 mm., No. 3 — 0.001 mm., No. 4 — 0.01 mm., No. 5 — 0.1 mm.

proporcjonalny do stopnia zmniejszania uziarnienia. Krzywa próbki pierwotnej wykazuje wychylenie najwyższe. Odmienność zachowania się próbki Widelki 2 wynika prawdopodobnie z jej charakteru mineralnego (w próbce Widelki 2 obserwuje się przewagę illitu, natomiast w próbce Mójcza 1 — przewagę montmorylonitu) i objęcia analizami frakcjonowanymi tylko 10% części próbki Widelki 2.

#### TERMICZNA ANALIZA RÓŻNICOWA

Termiczną analizę różnicową frakcji materiału ilastego próbki Mójcza 1 i Widelki 2 (fig. 9) przeprowadzono na aparaturze konstrukcji L. Stocha.



Dla frakcjonowanych próbek Widelki 2 charakterystyczne są reakcje endotermiczne w temperaturze 180°, 260°, 630÷650°, 700°, 910° oraz reakcje egzotermiczne w temperaturze 470° i 1020°C. Reakcje w 260°, 470°, 700° i 910°C zanikają w miarę zmniejszania uziarnienia próbek frakcji, natomiast wielkość reakcji zachodzącej w 180°C wyraźnie maleje. Wydaje się, że zmniejszenie efektu reakcji zachodzącej w 180°C znajduje swój wyraz w zwiększonym efekcie reakcji endotermicznej, przebiegającej w zakresie 630÷650°C i przesunięciu ubocznego przegięcia endotermicznego wyraźnie poza granicę 700°C.

Przyczyną zaniku reakcji endotermicznej w 180°C oraz zaburzeń w przegięciu zachodzącym w granicach 630÷650° i 700°C może być zdaniem R. E. Grima, R. A. Rowlanda (1942) zmiana składu mineralnego wywołana zwiększeniem ilości illitu w stosunku do montmorylonitu. Wychylenie egzotermiczne krzywej przy 470°C sygnalizuje obecność pirytu w próbce.

Większą zmienność wykazują krzywe frakcji próbki Mójcza 1. Największe endotermiczne wychylenie krzywej w temperaturze 670°C obserwuje się dla frakcji 0,02 mm średnicy ziarna; należy się zatem spodziewać, że frakcja ta będzie najbogatsza w illit. Wielkość tego przegięcia maleje w miarę wzrostu i zmniejszania się wielkości uziarnienia próbki, osiągając swe minimalne przegięcia dla próbek pierwszej i ostatniej z badanych frakcji. Przeciwny kierunek wielkości przegięcia krzywych reakcji zachodzących w 670°C wykazują reakcje przebiegające w 180°C. Efekty endotermicznej reakcji oddawania wody międzywarstwowej przedstawiają dwa przegięcia krzywej w temperaturze 180° i 260°C. Podobne efekty podwojenia obserwujemy również w temp. 630 ÷ 650° i 700°C. Podwojenie przegięć krzywych reakcji endotermicznych wskazuje na mieszaninę minerałów. Zakresy reakcji i kształt krzywych wskazuje natomiast, że występuje tu mieszanina illitu i montmorylonitu.

Jednocześnie przesuwanie się efektu endotermicznego z temperatury 600° do 700°C wskazuje na zmianę składu od montmorylonitu do illitu. Na wzrost ilości illitu w stosunku do montmorylonitu może również wskazywać wielkość przegięcia krzywej w temperaturze 1020°C świadcząca o krystalizacji spinelu.

Porównanie termogramów próbek bentonitu Widelki 1 i 2 wskazuje na większą ilość illitu w próbce drugiej oraz przewagę tego minerału w porównaniu z próbkami z Mójczy.

Umieszczono w celu porównania termogramy bentonitów z Kinnekulle i stanu Pennsylvania nie odbiegają zasadniczo swym kształtem od krzy-

Fig. 9. Termogramy bentonitów świętokrzyskich

Thermograms of the Święty Krzyż bentonites:

1 — krzywa bentonitu z próbki Widelki 1, 2 — krzywa bentonitu z próbki Widelki 2, 3—7 — krzywe poszczególnych frakcji bentonitu z próbki Widelki 2, 8 — krzywa bentonitu z Kinnekulle (A. M. Byström, 1956), 9 — krzywa bentonitu ze stanu Pennsylvania (C. E. Weaver, 1953), 10 — krzywa bentonitu z próbki Mójcza 1, 11 — krzywa bentonitu z próbki Mójcza 2, 12—18 — krzywe poszczególnych frakcji próbki bentonitu (Mójcza 1).

1 — curve for bentonite from Widelki (sample No. 1), 2 — curve for bentonite from Widelki (sample No. 2), 3—7 — curves for individual graded of bentonite from Widelki (sample No. 2), 8 — curve for bentonite from Kinnekulle (A. M. Byström, 1956), 9 — curve for bentonite from Pennsylvania, 10 — curve for bentonite from Mójcza (sample No. 1), 11 — curve for bentonite from Mójcza (sample No. 2), 12—18 — curves for individual graded of bentonite from Mójcza (sample No. 1)

wych termogramów bentonitów z Widełek i Mójczy. Stosunek mieszaniny minerałów ilastych w bentonitach świętokrzyskich pozwala je umieścić na pośrednim miejscu w porównaniu z typami bentonitu z Kinnekulle i stanu Pennsylvania. Krzywa bentonitu ze stanu Pennsylvania wykazuje więcej illitu w próbce niż bentonity świętokrzyskie, natomiast bentonit z Kinnekulle ma od nich illitu mniej. Uwzględniając stosunek montmorylonitu do illitu wynoszący w bentonicie ze stanu Pennsylvania 1:1 a w Kinnekulle 3:1, możliwe jest przyjęcie dla bentonitów świętokrzyskich stosunku 1:1.

#### BADANIA RENTGENOGRAFICZNE

Z mieszaniny próbek frakcji powyżej 0,05 mm średnicy wykonano rentgenogramy proszkowe. Wyniki liczbowe rentgenogramów bentonitów przedstawiono na tabeli 1.

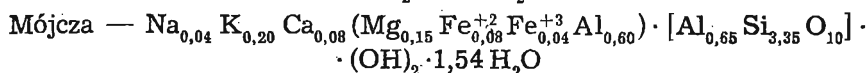
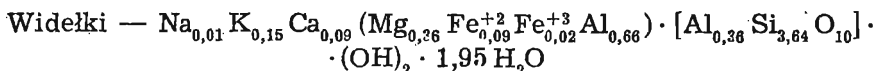
Wyniki te wskazują, że w bentonitach świętokrzyskich występuje mieszanina minerałów ilastych — montmorylonitu i illitu. Prążki 5,10; 4,95; 3,42÷3,27 Å wskazują na obecność illitu, natomiast prążki 12,79÷10,24; 4,58÷4,51, 2,61÷2,57 Å świadczą o obecności montmorylonitu. Poza wymienionymi minerałami w próbkach z Mójczy wyróżnić można kaolinit (7,33 Å), w próbce zaś Widełki 1 — skalenie (7,65; 3,25 Å). Ponadto we wszystkich próbkach stwierdzono prążki świadczące o obecności kwarcu i biotyty (chlorytu).

#### BADANIA CHEMICZNE

Z próbki Widełki 2 i Mójcza 1 wykonano analizy chemiczne próbek niefrakcjonowanych (tab. 2). W celu porównania na tej samej tabeli umieszczono wyniki analiz bentonitów ze stanów Pennsylvania i Alabama oraz Kinnekulle.

Wyniki analiz bentonitów świętokrzyskich nie odbiegają pod względem swego składu od przytoczonych przykładów. Nieco wyższa zawartość  $Al_2O_3$  w próbce Mójcza 1 równoważona jest niedoborem  $SiO_2$ .

Podobnie wysokiej zawartości  $Al_2O_3$  dla bentonitów dotychczas nie znalazłem w piśmiennictwie. Najwyższą ilość tego tlenku zanotowano w analizie bentonitu ze stanu Pennsylvania (tab. 2); normalnie waha się ona w granicach 23%. W analizie próbki Mójcza 1 niski jest również procent wagowy  $MgO$ , gdyż normalnie jest on zawarty w granicach 2÷4% wag. Zawartość wody w bentonitach jest zmienna, zwykle w przedziale 8÷15% wag. Zmienia się również zawartość  $K_2O$  w granicach 2÷8%, podczas gdy ilość  $Na_2O$  nie osiąga zasadniczo 0,30% wag. Dla bentonitów świętokrzyskich na podstawie wyników analiz chemicznych wprowadzono wzory jak dla montmorylonitu:



Wzory te pomijając niedobór krzemionki w analizie bentonitu próbki Mójcza 1 można uważać za zgodne.

Badania spektralne wykonał mgr W. Szczepanowski. Wykazały one obecność ołowiu, galu i wanadu występujących w ilości dziesiątej i setnych procent oraz ślady chromu i kobaltu.

Tabela I

Tabela liczbowa rentgenogramów proszkowych

1		2		3		4	
<i>d</i>	<i>J</i>	<i>d</i>	<i>J</i>	<i>d</i>	<i>J</i>	<i>d</i>	<i>J</i>
12,79 ÷ 10,24	sł	12,50 ÷ 10,86	sł	10,94	sł	10,97	sł
		8,99	bbsł			8,79	sł
7,65	bbsł			7,31	sł	7,33	sł
4,95	bbsł	5,10	bbsł				
4,53	śr	4,58	bs	4,51	śr	4,55	s
				4,20	śr	4,24	śr
3,74	sł	3,74	śr	3,75	bbsł		
				3,60	sł	3,59	śr
3,38	b.sł	3,42	śr	3,42	bbsł	3,41	śr
3,25	bbsł			3,27	bbsł	3,28	śr
2,86	sł						
						2,70	s
2,58	śr	2,61	bs	2,57	śr	2,60 ÷ 2,57	śr
		2,50	śr	2,50	bbsł		
2,46 ÷ 2,36	sł	2,43	śr	2,41 ÷ 2,33	bbsł	2,46	sł
2,35 ÷ 2,12	bbsł	2,37 ÷ 2,15	sł	2,24	bbsł	2,27 ÷ 2,19	sł
				2,10	bbsł		
2,02 — 1,95	bbsł	2,05 ÷ 1,97	sł	2,02 ÷ 1,96	bbsł	2,02 ÷ 1,97	bbsł
1,83 — 1,79	bbsł						
1,73 — 1,62	b.sł	1,73 ÷ 1,64	sł	1,68 ÷ 1,64	sł	1,73 ÷ 1,62	sł
		1,560	bbsł			1,565	bbsł
		1,523	s				
1,504	śr			1,510 ÷ 1,549	śr	1,504	śr
		1,369	bbsł	1,377 ÷ 1,310	bbsł		
		1,314	śr				
1,298	sł			1,294	sł	1,295	bbsł
		1,262	sł	1,260	bbsł		
1,243	bbsł					1,251 ÷ 1,224	bbsł
		1,139	bbsł				
		0,995	bbsł	1,128	bbsł	1,129	bbsł

Objaśnienia: *d* — odległości międzypłaszczyznowe w Å, *I* — natężenie oceniane wizualnie (symbole skali według E. Przybory — Rentgenostrukturalne metody identyfikacji minerałów i skał. Wyd. Geol. 1957). 1. Bentonit z próbki Wiedełki 1. Warunki: promieniowanie CoK $\alpha$ ; filtr Fe; czas naświetlania 5 godzin; V = 35 kV; I = 10 mA. 2. Bentonit z próbki Wiedełki. 2. Warunki: promieniowanie CuK $\alpha$ ; filtr Ni; czas naświetlania 16 godzin; V = 45 kV; I = 12 mA; średnica kamery 57,3 mm; grubość preparatu 0,16 mm. 3. Bentonit z próbki Mójcza 1. Warunki jak wyżej. 4. Bentonit z próbki Mójcza 2. Warunki jak wyżej.

Tabela 2

## Analizy chemiczne bentonitów staropaleozoicznych

Składniki	Nr analiz						
	1		2		3	4	5
	% wagowe	stosunki moleku- larne	% wagowe	stosunki moleku- larne	% wagowe	% wagowe	% wagowe
SiO <sub>2</sub>	50,68	844	47,30	788	50,65	58,88	50,37
TiO <sub>2</sub>	0,19	14	0,95	—	0,35	—	0,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,25	237	30,44	298	27,37	22,91	22,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	4	1,36	8	1,15	0,78	1,11
FeO	1,28	18	1,00	14	0,13	0,86	1,28
MnO	ślad	—	ślad	—	0,002	—	—
MgO	3,37	84	1,50	37	3,75	2,36	3,70
CaO	1,06	20	1,14	20	0,73	ślad	1,25
Na <sub>2</sub> O	0,22	3	0,05	1	0,16	2,42	0,05
K <sub>2</sub> O	3,13	34	4,51	48	5,89	4,30	4,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	1	0,21	1	0,03	0,17	—
H <sub>2</sub> O+	6,40	355	8,29	922	5,73	4,09	6,26
H <sub>2</sub> O—	8,18	454	3,12	346	3,47	3,34	8,20
CO <sub>2</sub>	0,34	—	0,24	—	0,06	—	0,09
Li <sub>2</sub> O	—	—	—	—	0,01	—	—
SO <sub>3</sub>	—	—	—	—	0,01	—	—
Cl	—	—	—	—	0,01	—	—
F	—	—	—	—	—	ślad	—
Razem	99,84	—	100,11	—	99,50	100,11	100,03

Objaśnienia: 1. próbka Widełki 2. sylur; analizował W. Ryka. 2. próbka Mójczy 1. ordowik; analizował W. Ryka. 3. Pennsylvania, ordowik; analizował J. A. Maxwell (C. E. Weaver, 1953). 4. Birmingham (Alabama); analizował D. F. Farrar (W. A. Nelson, 1922). 5. Kinnekulle, ordowik; analizował A. Aaremäe (A. M. Byström, 1956).

## BADANIA MIKROSKOPOWE

W płytkach cienkich bentonit z Mójczy wykazuje strukturę reliktową, popiołową i teksturę brekcjową (tab. I, fig. 11). Bentonit z Widełek zawierający biotyt ma reliktową strukturę popiołową i teksturę siatkową (tab. I, fig. 10). Podobną strukturę do poprzedniej i zacierającą się teksturę siatkową wykazuje próbka bentonitu Widełki 1 bez biotyту. W przeważającej części bentonity są zbudowane z minerałów ilastych, domieszki zaś minerałów obcych stanowią niewielki procent, zwłaszcza w próbce Widełki 1. Podwyższoną ilość domieszek obcych (15%) wykazała analiza planimetryczna próbki bentonitu Widełki 2. Podobny skład domieszek obserwuje się w pozostałych bentonitach, jednakże w próbce Widełki 1 nie spotyka się biotyту, a w próbce Mójczy 1 — skaleni. Stałymi domieszkami tych skał są natomiast kalcyt, tlenki i siarczki żelaza, cyrkon oraz apatyt. Ponadto w próbce bentonitu Widełki 2 nie obserwuje się kwarcu, który jest głównym składnikiem detrytycznym próbki bentonitu z Mójczy.



## Analiza planimetryczna płytki cienkiej bentonitu próbki Widelki 2.

minerały ilaste	84,4
skalenie	6,4
biotyt	6,6
kalcyt	1,7
cyrkon	0,9
tlenki i siarczki żelaza	0,9
apatyt	0,1

Poszczególne minerały w badaniach mikroskopowych przedstawiają się następująco:

**Minerały ilaste:** Montmorylonit zawarty w mieszaninie minerałów ilastych ma niższe współczynniki załamania od illitu i mniejszą dwójłomność. Montmorylonit z Wideltek zbadany szczegółowo wykazał współczynniki załamania w granicach 1,548÷1,553, co pozwala na umieszczenie go w górnych zakresach współczynników tego minerału podawanych przez R. E. Grima (1953) i A. N. Winchela (1953). Różnica w zakresie współczynników pozwala przypuszczać, że dwójłomność tego minerału sięga rzędu 0,005. Kąt osi optycznych dla montmorylonitu z Wideltek zmierzony na stoliku uniwersalnym Fiodorowa wynosi 24°. Ponadto badania wykazały, że ma on równoległe do wydłużenia wyraźną łupliwość.

Kaolinit dostrzeżony został w próbkach bentonitu z Mójczy. Brak w tych próbkach plagioklazów (podobnie jak brak kaolinitu w Widelkach) świadczyć może, że w Mójczy nastąpiło zwierzenie plagioklazów na kaolinit i kwarc. Obecność kaolinitu w próbkach z Mójczy stwierdzają jednocześnie rentgenogramy (tab. 1) oraz kształt kaolinitowych pseudomorfoz po skaleniach. (tabl. I, fig. 11).

**Biotyt** występuje w postaci pojedynczych brunatnych blaszek, osiagających wielkość 0,30 mm. Pleochroizm wyraźny:  $\alpha$  — jasnobrunatny,  $\gamma$  — ciemnobrunatny. Kąt osi optycznych biotyту równy zeru. Najczęściej biotyt spotykany jest w pokrojach własnych (tabl. I, fig. 10), co świadczyć może o jego pierwotnym pochodzeniu. Przecięty prostopadle wykazuje w szlifie delikatną budowę pasową, złożoną z ciemnobrunatnego jądra i jaśniejszej o zielonawym odcieniu obwódki. Podobną budowę pasową opisał A. M. Byström (1956) w biotytach bentonitów w Kinnekulle. Z badań tego autora wynika, że obwódkę w biotytach tworzy chloryt reprezentowany przez amezyt i dafnit. Jest zatem możliwe, że w biotytach bentonitów świętokrzyskich jaśniejsze obwódki są wynikiem procesu chlorytyzacji biotyту.

Skalenie bentonitów świętokrzyskich są nieliczne. W Mójczy uległy one całkowicie skaolinizowaniu, natomiast w Widelkach częściowemu skalcytyzowaniu. Ziarna niezmiennego skalenia, występującego w pokrojach tabliczkowych, osiagają wymiar 0,25 mm. Są to oligoklasy. W niektórych ziarnach skaleni zauważono polisyntetyczne prążkowanie bliźniacze, jednakże zawartości cząsteczek anortytywnej tych skaleni nie udało się obliczyć, ze względu na daleko posunięty proces przeobrażenia.

**Kwarc** osiaga wymiary do 0,20 mm. Zazwyczaj występuje on w postaciach przypadkowych. Szczególnie obfity jest on w bentonicie z Mójczy. Kwarc zawiera liczne kuliste lub przypadkowych kształtów wrostki mi-

nerałów nieprzezroczystych i pręcikowe wrostki minerałów przezroczystych.

Cyrkon występuje w postaciach idiomorficznych i przypadkowych. Ziarna idiomorficzne wykazują zabarwienie brunatne i brak spękań, natomiast ziarna otoczone są bezbarwne i znacznie spękane. Wielkość ziarn idiomorficznych dochodzi do 0,26 mm.

Apatyt występuje wyłącznie w idiomorficznych, wydłużonych słupkach, osiągających wielkość 0,08 mm.

Do wtórnych minerałów obok wymienionych poprzednio kaolinitu i kalcytu należy piryt i uwodnione tlenki żelaza. Występują one w małych ziarnach dochodzących do 0,10 mm i skupiających się zazwyczaj w określonych partiach skały. Ponadto sporadycznie występuje zielony chloryt w skupieniach do 0,05 mm.

#### PETROGRAFICZNE WNIOSKI O GENEZIE

Obecność bentonitów w ordowiku i sylurze świętokrzyskim świadczy o ożywieniu procesów wulkanicznych w tych okresach.

Na podstawie zmienionego materiału piroklastycznego trudno jest dziś określić charakter lawy macierzystej, ze względu na brak znajomości powstałych wówczas skał. O przebiegu erupcji w tych okresach na obszarze świętokrzyskim można wnioskować na podstawie okruchów skał magmowych, występujących w szarogłazach sylurskich (W. Ryka, 1959). Okruchy te reprezentowane są przez dwa typy — porfiry i trachity. Możliwe jest zatem, że okruchy tych skał stanowią odpowiedniki wylewów lawy macierzystej popiołów bentonitowych.

Na podstawie petrograficznych badań ustalono, że bentonity z Kinnekulle są pochodnymi popiołów dacytowych (A. M. Byström, 1956), bentonity ze stanu Pennsylvania powstały z tufów trachitowych i latytowych (C. E. Weaver, 1953), bentonity zaś ze stanów Tennessee, Alabama, Kentucky i Virginia utworzyły się z tufów oraz popiołów ryolitowych i latytowych (C. S. Ross, 1928). Zbliżony zespół fenokryształów bentonitów świętokrzyskich i Pensylwanii, jak również zbieżne wyniki pozostałych badań petrograficznych wskazują na podobieństwo skał macierzystych w obu obszarach. Ponadto na taki typ lawy wskazywać może także obecność okruchów trachitowych z wyższej części profilu geologicznego w Wiśnikach.

Sprawę otwartą stanowi natomiast przynależność okruchów trachitu i porfiru, które mogą odpowiadać poszczególnym erupcjom lub jednej z nich. Możliwe jest również powiązanie sedymentu piroklastycznego z erupcjami za obszarem Gór Świętokrzyskich, występującymi zwłaszcza na Wołyniu. Materiał piroklastyczny mógł przebyć długi transport powietrzny i dlatego też istnieje prawdopodobieństwo związku bentonitów świętokrzyskich z bentonitami Skanii, Bornholmu i Gotlandu, pochodzącymi z centrum regionu wulkanicznego Esphaugen — Hareklett.

Obecność fenokryształów w próbkach bentonitów świadczy o tym, że magma macierzysta popiołów nie miała zbyt wysokiej temperatury, gdyż przed erupcją doszło do ich powstania.

Gorąca lava wyrzucona w zimne powietrze uległa gwałtownemu oziębieniu, w czasie którego nastąpiło jej rozkruszenie na popiół. Podczas transportu powietrznego materiał piroklastyczny nie ulega sortowaniu,

o czym świadczą obserwacje warstewek bentonitowych. Nieznaczne przesortowanie materiału obserwuje się jedynie w próbce Widelki 1, prawie pozbawionej fenokryształów, które gromadzą się zwłaszcza w próbce nr 2. Zaburzenie to może być wynikiem odmiennych warunków sedymentacji w sylurze zachodzącej po dłuższym transporcie powietrznym lub okresowym pogłębianiu się zbiornika wodnego i co wydaje się najbardziej prawdopodobne — redepozycją materiału na jego dnie.

Witroklastyczny materiał popiołowy uległ szybko całkowitemu przeobrażeniu w montmorylonit. Nowy osad krystaloklastyczny, reprezentowany przez stosunkowo mało trwałe montmorylonit, przechodzi pod wpływem działania wody według reakcji w typ illitowy:



Pozostaje do wyjaśnienia zależność tej zmiany od charakteru wody morskiej, jak sądzi C. E. Weaver (1953) i S. B. Hendricks, C. S. Ross (1945) lub też znacznie późniejszego współdziałania wody gruntowej (M. N. Bramlette, 1946). Możliwość obu tych przypadków przyjmuje natomiast A. M. Byström (1956).

Niezakończony proces zamiany montmorylonitu na illit w bentonitach świętokrzyskich wskazuje na zmianę środowiska, w którym odbywa się sedymentacja materiału piroklastycznego. Jako przyczynę przerwania tych przeobrażeń można przyjąć zmianę charakteru chemicznego wody, wywołującej te przeobrażenia. Możliwe jest także, że szybka sedymentacja materiału węglanowego, a zwłaszcza ilastego, spowodowała odcięcie materiału piroklastycznego od dostępu wody i tym samym przerwanie przeobrażeń montmorylonitu w illit.

Bez względu na przyczynę, która wywołała to zjawisko, charakter wody zmienia się na obojętny pod wpływem ubytku jonów potasowych.

Przemiana montmorylonitu w illit wiąże się z odprowadzeniem części krzemionki poza obręb warstw bentonitowych. Uwalniana krzemionka ulega strąceniu na granicy tych warstw tworząc czerty. Utwory takie zostały opisane przez C. E. Weavera (1953) i B. Thorslunda (1948). Obecność czertów w stropie i spagu warstw bentonitowych świadczy o przeobrażeniu montmorylonitu w illit pod wpływem wody gruntowej; natomiast stwierdzenie czertów wyłącznie w spagu bentonitów wskazuje na to, iż zmiany te zaszły znacznie wcześniej pod wpływem działania wody morskiej.

Następny problem związany jest z wysoką zawartością potasu w warstwach bentonitowych. M. N. Bramlette (1946) wskazuje, iż ilość potasu zmniejsza się podczas przeobrażeń szkliwa w montmorylonit. Na wybranym przykładzie przedstawia on tuf bogaty w tlenek potasu odprowadzany całkowicie podczas przeobrażeń. Zawarty w dużych ilościach (przebieżnie 4÷7%  $\text{K}_2\text{O}$  w analizowanych bentonitach został zatem doprowadzony za pośrednictwem wody z otaczających warstw, podczas przeobrażeń montmorylonitu w illit. Innego zdania są C. E. Weaver (1953) oraz S. B. Hendricks i C. S. Ross (1945), którzy twierdzą, że obecność potasu w bentonitach jest pierwotna i wiąże się z wysoką zawartością tego tlenku w kwaśnym szkliwie.

W bentonitach świętokrzyskich materiał pochodzenia wulkanicznego zdecydowanie przeważa nad detrytycznym. Reprezentujący ten materiał

kwarc, cyrkon i być może częściowo skalenie i biotyt składają się za ledwie na parę procent objętości.

Osadzenie materiału wulkanicznego w Górach Świętokrzyskich przebiegało w płytkich zbiornikach o typie szelfowym, na co wskazuje obecność kwarcu jako domieszki. Typowy dla prób bentonitów z Widełek, w przeciwieństwie do prób bentonitów z Mójczy, jest brak chlorytu. Obecność chlorytu związana jest z sedymentacją węglanową (C. E. Weaver, 1953), gdyż obecność MgO w układzie  $Al_2O_3 - SiO_2$  wpływa w hydrotermalnej syntezie na zmniejszenie trwałości układu montmorylonitowego i powstanie chlorytu (D. M. Roy, R. Roy, 1955).

W ostatnim etapie przeobrażeń fenokryształy plagioklazu zostają podstawione kaolinitem i kwarcem (Mójczy) oraz kalcytem (Widełki). Dwojaki sposób przeobrażeń skaleń może być wywołany różnym składem tych minerałów, jak również odmiennymi warunkami panującymi podczas przeobrażeń bentonitów Widełek i Mójczy. Pseudomorfozy kalcytowe po skaleniu mogą być także dalszym stopniem przeobrażenia się powstałego początkowo kaolinitu lub też jakiegoś innego minerału.

Do końcowych etapów przeobrażeń zaliczyć również należy zdiagnozowanie osadu bentonitowego oraz powstanie pirytu i uwodnionych tlenków żelaza.

Autorzy niniejszego opracowania wyrażają głęboką wdzięczność prof. dr A. Łaszkiwiczowi za udzielenie cennych uwag krytycznych. Ponadto autor opracowania petrograficznego żywi wdzięczność i zobowiązanie dla prof. dr A. Gawła, który nie szczędził uwag odnośnie schematu pracy, lecz również szedł z doraźną pomocą.

Zakład Petrografii i Geochemii I. G.  
Świętokrzyska Stacja Terenowa I. G.  
Nadesłano 11 listopada 1958 r.

## PIŚMIENNICTWO

- BRAMLETTE M. N. (1946) — The monterey formation of California and the origin of its siliceous rocks. Prof. Pap., 212, Geol. Survey U. S. Department of the Interior. Washington.
- BYSTRÖM A. M. (1956) — Mineralogy of the ordovician bentonite beds of Kinnekulle Sweden. Sveriges Geologiska Undersökning. 48 (1954), nr 5, [C], nr 540. Stockholm.
- BYSTRÖM A. M. (1957) — The clay minerals in the ordovician bentonite beds in Billingen, Southwest Sweden. Geologiska Föreningens I, Förhandlingar, 79, No 488, nr 1, p. 52—56. Stockholm.
- CZARNOCKI J., SAMSONOWICZ J. (1913) — Drobny przyczynek do znajomości syluru gór kielecko-sandomierskich. Spraw. Tow. Nauk. Warsz., p. 487—491. Warszawa.
- CZARNOCKI J. (1919) — Stratygrafia i tektonika gór Świętokrzyskich. Pr. Tow. Nauk. Warsz., 28. Warszawa.
- CZARNOCKI J. (1928) — Profil dolnego i górnego ordowiku w Zalesiu pod Łagowem w porównaniu z ordowikiem innych miejscowości środkowej części Gór Świętokrzyskich. Spraw. Państw. Inst. Geol., 4, nr 3—4. Warszawa.

- CZARNOCKI J. (1948) — Przewodnik XX Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego w Górach Świętokrzyskich w r. 1947. Roczn. Pol. Tow. Geol., 17, p. 237—299. Kraków.
- FOX P. P., GRANT L. F. (1944) — Ordovician bentonites in Tennessee and adjacent states. Journ. Geol., 52, No 5, p. 319—332. Chicago.
- GIGNOUX M. (1956) — Geologia stratygraficzna. Wyd. Geol. Warszawa.
- GRIM R. E. (1953) — Clay mineralogy. Mc Graw-Hill, series in geology. New York — London — Toronto.
- GRIM R. E., ROWLAND R. A. (1942) — Differential Thermal Analysis of Clay Minerals and Other Hydrous Materials. Am. Min., 27, nr 11, p. 746—581; nr 12, p. 801—818. Washington.
- HENDRICKS S. B., ROSS C. S. (1945) — Minerals of the montmorillonite group. U. S. Geol. Surv., Prof. Pap., 205. [B.], p. 23—77. Washington.
- KSIĄŻKIEWICZ M., SAMSONOWICZ J. (1952) — Zarys geologii Polski. Państw. Wyd. Nauk. Warszawa.
- NELSON W. A. (1922) — Volcanic ash bed in the ordovician of Tennessee, Kentucky, and Alabama. Bull. Geol. Soc. of America, 33, p. 605—615. New York.
- MAŁKOWSKI ST. (1954) — O przejawach wulkanizmu w dziejach geologicznych Gór Świętokrzyskich. Acta geol. pol., 4, nr 1, p. 1—52. Warszawa.
- ROSS C. S. (1928) — Altered paleozoic volcanic material and their recognition. Bull. Amer. Association of Petroleum Geologists., 12, No. 2, p. 143—164, Tulsa, Oklahoma.
- ROSS C. S., SHANNON E. V. (1926) — The minerals of bentonites and related clays and their physical properties. J. Am. Ceram. Soc., 9, No. 2, p. 77—96. Easton.
- ROY D. M., ROY R. (1955) — Synthesis and stability of minerals in the system  $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Am. Min., 40, No 3—4, p. 147—178. Washington.
- RYKA W. (1959) — Przeobrażenia diabazu i skał otaczających w Widelkach. Kwart. geol., 3, nr 1, p. 160—196. Warszawa.
- SAMSONOWICZ J. (1934) — Objaśnienie arkusza Opatów. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- SAMSONOWICZ J. (1939) — Gotland, ordowik i skały wylewne na wschodnim Wołyniu. Woł. Tow. Prz. Nauk. Łuck.
- TOMCZYK H. (1953—1957) — Sprawozdania z badań geologicznych nad stratygrafią syluru i ordowiku Gór Świętokrzyskich. Arch. Inst. Geol. Kielce—Warszawa.
- TOMCZYK H. (1956) — Wenlok i ludlow w synklinie kieleckiej Gór Świętokrzyskich. Pr. Inst. Geol., 16, Warszawa.
- TOMCZYK H. (1957) — O facji graptolitowej karadoku Gór Świętokrzyskich. Kwart. geol., 1, nr 3—4, p. 462—479. Warszawa.
- WAERN B., THORSLUND P., HENNINGSMOEN G. (1948/9) — Deep boring through Ordovician and Silurian Strata at Kinnekulle Vestergotland. Bull. Geol. Inst. Univer. Upsala, 32, p. 337—474. Upsala.
- WEAVER C. E. (1953) — Mineralogy and petrology of some ordovician K-bentonites and related limestones. Bull. Geol. Soc. of Am., 64, Nr 8, p. 921—943. New York.

- ВИКУЛОВА М. Ф. (1957) — Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. Госгеотехиздат. Москва.
- WINCHELL A. N., WINCHELL H. (1951) — Elements of optical mineralogy. New York.

Wacław RYKA, Henryk TOMCZYK

### BENTHONITES IN OLD PALAEOZOIC SEDIMENTS FROM THE ŚWIĘTY KRZYŻ MOUNTAINS

#### Summary

Geological investigations of the Ordovician and Silurian in the Święty Krzyż Mountains disclosed the occurrence of thin bentonite intercalations.

In the Ordovician sediments at Mójcza, three series may be distinguished. Directly upon the Cambrian are deposited sediments of Llandeilo age — Orthosandstones, platy limestones with *Asaphus*; and marly limestones too, with Echinospaerites, belonging to the Caradocian (J. Samsonowicz, 1952; H. Tomczyk, 1957). The bentonite intercalations lie on top of the complex of grey limestones with *Asaphus*, and about 3 m. below the limestones with Echinospaerites, thus characterizing the boundary between the Llandeilo and the Caradocian (Fig. 5).

According to P. Thorslund's (1946—48) investigations, the appearance of numerous bentonite intercalations is known from the Swedish Ordovician (in Västergötland, in the region of Kinnekulle). Here the bentonite strata were found several meters below horizon *Dicranograptus clingani*, at the bottom of a limestone complex with *Asaphus? glabratus* (Ang.); they reach as far as horizon *Diplograptus molestus*. The stratigraphical position of these bentonites corresponds to the Lower Caradocian or the top of the Llandeilo. For this reason it seems probable that the bentonites appearing in bore hole Kullatrop in Sweden (P. Thorslund, 1946—48) might, as to their age, correspond to the bentonite intercalation at Mójcza near Kielce. This seems the more probable since, on the area of the Święty Krzyż Mountains, no symptoms of volcanic activity are known during the Ordovician (S. Małkowski, 1954; J. Samsonowicz, 1934, 1952). At those times, these processes might have taken place in Volhynia (J. Samsonowicz, 1939) or, in the north, in Scandinavia.

The bentonite, identified at Widełki, appears in sediments of the Lower Ludlovian (graptolite shales), i.e. in the bottom part of horizon *Lobograptus scanicus*, since underneath the bentonite intercalation index forms appear but sporadically, and *Pristiograptus nilssoni* forms already appear (Fig. 6).

In the Święty Krzyż Mountains, the top part of horizon *Pristiograptus nilssoni* and the commencement of horizon *Lobograptus scanicus* which mark the appearance of the bentonite, are in interesting period. It happens to be approximately this period in which, in the Lysogóry, region in the north and in the Młedzycgórz basin in the east, the argillaceous facies (graptolite shales) changes into a greywacke-clayey one (H. Tomczyk, 1956). The typical flysch sediments that were formed during this

period, anteceded the movements of the Ardennes synorogeny which went forth in the central part of the Święty Krzyż area later, during the Middle Ludlovian (J. Samsonowicz, 1952). Undoubtedly, with the Ardennes phase must have been connected volcanic processes, as indicated by numerous fragments of volcanic rocks found at the top of the Middle Ludlovian greywacke beds. It seems possible too that the bentonite of Widełki, appearing at the bottom of horizon *Lobograptus scanicus*, is connected with the initial symptoms of volcanism, whereas the most intensive volcanic activity took place in the Ardennes phase.

On the basis of petrographic investigations by microscope, there may be distinguished four types of bentonites.

Investigations of the granulation as well as the dehydration of the samples and their fractions have disclosed their similarity (Fig. 7,8). A differential thermal analysis of the finegrained fractions of the samples showed that the fundamental mass of argillaceous minerals consists of illite and montmorillonite, mixed in various proportions (Fig. 9). Thermal investigations reveal that both these component argillaceous minerals of the investigated bentonite samples approach the proportion of 1:1. X-ray tests confirmed the results of these thermal investigations; furthermore, they indicate the presence of kaolinite at Mójcza and of biotite in the bentonite sample from Widełki. On the other hand, as to their chemical composition, the Święty Krzyż bentonites resemble the bentonites from Birmingham and Kinnekulle (Table 2).

The Święty Krzyż bentonites show a relic ash texture and a brecciated (Mójcza, Fig. 11) and reticulated (Widełki, Fig. 10) structure. Aside of the previously mentioned argillaceous minerals (85%), the authors additionally indentified, in the samples, phenocrysts of feldspars, biotite, quartz, zircon and apatite.

The similarity of phenocryst assemblages in both the Święty Krzyż and the Pennsylvania bentonites, as well as the concordant results of the remaining investigations are evidence of the similarity of the mother rocks in both areas (trachytes and latites).

The trachytic character of the mother rock is also indicated by the occurrence of trachytic clastic fragments within the upper part of the geological section. However, conceivable is likewise the derivation of the described pyroclastic material from an area beyond the Święty Krzyż Mountains and its connection with the bentonites of Scania, Bornholm and Gotland.

The presence of phenocrysts is evidence of a moderate temperature of the magma.

The bentonite material — with the exception of the sample from Widełki — appears to be well sorted, caused by redeposition at the bottom of the aquatic basin.

#### TABLICA I

**Fig. 10.** Bentonit z Widełek (próbka nr 2). Struktura reliktoowo-popiołowa i tekstura siatkowa. Widoczne ciemne blaszki biotytu i jaśniejsze ziarna skalcytzowanego skalenia. Tło skały stanowi drobna masa minerałów ilastych reprezentowanych przez illit i montmorylonit. Powiększenie 50×, nikole skrzyżowane.

Bentonite from Widełki (sample No. 2). Relic ash texture and reticulated structure. Visible are dark biotite flakes and lighter-coloured grains of calcitized feldspar. The groundmass of the rock is formed by a fine mass of argillaceous minerals, consisting of illite and montmorillonite. Enlarged × 50, crossed nicols

**Fig. 11.** Bentonit z Mójczy. Tekstura reliktoowo-popiołowa, tekstura brekcjowata. Wśród drobnej masy illitowo-montmorylonitowej znajdują się okruchy skaolinizowanego skalenia oraz jaśniejsze od masy minerałów ilastych ziarna kalcytu. Powiększenie 50 ×, nikole skrzyżowane.

Bentonite from Mójcza. Relic ash texture and brecciated structure. Amidst the finegrained mass of illite-montmorillonite there are visible fragments of kaolinized feldspar and, lighter-coloured than the argillaceous minerals, calcite grains. Enlarged × 50, crossed nicols



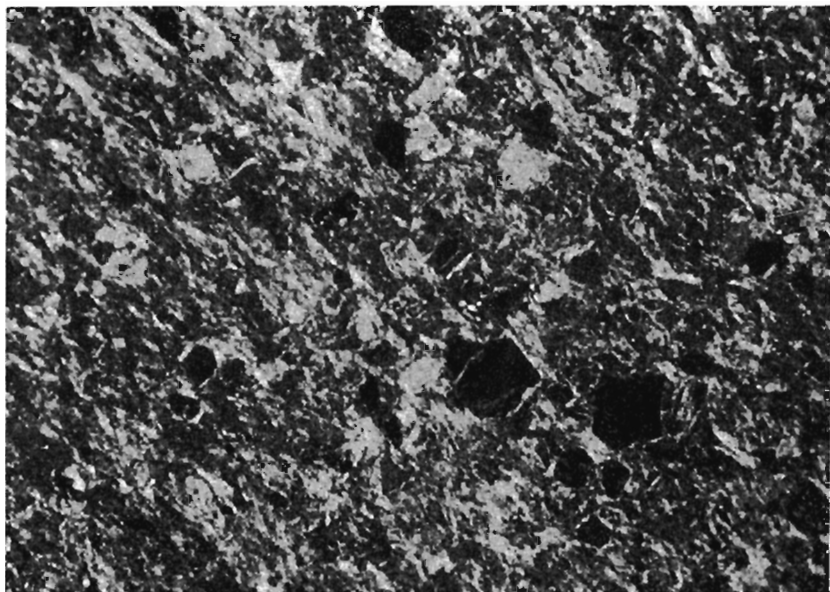
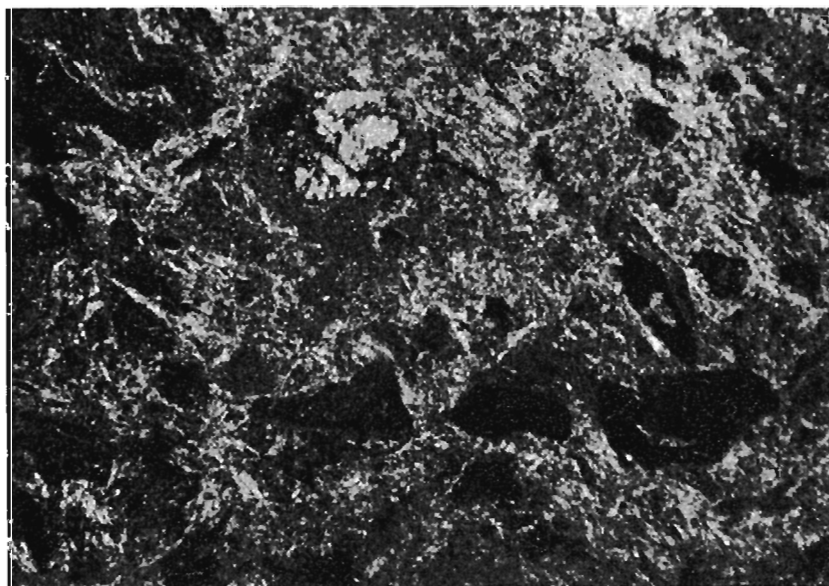


Fig. 10



F.g. 11