

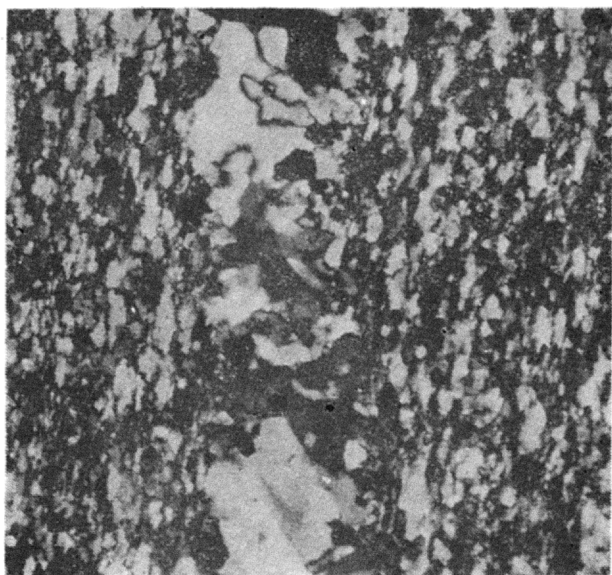
WYSTĘPOWANIE I GENEZA TURKUSU Z PUSTKOWIA WILCZKOWSKIEGO KOŁO WROCŁAWIA

UKD 549.755.346.02.08

Turkus (kalait) — $\text{CuAl}_2[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ tworzy ciągły szereg izomorficzny z chalkosyderytem $\text{CuFe}[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Jest to minerał krystalizujący w układzie trójskośnym w klasie pinakoidalnej. W przyrodzie, najczęściej występuje on w postaci skupień zbitych i skrytokrystalicznych, a także naskorupień, nacieków i konkrecji, rzadko jest spotykany w postaci słupków; posiada lupliwość doskonałą według (001) i wyraźną według (010), przełam muszlowy, twardość 5—6, c. wł. 2,6, połysk szklisty lub woskowy. Barwa turkusu jest niebieska, a chalkosyderytu bardziej zielona. W świetle przechodzącym turkus wykazuje słaby pleochroizm w odcieniach niebieskich, a sferosyderyt — zielonawych. Współczynniki załamania światła wynoszą: $n_\alpha = 1,610\text{—}1,775$, $n_\beta = 1,620\text{—}1,840$, $n_\gamma = 1,650\text{—}1,844$. Większe wartości dotyczą chalkosyderytu.

Wielkie złoża turkusu w górach Ali-Mirsa-Kuh koło Maden w pobliżu Nishapur w Iranie jest eksploatowane już od starożytności. Znane są również złoża na półwyspie Synaj oraz w Wadi Maghara (Egipt). Ciekawe odmiany tego minerału występują także w okolicy Karkalinska koło Semipałatyńska oraz w okolicy Samarkandy w ZSRR. W Polsce niewielkie ilości turkusu, jak podaje H. Traube (7) i A. Bolewski (4), stwierdzono podczas eksploatacji nefrytu koło Jordanowa na Dolnym Śląsku oraz wśród kutek kwarcytowych w Grabinie koło Świdnicy, a także w Gozdnie koło Złotoryi oraz w Damianowicach i Pustkowie Wilczkowskim koło Wrocławia.

Dominującym typem skały macierzystej, w której występuje turkus w okolicach Pustkowie Wilczkowskiego jest łupek kwarcytowy, ciemnoszary, miejscami czarny (ryc. 1) o teksturze typowo warstwo-



Ryc. 1. Łupek kwarcytowo-grafitowy; Pustków Wilczkowski, nikole X, pow. 30×.

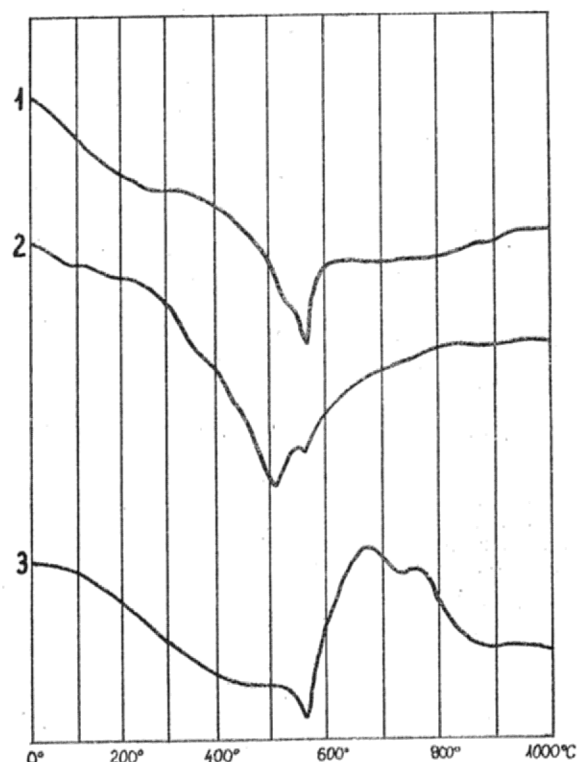
Fig. 1. Quartzite-graphite schist; Pustków Wilczkowski; crossed nicols. × 30.

wej. Grubość poszczególnych warstewek wynosi w nim kilka milimetrów. Są w nich widoczne wtrącenia substancji grafitowej. W przestrzeniach międzywarstewkowych zawiera niewielkie nagromadzenia makroskopowo białych lub brunatnożółtych minerałów o pokroju drobnoluseczkowatym. Skupieniom brunatnożółtym towarzyszy duże nagromadzenie związków żelaza. Z badań TAR (ryc. 2, krzywa 1 i 2) oraz rentgenograficznych wynika, że minerały drobnoluseczkowate odpowiadają illitowi. Świadczą o tym słabo zaznaczone efekty endotermiczne w temp. 100—300°C i 450—540°C oraz charakterystyczne dla illitu odległości międzypłaszczyznowe $d(\text{\AA})$ — 9,865, 4,982, 4,460, 3,876, 3,487, 3,333, 3,197 i in.

Przeciętna wielkość ziarn kwarcu w łupku kwarcytowym z Pustkowa Wilczkowskiego wynosi ok. 0,01 mm. Mineral ten wchodzi w skład agregatów, albo ma budowę mozaikową. Niekiedy tworzy większe lepido- lub granoblasty. We wszystkich wypadkach ściemnia światło w sposób niejednostajny. Tworzy także żyły różnej grubości. Większe osobniki mają charakter idiomorficzny. Towarzyszą im większe koncentracje turkusu (ryc. 3). Z przebiegu żył kwarcowych wynika, że okwarcowanie omawianych skał przebiegało w kilku etapach. Wędrówka krzemionki zachodziła w tych skałach przez długi czas, a nawet przypuszcza się, że zachodzi ona również współcześnie. Wskutek rekrystalizacji dochodzi do lepidoblastezy, a z upływem czasu do granoblastezy i do idiomorfizacji kwarcu. Formy idiomorficznego kwarcu w omawianych łupkach kwarcytowych należą do najmłodszych składników w procesie tworzenia się tego mineralu.

Obecność grafitu potwierdzono badaniami przy użyciu termicznej analizy różnicowej (ryc. 2, krzywa 3). Reakcje pochodzące od grafitu mają charakter egzotermiczny i zaznaczone są w temp. 660° oraz 750°C. Temperatury te wskazują, że łupek kwarcytowy z Pustkowa Wilczkowskiego uległ metamorfizacji w facji zielenkowej, a temperatura jaka towarzyszyła temu procesowi wynosiła ok. 250—300°C (3).

Turkus z Pustkowa Wilczkowskiego jest wykształcony w postaci drobnoluseczkowatych skupień (ryc. 4) o budowie promienistej (ryc. 5). Makroskopowo jest niebieski, niekiedy przyjmuje zabarwienie zielonkawe. Przy jednym nikolu wykazuje słabo dostrzegalny pleochroizm w odcieniach barwy niebieskawej. Na obrzeżach niektórych skupień zauwa-

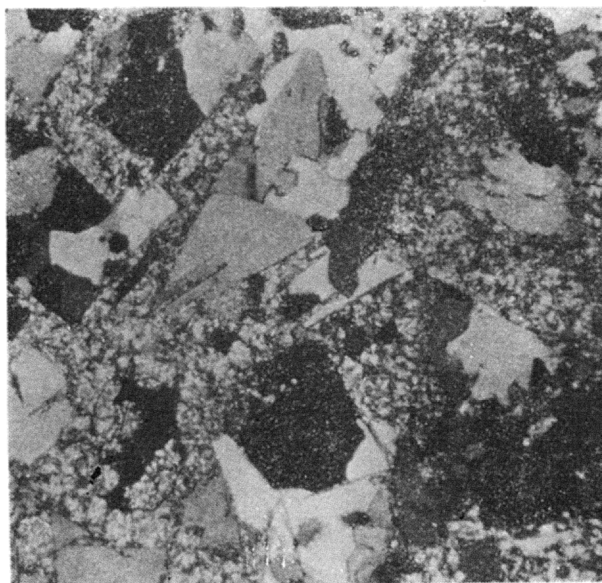


Ryc. 2. Krzywe termicznej analizy różnicowej (TAR) skał metamorficznych z Pustkowa Wilczkowskiego koło Wrocławia.

1 — drobnoluseczkowata substancja mineralna o barwie białej, 2 — drobnoluseczkowata substancja mineralna o barwie rdzawej 3 — łupek kwarcytowo-grafitowy.

Fig. 2. Differential thermal analysis (DTA) curves for metamorphic rocks from Pustków Wilczkowski near Wrocław.

1 — fine-shally white mineral matter, 2 — fine-shally rusty-coloured mineral matter, 3 — quartzite-graphite schists.



Ryc. 3. Skupienia turkusu w towarzystwie idiomorficznie wykształconych kryształów kwarcu; Pustków Wilczkowski, nikole X, pow. 30×.

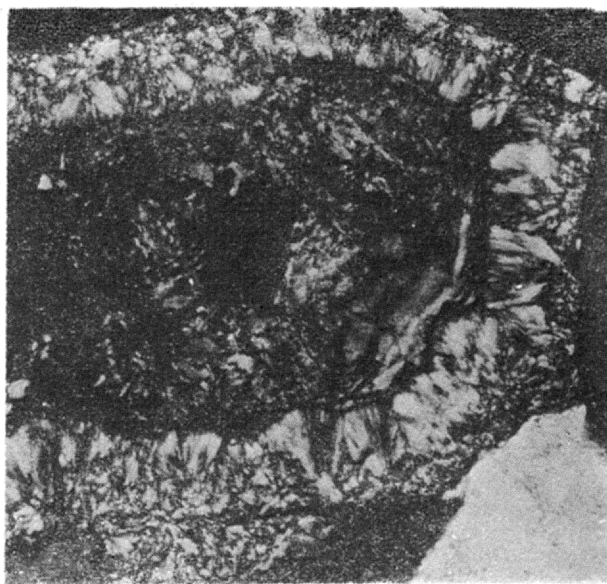
Fig. 3. Accumulation of turquoise accompanied by idiomorphic quartz crystals; Pustków Wilczkowski; crosses nicols, × 30.

Tabela I

ODLEGŁOŚCI MIĘDZYPLASZCZYZNOWE $d(A)$ MINERALÓW WCHODZĄCYCH W SKŁAD ŁUPKU KWARCYTOWO-ILLITOWEGO Z PUSTKOWIA WILCZKOWSKIEGO

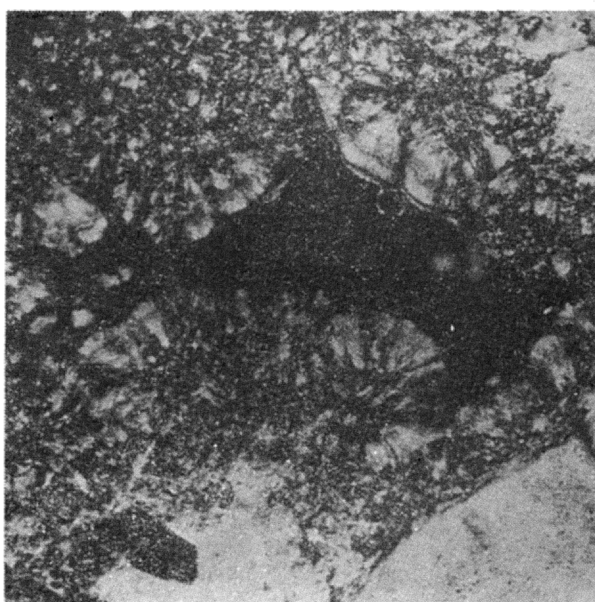
$d(A)$	I	Mineral
9,865	1	Ill.
7,092	1	Chl.
6,758	1	Tur.
6,108	1	Tur.
4,982	4	Ill.
4,700	1	Chl.
4,461	3	Ill.
4,250	10	Q
3,876	2	Ill.
3,695	5	Ill. Tur.
3,487	3	Ill.
3,333	10	Q, Ill.
3,197	3	Ill.
2,986	3	Ill.
2,557	3	Ill.
2,450	10	Q, Ill.
2,379	1	Q, Ill.
2,275	9	Q
2,233	7	Q, Ill.
2,125	9	Q, Ill.
1,996	4	Q
1,977	7	Ill.
1,813	10	Q
1,703	1	Q
1,669	8	Q, Ill.
1,660	5	Q, Ill.
1,539	10	Q
1,502	1	Q, Ill.
1,450	3	Q

Objaśnienie: Q — kwarc, Chl. — chloryt, Ill. — illit, Tur. — turkus



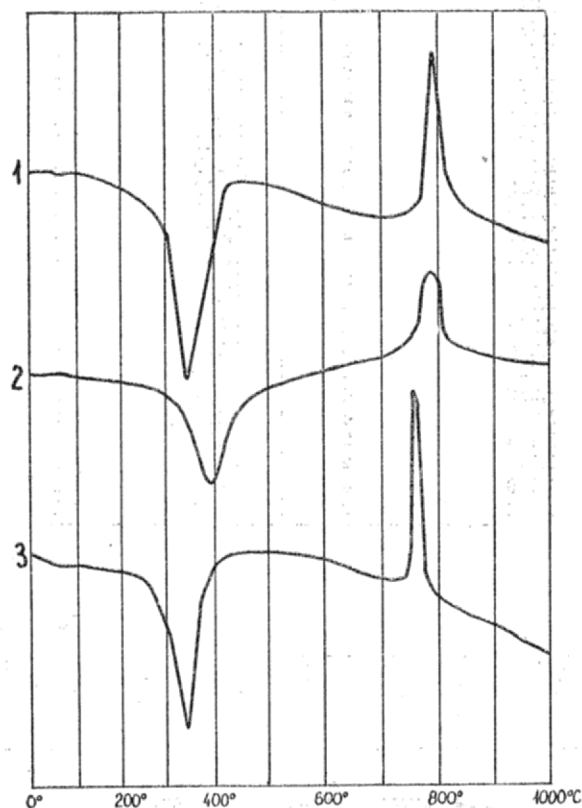
Ryc. 4. Drobnoluseczkowate skupienia turkusku; Pustków Wilczkowski, nikole X, pow. 30X.

Fig. 4. Fine-shaly accumulations of turquoise; Pustków Wilczkowski; crossed nicols, $\times 30$.



Ryc. 5. Skupienia turkusku o budowie promienistej; nikole X, pow. 30X.

Fig. 5. Concentrations of turquoise with radial structure; crossed nicols, $\times 30$.



Ryc. 6. Krzywe termicznej analizy różnicowej (TAR) turkusku.

1 — turkus z Pustkowie Wilczkowskiego, 2 — turkus (wg W. I. Iwanowej, 1961), 3 — turkus (wg A. Banerjee, 1972).

Fig. 6. Differential thermal analysis (DTA) curves for turquoise.

1 — turquoise from Pustków Wilczkowski, 2 — turquoise (after W. I. Iwanowa, 1961), 3 — turquoise (after A. Banerjee, 1972).

Tabela II

ODLEGŁOŚCI MIĘDZYPLASZCZYNOWE $d(\text{\AA})$ TURKUSU

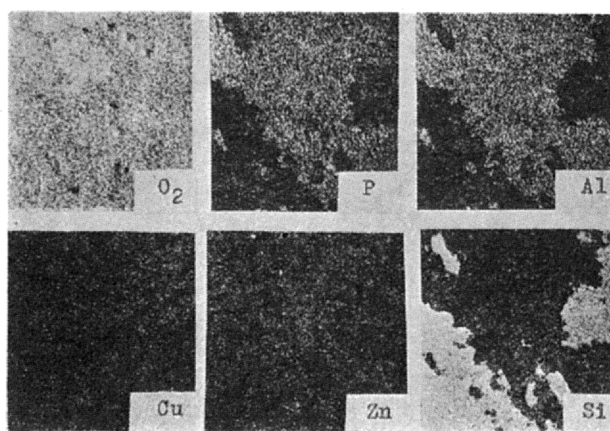
Turkus (dane wg W. J. Michiejewa 1957)		Turkus z Pustkowie Wilczkowskiego	
$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I
6,9	5	6,707	2
6,2	6	6,150	4
5,4	2	5,246	1
4,6	6	4,483	1
4,37	4	4,369	3
4,09	4	4,081	2
3,69	10	3,677	10
3,46	6	3,416	7
3,28	6	3,338	10 (+Q)
3,24	2	3,241	1
3,09	2	3,078	4
2,92	8	2,893	9
2,53	4	2,535	1
2,49	2	2,455	5
2,41	4	2,411	2
2,37	2	2,350	2
2,31	4	2,294	2
2,24	4	2,239	3
2,18	4	2,178	3
2,12	4	2,122	5
2,07	4	2,057	3
2,01	5	2,010	2
1,91	4	1,90	3
1,86	4	1,847	9
1,83	4	1,815	1
1,79	4	1,784	1
1,73	4	1,721	1
1,64	2	1,637	1
1,61	2	1,602	1
1,591	2	1,573	1
1,566	2	1,565	1
1,545	2	1,539	7
1,520	2	1,519	1
1,498	4	1,490	1
1,486	2	1,471	1
1,424	4	1,419	2
1,396	2	1,381	4
1,375	4	1,373	7
1,338	4	1,328	3
1,265	6	1,261	4
1,226	4	1,221	2
1,212	4	1,207	3
1,202	4	1,199	2
1,178	2	1,175	1
1,155	2	1,149	1
1,119	4	1,090	1
1,094	2	1,090	1

Tabela III

WYNIKI ANALIZY CHEMICZNEJ TURKUSU Z PUSTKOWIA WILCZKOWSKIEGO UZYSKANE ZA POMOCĄ MIKROSONDY ELEKTRONOWEJ

Wyniki analizy punktowej w % wag.					Zawartość średnia po uwzględn. poprawki
Cu	2,0	2,7	2,1	2,0	2,2
Al	15,7	17,1	17,2	17,9	23,5
P	16,9	16,1	17,7	17,5	17,0
Zn	0,9	0,6	0,7	1,1	0,9

Wyniki analizy po przeliczeniu na tlenki z uwzględn. H_2O i H^+ w %: CuO — 2,8; Al_2O_3 — 43,5; P_2O_5 — 39,0; H_2O — 7,0; H^+ — 1,0; ZnO — 1,1; Suma — 94,4.



Ryc. 7. Rozmieszczenie O_2 , P, Al, Cu, Zn, Si w mikroobszarze turkus z Pustkowie Wilczkowskiego. Powierzchnia skannowana $300 \times 300 \mu m$.

Fig. 7. Distribution of O_2 , P, Al, Cu, Zn and Si in a microregion of turquoise from Pustkowie Wilczkowskie; scanned surface equal 300×300 microns.

Tabela IV

WYNIKI ANALIZY CHEMICZNEJ ŁUPKU KWARCOWEGO Z PUSTKOWIA WILCZKOWSKIEGO

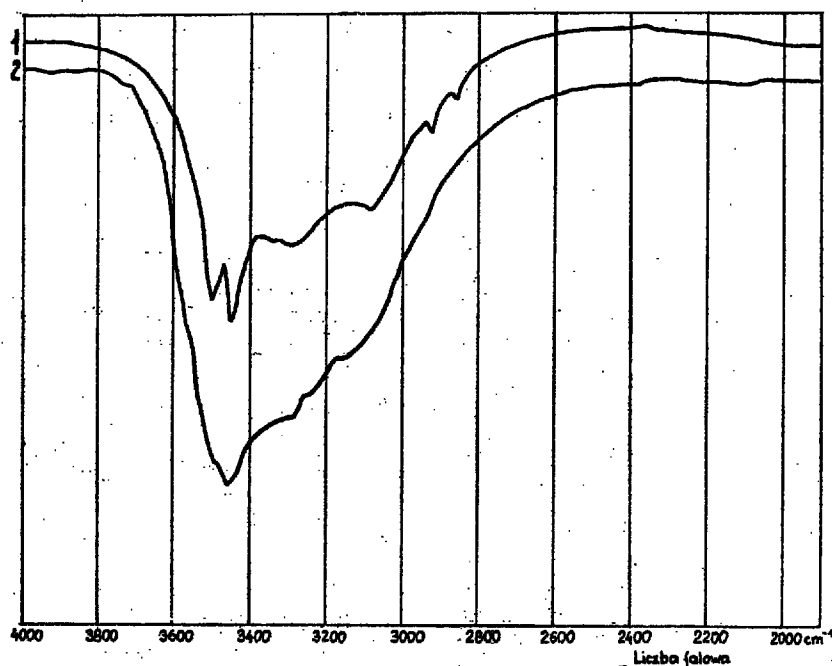
Składnik	zawartość w % wag.
SiO_2	95,54
Al_2O_3	2,33
MgO	ślad
CaO	—
TiO_2	0,09
MnO	0,06
Na_2O	0,02
K_2O	0,08
Fe_2O_3	0,71
H_2O^+	0,30
H_2O^-	0,32
$CO_2 + org.$	0,36
$P_2O_5^*$	ślad (0,05—0,1)
Razem	99,81%

* Zawartość P_2O_5 w warstewce illitowej = 0,83%.

za się wyraźne zbrunatnienie, wynikające z obecności zwiększonych koncentracji żelaza w tych częściach turkus. Towarzyszy im również niewielka domieszka chlorytu. Współczynnik załamania światła $n_x = 1,59$.

Krzywa TAR turkus z Pustkowie Wilczkowskiego (ryc. 6, krzywa 1) wykazuje silny efekt endotermiczny zaznaczony w temp. $350^\circ C$ oraz egzotermiczny w temp. $800^\circ C$. Pierwszy z nich jest wynikiem dehydratacji i dehydroksylacji, drugi jest spowodowany przebudową struktury tego minerału. Na rycinie 6 (krzywe 2 i 3) dla celów porównawczych przedstawiono również krzywe TAR innych turkusów (5. 1). Nieznaczne przesunięcie względem siebie punktów termicznych na poszczególnych krzywych jest m. in. spowodowane zróżnicowaniem składu chemicznego porównywanych minerałów oraz przeprowadzaniem analiz w różnych warunkach.

Wyniki analizy rentgenowskiej turkus z Pustkowie Wilczkowskiego przedstawiono w tab. II. Dla celów porównawczych zamieszczono w niej również odległości międzypłaszczyznowe $d(\text{\AA})$ turkus, zaczerpnięte z pracy W. J. Michiejewa (6). Zbieżność tych danych jest wyjątkowo duża. Nieznaczne różnice w odległościach międzypłaszczyznowych niektó-



Ryc. 8. Krzywe spektrofotometryczne w podczerwieni turkusów.

1 — turkus (wg A. Banerjee, 1973), 2 — turkus z Pustkowie Wilczkowskiego.

rych refleksów są spowodowane niewielkimi różnicami składu chemicznego porównywanych minerałów.

Analizę chemiczną w mikroobszarze przeprowadzono na mikrosondzie Cameca firmy francuskiej. W wybranym mikroobszarze wykonano analizę jakościową, zdjęcia absorpcyjne i topograficzne oraz zdjęcia rozmieszczenia Cu, Al, P, O, Si, Zn. Analizę chemiczną punktową przeprowadzono w czterech punktach. Jej wyniki są przedstawione w tab. III i na ryc. 7. W tabeli tej zamieszczono również średni udział procentowy poszczególnych pierwiastków oraz wyniki przeliczeń analizy na tlenki.

Wymienione składniki stanowią łącznie 86,4%. Oznaczenia zawartości Pb, Mn, Ca, As, Mg, V, Fe

Fig. 8. Infrared spectrophotometric curves for turquoise.

1 — turquoise (after A. Banerjee, 1973), 2 — turquoise from Pustków Wilczkowski.

wskazują, że pierwiastki te występują w ilościach śladowych. Nieco większa jest zawartość Fe, która występuje w próbce jako osobne skupienia. Z analiz tych wynika, że turkus z Pustkowie Wilczkowskiego ma skład chemiczny charakterystyczny dla tego minerału. Po doliczeniu do analizy teoretycznych zawartości wody (H_2O ok. 7%) i wodoru (H^+ ok. 1%) punktowa analiza chemiczna zamyka się na 94,4%. Nieznaczna domieszka Zn (1,1%) w tym mineralu powoduje, że jest on zbliżony do faustytu (Zn, Cu) $Al_4(OH)_4[PO_4]_4 \cdot 4H_2O$. Nierównomierny rozkład Al, Cu, Si, Zn, P, O (ryc. 7) w analizowanej próbce łupku kwarcytowego z zawartością turkusów z Pustkowie Wilczkowskiego wskazuje na wtórny charakter badanego minerału. Wypełnia on drobne spęka-

nia w kwarcu. Rozmieszczenie większości pierwiastków w fosforanie jest równomierne; jedynie w odniesieniu do Zn obserwuje się nieco większą jego koncentrację na kontakcie fosforan — kwarc. Rozmieszczenie tlenu w badanym obszarze jest słabo zróżnicowane, co wynika ze zbliżonych zawartości tego pierwiastka zarówno w fosforanie, jak i kwarcu.

Analizy chemiczne łupku kwarcytowego z Pustkowie Wilczkowskiego oraz występującego w nim przerostu illitowego przedstawiono w tab. IV. Zawartość fosforu w łupku kwarcytowym jest śladowa, natomiast w przerostach illitowych wynosi 0,83%.

Analizę spektrofotometryczną w podczerwieni zarejestrowano widmo w zakresie liczb falowych 4000—1300 i 2000—650 cm^{-1} . Wyniki tej analizy przedstawiono na ryc. 8 (krzywa 2). Do celów porównawczych na rycinie tej zamieszczono również (ryc. 8, krzywa 1) krzywą spektrofotometryczną w podczerwieni turkus, zaczerpniętą z pracy A. Banerjee (1). Są na nich uwidocznione następujące charakterystyczne pasma: 3490 cm^{-1} , 3460 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , 1150 cm^{-1} , 1120 cm^{-1} , 840 cm^{-1} i 800 cm^{-1} .

Z przedstawionych badań wynika, że turkus z Pustkowie Wilczkowskiego jest chemicznie zbliżony do faustytu $(\text{Zn}, \text{Cu}) \text{Al}_2[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$. Powstał on w wyniku krystalizacji z roztworów zasobnych w fosfor i miedź podczas ich wędrowki przez łupki kwarcytowe, lokalnie zasobne w glin. Pochodzenie tych pierwiastków należy wiązać z wyługowaniem łupków kwarcytowych, zachodzącym podczas ich kwarcowania. Opisany turkus jest interesującą ciekawostką mineralogiczną. Nie można natomiast jego

występowania w Pustkowie Wilczkowskim, w obecnym stadium rozpoznania, uważać za złożę możliwe do wykorzystania w przemyśle jubilerskim. Może dalsze prace poszukiwawcze, które zamierzają autorzy niniejszego artykułu w najbliższym czasie przeprowadzić w rejonie Pustkowie Wilczkowskiego, jak również i w innych miejscach, gdzie ten minerał był notowany zostaną w tym zakresie uwieńczone większym sukcesem.

LITERATURA

1. Banerjee A. — Ein Beitrag zum Thema „Türkis“. — Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft. Idar-Oberstein, 1972, H. 2.
2. Bietiechtin A. G. — Mineralogija. Moskwa, 1950.
3. Bljuman B. A., Djakonow Ju. S., Krasawina T. N., Pawłow M. G. — Ispolzowanie termo- i rentgenografических характеристик графита для определения урвня и типа метаморфизма. Записки Всесоюз. Минералогич. Общ. S. II, cz. III. Leningrad, 1974.
4. Bolewski A. — Mineralogia szczegółowa. Wydaw. Geol., 1965.
5. Iwanowa W. H. — Termogramy minerałów. Ibidem, wyp. I, 1961.
6. Michajew W. I. — Rentgenometricheskij opredelitel' minerałów. Moskwa, 1957.
7. Traube H. — Die Minerale Schlesiens. Breslau, 1888.

SUMMARY

Turquoise (calaita, $\text{CuAl}_2[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) from Pustków Wilczkowski near Wrocław was studied with the use of optical, thermal (DTA), X-ray, infrared spectrophotometric, and X-ray microprobe techniques. The content of Zn of the order of 1.1% makes it possible to assign this mineral to faustite, $(\text{Zn}, \text{Cu}) \text{Al}_2[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

РЕЗЮМЕ

Вирюза (каллаит) — $\text{CuAl}_2[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ из местонахождения Пустков Вильчковски близ г. Вроцлава исследовалась методами оптического, дифференциально-термического, рентгенографического, ИК-спектрофотометрического и электронного микроскопического анализов. Содержание в исследованном минерале цинка в количестве 1,1% дает основание определить его в виде фаустита — $(\text{Zn}, \text{Cu}) \text{Al}_2[\text{OH}]_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.