

Jerzy Piaskowski

Dalsze badania metaloznawcze starożytnych przedmiotów żelaznych z ziemi kieleckiej

Rocznik Muzeum Świętokrzyskiego 5, 151-198

1968

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez **Muzeum Historii Polski** w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

JERZY PIASKOWSKI

DALSZE BADANIA METALOZNAWCZE
STAROŻYTNYCH PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH
Z ZIEMI KIELECKIEJ

Ziemia kielecka zajmuje szczególną pozycję w historii metalurgii żelaza na ziemiach Polski, a zwłaszcza w starożytności, kiedy ośrodek hutnictwa świętokrzyskiego był jednym z największych w Europie i największym na wschód od Noricum. Znaczenie tego ośrodka dla archeologii ziem Polski nie zostało jeszcze w pełni docenione i uwzględnione. Wprawdzie okres, kiedy na terenie Gór Świętokrzyskich widziano jedynie puszcze, dostarczającą produktów leśnych¹, minął już zdecydowanie, jednak obecnie archeologowie uwzględniają jedynie fakt istnienia produkcji hutniczej w rejonie Gór Świętokrzyskich, nie doceniając wszakże jej wielkości ani poziomu i znaczenia ludu, który był głównym dostawcą wyrobów żelaznych dla ludności zamieszkującej ziemie pomiędzy Odrą i Wisłą (a może i dalsze tereny).

Badania metaloznawcze starożytnych przedmiotów żelaznych znalezionych na ziemiach Polski, a szczególnie na terenie Kielecczyny, dostarczają dodatkowych danych o hutnictwie świętokrzyskim² i ułatwiają ocenę znaczenia tego ośrodka dla ziem Polski w starożytności.

Zanim jednak przedstawione zostaną kolejne wyniki dalszych badań starożytnych przedmiotów żelaznych z ziemi kieleckiej, przedstawiono w zarysie rozwój zastosowania metod metaloznawczych w badaniach wyrobów żelaznych w archeologii, a następnie opisano tzw. koncepcję starożytnego żelaza świętokrzyskiego.

¹ Tak pisał o ziemi kieleckiej K. Tymieniecki (*Ziemia Polski w starożytności*, Poznań 1951, s. 56).

² Ogólnie znane prace archeologiczne nad odsłonięciem hutnictwa świętokrzyskiego prowadzili K. Bielenin z Muzeum Archeologicznego w Krakowie i M. Radwan, przewodniczący Zespołu Historii Polskiej Techniki Hutniczej i Odlewniczej PAN, autorzy wielu publikacji dotyczących tego tematu. Ostatnie podsumowanie badań zawiera praca: M. Radwan *Methodes appliquees en Pologne dans les recherches sur la siderurgie ancienne des Monts Sainte-Croix*, „Organon” 1965, z. 2, s. 131.

1. ZARYS HISTORII ZASTOSOWANIA METALOZNAWCZYCH BADAŃ DAWNYCH PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH

Początki metaloznawczych badań dawnych przedmiotów żelaznych sięgają końca ubiegłego stulecia, kiedy to Hallbauer poddał badaniom kłamrę żelazną z murów świątyni Artemidy w Magnezji³. Od tego czasu w różnych krajach zbadano pewną ilość przedmiotów żelaznych, były to jednak ilości zwykle ograniczone (np. H. Bell zbadał jeden przedmiot, a R. Hadfield — trzy⁴) i dlatego niewiele można było stwierdzić na podstawie tego rodzaju badań.

Nieco większe ilości zbadanych materiałów zawierają prace H. Hannemanna o wyrobach celtyckich z miejscowości Steinsburg⁵, badania A. Rietha przedmiotów z okresu halsztackiego⁶ (niestety nie dość dokładnie opisane i udokumentowane) oraz książka E. Salina o cywilizacji (i technice) Merowingów⁷. Jednak nawet i te prace nie mogły stanowić jeszcze podstaw do ogólniejszych wniosków.

Nowe perspektywy odsłoniła dopiero opublikowana w 1953 roku praca B. A. Kołczina, obejmująca wyniki badań metaloznawczych 286 przedmiotów żelaznych z 32 stanowisk wczesnośredniowiecznej Rusi (IX—XIII w.)⁸. B. A. Kołczin przeprowadził obserwacje metalograficzne, pozwalające określić sposób wykonania przedmiotu oraz — w niektórych przypadkach — pomiary mikrotwardości i twardości, a także — dla 54 przedmiotów — półilościową analizę chemiczną.

Analiza półilościowa niewiele wносиła do badań, natomiast brak ilościowej analizy chemicznej uniemożliwił B. A. Kołczinowi bliższe poznanie dawnego żelaza. Sądził on, na przykład, że podwyższona o 30—50 kG/mm² twardość ferrytu, jaką stwierdzono w niektórych okazach, była wynikiem procesu starzenia⁹, natomiast, jak wiemy obecnie, przyczyną tego jest podwyższona zawartość fosforu w żelazie dymarskim, co stwierdzono dzięki zastosowaniu ilościowej analizy chemicznej¹⁰.

Praca B. A. Kołczina wywołała duże zainteresowanie badaniami metalo-

³ Hallbauer *Ein Stück historischen Eisens*, „Stahl und Eisen” 1894, t. 14, z. 21, s. 983.

⁴ H. Bell *Notes on a bloom of roman iron found at Carstopitum (Corbridge)*, „Journal of the Iron and Steel Institute” 1912, t. 85, z. 1, s. 118; R. Hadfield *Sinhalese iron and steel of ancient origin*, „Journal of the Iron and Steel Institute” 1912, t. 85, z. 1, s. 134.

⁵ H. Hannemann *Metallographische Untersuchung einiger altkeltischer und antiker Eisenfunde*, „Internationale Zeitschrift für Metallographische Untersuchung einiger altkeltischer Eisenfunde von Steinburg, Praehistorische Zeitschrift”, 1921—22, t. 13—14, s. 94.

⁶ A. Rieth *Die Eisentechnik der Hallstattzeit*, Mannus Böherei 1942, t. 70, s. 148.

⁷ E. Salin *La civilisation mérovingienne*, Paris 1957, s. 5.

⁸ B. A. Kołczin *Czornaja metalurgia i metaloobrabotka w diewniej Rusi*, „Materiały i Issledowanija po Archiologii SSSR” 1953, t. 32, s. 5.

⁹ Tamże, s. 48.

¹⁰ J. Piaskowski *Metaloznawcze badania wczesnośredniowiecznych wyrobów żelaznych na przykładzie zabytków archeologicznych z Łęczycy, Czerchowa i Buczka*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa”, 1959, t. 3, s. 59.

znawczymi dawnych wyrobów żelaznych, także i w Polsce. Zresztą już równocześnie z tą pracą ukazały się wyniki badań kęsa z Witowa, pow. Kazimierza Wielka¹¹, przeprowadzonych przez A. Krupkowskiego i T. Reymana, trzech przedmiotów żelaznych z Biskupina, pow. Żnin¹², przeprowadzonych przez K. Kapitańczyka — ilości zbadanych okazów były jednak niewielkie. Już pod wpływem pracy B. A. Kołczina badania kilku dawnych przedmiotów opublikował A. Zbierski¹³.

Badania metaloznawcze dawnych przedmiotów żelaznych zostały podjęte przez autora w 1955 roku w ramach prac Zespołu Historii Polskiej Techniki Hutniczej i Odlewniczej Zakładu Historii Nauki i Techniki PAN (kierownikiem zespołu był doc. M. Radwan)¹⁴. Objęły one przede wszystkim materiały od czasów najdawniejszych (tj. około VIII wieku p. n. e.) do XIV w., przy czym przyjęto, że badania muszą być kompleksowe, tj. uwzględniające wszystkie potrzebne metody metaloznawcze, które mogą znaleźć zastosowanie w badaniach dużej ilości okazów; metodyka badań wszystkich przedmiotów oraz sposób opracowania i zestawiania materiałów miały być jednolite, tak aby zapewnić całkowitą porównywalność wyników i ułatwić dowolne wykorzystanie danych przez czytelnika.

Oprócz obserwacji metalograficznych (wraz z oceną wielkości ziarna i klasyfikacją struktury wtrąceń żuźla) prowadzono badania mikrotwardości składników strukturalnych metalu, badania jego twardości oraz jakościową (spektrograficzną) i ilościową analizę chemiczną.

Dokładniejsze dane o tych metodach zostaną podane w dalszej części niniejszego opracowania, tu należy jedynie wspomnieć, że zakres badań był szerszy aniżeli zakres stosowany przez innych autorów, także i przez B. A. Kołczina.

Zwiększająca się z roku na rok ilość zbadanych przedmiotów żelaznych

¹¹ A. Krupkowski, T. Reyman *Badania metaloznawcze nad przekutym półfabrykatem żelaza z Witowa, pow. Pińczów, i żużlem dymarkowym z Igołomi, pow. Proszowice*, „Sprawozdania Państwowego Muzeum Archeologicznego w Warszawie” 1953, t. 5, z. 1—2, s. 48.

¹² K. Kapitańczyk *W sprawie hutnictwa wczesnośredniowiecznego w Biskupinie (dane analityczne i technologiczne)*, „Studia Wczesnośredniowieczne”, 1953, t. 2, s. 127.

¹³ A. Zbierski *Wczesnośredniowieczne górnictwo i hutnictwo w świetle materiałów z grodziska łączyckiego*, „Studia Wczesnośredniowieczne” 1955, t. 3, s. 298.

¹⁴ Oprócz autora niektórzy inni członkowie zespołu przeprowadzili i opublikowali badania niewielkiej ilości przedmiotów żelaznych (por. W. Różański *Badania przedmiotów metalowych, pochodzących z grobów ciałopalnych w Opatowie Częstochowskim*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa” 1958, t. 2, s. 99; tenże *Badania metaloznawcze fragmentów żelaznych pochodzących ze stanowiska 4 w Jeleniowie*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1960, t. 8, z. 4, s. 565). Ostatnio podjęli badania A. Mazur z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i E. Nosek z Muzeum Archeologicznego w Krakowie. Publikacje innych autorów wymieniono w pracy: J. Piaskowski *Sprawozdanie z metaloznawczych badań dawniejszych przedmiotów żelaznych w latach 1955—1962*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, t. 8, z. 1, s. 77.

w Zespole Historii Polskiej Techniki Hutniczej i Odlewniczej po jedenastu latach badań przekroczyła 1 100 okazów z ponad 210 stanowisk archeologicznych i miejscowości.

Równocześnie rozwinęły się badania i w innych krajach. W 1959 roku N. A. Kołczin opublikował drugą pracę, zawierającą wyniki badań 276 przedmiotów żelaznych z Nowogrodu (X—XVI w.)¹⁵. Poza tym dużą ilość przedmiotów żelaznych — w tym także i sprzed okresu wczesnego średniowiecza z terenów Łotwy i innych krajów nadbałtyckich zbadał B. A. Anteins¹⁶, wyniki badań przedmiotów scytyjskich opublikowali B. A. Szramko, Ł. A. Sołncew i Ł. D. Fomin¹⁷. Autorzy ci stosowali taki sam zakres badań, jak B. A. Kołczin.

Na mniejszą skalę prowadzone były badania w innych krajach. R. Pleiner w swej książce o wczesnohistorycznym kowalstwie w Europie podał wyniki badań 62 przedmiotów żelaznych z 28 stanowisk archeologicznych z terenu Czechosłowacji¹⁸, a R. F. Tylecote zebrał rozproszone wyniki podobnych badań materiałów z Wielkiej Brytanii¹⁹. Badania niewielkiej ilości przedmiotów żelaznych opublikowano w Niemieckiej Republice Federalnej²⁰, we Włoszech²¹ i in.

KONCEPCJA STAROŻYTNEGO ŻELAZA „ŚWIĘTOKRZYSKIEGO”

Wynikiem opracowania liczebnych danych analitycznych materiałów żelaznych z ziem Polski była wysunięta przez autora koncepcja starożytnego żelaza „świętokrzyskiego”. Geneza tej koncepcji wymaga pewnego wyjaśnienia, była bowiem przedstawiona w publikacji w sposób nieściśły²².

Otóż już w pierwszej fazie badań autor miał okazję zwrócić uwagę na duże różnice w cechach dawnych wyrobów żelaznych, i to różnice mające najwi-

¹⁵ B. A. Kołczin *Železobrabotwajuszczije riemiesło Nowgoroda Wielikogo*, „Materiały i Issledowanija po Archieologii SSSR” 1959, t. 65, s. 7.

¹⁶ A. Anteins opublikował kilka prac, zajmując się szczególnie wczesnośredniowiecznymi „dziwerowanymi” grotami włóczni. Szczególnie dużą ilość wyników badań (260 przedmiotów z 32 stanowisk) zawiera praca A. Anteins *Dzels un terauda izstradajumu strukturas, ipasibas un ozgatavosanas tehnologija senaja Latvija (līdz. 13 gs.)*, „Arheologija un Etnografija” 1960, t. 2, s. 3.

¹⁷ B. A. Szramko, Ł. A. Sołncew, Ł. D. Fomin *Tiechnika obrabotki železa w lesostepnoj i stepnoj Skifii*, „Sowietskaja Archeologija” 1963, z. 3, s. 36.

¹⁸ R. Pleiner *Stare evropské kowarstvi*, Praha 1962, s. 9.

¹⁹ R. F. Tylecote *Metallurgy in Archaeology*, London 1962, s. 175.

²⁰ Obszerniejsze materiały, obejmujące wyniki badań 27 przedmiotów żelaznych, opublikował O. Schaaber *Beiträge zur Frage des Norischen Eisens*, Carinthia 1963, t. 1, s. 129.

²¹ Można tu wymienić przede wszystkim prace C. Panseriego, np. C. Panseri, M. Leoni *Esame metallografico di alcune lame di spade galliche del II sec. A. C.*, „Metallurgia Italiana” 1959, t. 51, z. 1, s. 5.

²² R. Pleiner *Przyczynek do problemu metalurgii wczesnohistorycznej i zagadnienia tak zwanego metalu świętokrzyskiego*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1965, t. 10, z. 1—2, s. 23.

doczniej charakter systematyczny, a nie przypadkowy. Zauważono mianowicie, że prawie wszystkie przedmioty żelazne z Jadownik Mokrych (pow. Dąbrowa Tarnowska) wykonane były z żelaza o niskiej zawartości fosforu (0,03—0,17% P) i o różnym, niekiedy nawet bardzo silnym nawęgleniu pierwotnym (a więc była to raczej stal), podczas gdy wśród materiałów z Nowej Huty-Wyciaży i Igołomi (pow. Proszowice) wystąpiła grupa przedmiotów z żelaza o wysokiej zawartości fosforu (0,32—0,46% P); należące do tej grupy narzędzia były poddane wtórnemu nawęgleniu²³ w celu utwardzenia. Przeprowadzone analizy żużla z obu ostatnich stanowisk wykazały, że przetapiano tam rudę żelaza o dość dużej zawartości związków fosforu.

Wysunięto wówczas przypuszczenie, że przedmioty z wysokofosforowego żelaza z Nowej Huty-Wyciaży i Igołomi są wyrobami miejscowymi, natomiast przedmioty z żelaza niskofosforowego o niekiedy nawet dość silnym nawęgleniu pierwotnym z Jadownik Mokrych pochodziły z jakiegoś dużego ośrodka, gdzie przetapiano niskofosforową rudę żelaza, a mianowicie z ośrodka w rejonie Gór Świętokrzyskich²⁴.

Taki był początek tzw. koncepcji żelaza świętokrzyskiego, jaka została wysunięta, gdy dalsze badania dużej ilości przedmiotów żelaznych potwierdziły obserwację o zróżnicowaniu cech przedmiotów żelaznych występujących w różnych częściach Polski²⁵. Ilość zbadanych przez autora przedmiotów żelaznych zwiększała się z każdym rokiem, dostarczając dalszych danych o systematycznych różnicach cech wyrobów żelaznych w różnych częściach kraju i w różnych okresach czasu.

Zwiększający się materiał doświadczalny pozwalał na coraz szersze stosowanie różnych metod rachunku statystycznego i teorii prawdopodobieństwa.

Pierwsze zestawienie cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego podano w pracy autora oraz T. Różyckiej²⁶, a następnie na sesji Zespołu Historii Polskiej Techniki Hutniczej i Odlewniczej w dniu 25 stycznia 1961 przedstawiono referat zawierający podstawy metody i zestawienie materiałów, które pozwoliły na wyodrębnienie wyrobów świętokrzyskich jako zespołu wykazującego pewien określony zespół cech; zamieszczone wieloboki rozkładu charakteryzowały krzywe prawdopodobieństwa dla poszczególnych cech²⁷.

²³ Chodzi tu o nawęglenie, któremu poddawano narzędzie wykute z żelaza; nawęglenie pierwotne następuje przy wytopie metalu z rudy i daje w rezultacie stal.

²⁴ J. Piaskowski *Metalurgia żelaza w okresie lateńskim i rzymskim w dorzeczu górnej Wisły w świetle badań metaloznawczych* [w:] *Z dziejów starożytnej metalurgii na ziemiach Polski południowej*, Kraków—Nowa Huta, 1956, s. 52.

²⁵ Por. J. Piaskowski *Dyskusja nad koncepcją starożytnego żelaza świętokrzyskiego (w odpowiedzi drowi R. Pleinerowi)*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, 1965, t. 10, z. 3, s. 350.

²⁶ J. Piaskowski, T. Różycka *Badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach Polski w okresie halsztackim i wczesnolateńskim*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1959, t. 7, z. 3, s. 391.

²⁷ Tekst obszernego referatu ogłoszono w pracy: J. Piaskowski *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych produkowanych przez starożytnych hutników w Górach Świętokrzyskich w okresie wpływów rzymskich (I—IV w.n.e.)*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa” 1963, t. 6, s. 9.

W pracy tej przedstawiono także metodę weryfikacji cech oraz wyniki badań fragmentów łupek żelaza z piecowisk świętokrzyskich²⁸; łupki te wykazały te same cechy, co wyodrębnione uprzednio wyroby „świętokrzyskie”.

Koncepcja starożytnego żelaza „świętokrzyskiego” opierała się na stwierdzeniu, że żelazo dymarskie w zależności od rodzaju rudy, a w pewnym stopniu także w zależności od stosowanych zabiegów (np. sposobu doprowadzenia dmuchu) posiada pewne określone cechy składu chemicznego, struktury itp.

Wielkość każdej cechy miała być określona przez krzywą prawdopodobieństwa (wielobok rozkładu) wskazującą częstotliwość występowania poszczególnych wartości każdej cechy. Te krzywe prawdopodobieństwa (wieloboki rozkładu) należało wyznaczyć dla poszczególnych cech wyrobów żelaznych z danego ośrodka hutniczego i istotnie wieloboki takie wyznaczono dla ośrodka hutniczego w rejonie Gór Świętokrzyskich.

Dla wyznaczenia tych wieloboków wykorzystano badania przedmiotów żelaznych z okresu wpływów rzymskich, znalezionych w promieniu ok. 100 km od Gór Świętokrzyskich. Regularny kształt wieloboków wskazywał, że rozpatrywane przedmioty tworzą — ogólnie biorąc — jeden zbiór, który uznano za wyroby „świętokrzyskie”²⁹; ogromna produkcja żelaza w tym czasie w ośrodku świętokrzyskim pozwalała na przyjęcie takiej identyfikacji. Takie wieloboki rozkładu cech żelaza świętokrzyskiego, uzupełnione nowymi materiałami, przedstawiono w dalszej części niniejszej pracy.

Koncepcja starożytnych wyrobów „świętokrzyskich” spotkała się z pewnymi sprzeciwami³⁰. Sprzeciwy te były częściowo wynikiem faktu, iż wnioski, do jakich koncepcja prowadziła, nie były archeologicznie potwierdzone, a częściowo pochodziły z niezrozumienia statystycznych podstaw koncepcji. Dyskutowali rozpatrywali bowiem każdą cechę wyrobów „świętokrzyskich” oddzielnie i dochodzili do niewątpliwie słusznego wniosku, że dana cecha nie jest specyficzna dla ośrodka świętokrzyskiego.

Tymczasem w przedstawionej koncepcji specyficznym jest cały zespół określonych cech, a nawet — ściśle biorąc — zespół określonych krzywych prawdopodobieństwa rozkładu poszczególnych cech.

Z uwagi na poważne konsekwencje koncepcji starożytnych wyrobów „świętokrzyskich” — niezależnie od wypowiedzi w dyskusjach — podjęto szereg prac uzupełniających, podtrzymujących podstawowe tezy koncepcji.

Przede wszystkim na podstawie materiałów analitycznych i w oparciu o dawne źródła pisane wykazano, że istnieje korelacja pomiędzy zawartością fosforu w żelazie dymarskim i w rudzie użytej do wytopu lub w żuźlu³¹. Ozna-

²⁸ Pełne wyniki analiz łupek świętokrzyskich znalezionych przez K. Bieleńską opisano w pracy: J. Piaskowski *Sprawozdanie z badań rudy, żuźla i fragmentów łupek z Podchętym, pow. Kielce, Gardzienia, pow. Lipsko, oraz Jeleniowa i Starej Słupi, pow. Opatów*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1960, t. 8, z. 4, s. 573.

²⁹ Por. J. Piaskowski *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 36.

³⁰ *Dyskusja*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa” 1963, t. 6, s. 86. Por. także: R. Pleiner *Przyczynek do problemu metalurgii wczesnohistorycznej...*, s. 19.

³¹ J. Piaskowski *Correlation between the phosphorus content in iron ore or slag and that in bloomery iron*, „Archaeologia Polonia” 1965, t. 8, s. 83. Także J. Piaskowski *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 33.

cza to praktycznie, że niezależnie od pewnego rozrzutu, uwarunkowanego rozłożeniem fosforu w rudzie i przebiegiem wytopu, z rudy niskofosforowej uzyskuje się żelazo (lub stal) o niewielkiej zawartości fosforu, a z rudy zawierającej dużą ilość tej domieszki — metal wysokofosforowy. Stąd każda grupa przedmiotów z żelaza dymarskiego znaleziona na ziemiach Polski i wykazująca niewielką ilość fosforu, na przykład poniżej 0,15% P, o ile nie była importem, pochodziła praktycznie³² z ośrodka świętokrzyskiego lub ze znacznie mniejszego ośrodka hutniczego na Śląsku Opolskim, gdzie również eksploatowano rudę żelaza o niskiej zawartości fosforu³³.

W swej podstawowej pracy poświęconej istnieniu korelacji pomiędzy zawartością fosforu w rudzie (lub żuźlu) i ilością tej domieszki autor³⁴ na podstawie analiz ustalił następujący wzór określający tę zależność:

$$P_z = (0,12 \div 0,35) (P_2O_5)_s \quad (1)$$

lub

$$P_z = (0,26 \div 0,80) P_s \quad (2)$$

gdzie P_z — zawartość fosforu w żelazie (‰)

P_s — zawartość fosforu w żuźlu (‰)

$(P_2O_5)_s$ — zawartość P_2O_5 w żuźlu (‰)

W przybliżeniu wzór ten odpowiada statystycznej zależności pomiędzy zawartością fosforu w żelazie dymarskim i w rudzie żelaznej, użytej do wytopu, gdyż koncentracja fosforu w rudzie i w żuźlu dymarskim jest zbliżona.

Twierdzenie o istnieniu korelacji pomiędzy zawartością fosforu w żelazie dymarskim i rudzie użytej do wytopu, wysunięte po raz pierwszy przez autora w formie przypuszczenia w 1956 roku³⁵, było postawione już wyraźnie w pracy opublikowanej z T. Różycką w trzy lata później³⁶; w tym też czasie na takiej tezie oparł swą pracę O. Arrhenius³⁷ stwierdzając na podstawie zawartości fosforu określonej w dawnych przedmiotach żelaznych, znalezionych na terenie Szwecji, rodzaj rud użytych do wytopu żelaza, różniących się właśnie zawartością fosforu.

Także R. F. Tylecote w swej książce o metalurgii w archeologii nie tylko przyjmuje tezę o istnieniu korelacji pomiędzy zawartością fosforu w żelazie dymarskim i w rudzie żelaznej, lecz nawet podaje formułę matematyczną przedstawiającą zależność pomiędzy zawartością fosforu w żelazie i w żuźlu

³² Pominięto tu nieznaczne ilości przedmiotów uzyskiwane w nielicznych ośrodkach o ograniczonej produkcji, np. na ziemiach Polski południowej, gdzie przypuszczalnie eksploatowano niewielkie złoża rudy żelaza o niskiej zawartości fosforu oraz natrafienie — wskutek segregacji — na niską zawartość fosforu w metalu wytopionym z rudy wysokofosforowej.

³³ J. Piaskowski *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych i próbek żuźła ze Śląska Opolskiego z ckesu wpływów rzymskich*, „Przegląd Archeologiczny” 1963, t. 15, s. 134.

³⁴ J. Piaskowski *Correlation between the phosphorus content...*, s. 91.

³⁵ J. Piaskowski *Metalurgia żelaza w okresie lateńskim i rzymskim...*, s. 51.

³⁶ J. Piaskowski, T. Różycka, op. cit., s. 389.

³⁷ O. Arrhenius *Die Grundlagen unserer älterer Eisenherstellung*, Stockholm 1959, s. 29.

dymarskim³⁸, opartą wszakże na bardzo małej ilości analiz (2). Istnienie korelacji pomiędzy zawartością fosforu w rudzie i w żelazie dymarskim przyjmują już i inni autorzy, jak J. R. Maréchal³⁹. Nawet R. Pleiner, występując przeciw koncepcji starożytnego żelaza świętokrzyskiego, zauważył, że

...w każdym razie, zdaje się, można liczyć się tutaj z pewną korelacją. Tak więc z rudy o dużej zawartości fosforu z największym prawdopodobieństwem także i w prymitywnej dymarce otrzymano metal ze znaczną zawartością tego pierwiastka. Natomiast z większości rud niskofosforowych [...] było wytapiane żelazo, jak wolno się spodziewać, o szczególnie małej zawartości fosforu⁴⁰

Pomijając dawniejsze prace⁴¹ żaden z autorów publikacji zagranicznych nie kwestionuje istnienia tej korelacji.

Natomiast w kraju twierdzenie o istnieniu korelacji pomiędzy zawartością fosforu w żelazie dymarskim i w rudzie spotkało się początkowo z krytyką pewnych metalurgów, którzy twierdzili, że w procesie wytopu żelaza w piecu dymarskim fosfor nie przechodzi do żelaza⁴², później jednak M. Radwan przyznał, że zjawisko to rzeczywiście zachodzi, nie zajmując wszakże stanowiska odnośnie istnienia korelacji⁴³.

Następnie w podsumowaniu dyskusji nad szczegółowym referatem poświęconym koncepcji starożytnego żelaza świętokrzyskiego⁴⁴ M. Radwan uznał twierdzenie autora, że „niska zawartość fosforu w rudzie wyznaczała niską zawartość tego pierwiastka w metalu” za „dopuszczalne uproszczenie, wystarczające dla pierwszego przybliżenia, ale nie wystarczające, jeśli się uwzględni wagę tego składnika w «koncepcji» metalu «świętokrzyskiego»”⁴⁵, nie wyjaśniając wszakże, w czym twierdzenie autora nie jest wystarczająco udokumentowane.

Tymczasem z prób odtworzenia procesu dymarskiego, prowadzonych przez M. Radwana, wynika, że zależność pomiędzy zawartością fosforu w rudzie i w żelazie dymarskim istnieje nie tylko w sensie jakościowym, lecz także i w sensie ilościowym. Nie wnikając nawet, w danym momencie, w ścisłość

³⁸ R. F. Tylecote, op. cit., s. 253.

³⁹ J. R. Maréchal *La présence d'azote dans les anciens objets en fer*, „Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie” 1963, t. 60, z. 2, s. 138.

⁴⁰ R. Pleiner *Przyczynek do problemu metalurgii wczesnohistorycznej...*, s. 32.

⁴¹ O. Olshausen *Eisengewinnung in vorgeschichtlicher Zeit*, „Zeitschrift für Ethnologie” 1909, t. 41, s. 65; P. Weiershausen *Die Bauernfeuer des Westerwald — und Dillgebietes*, „Mannus” 1941, t. 33, s. 190.

⁴² S. Holewiński, M. Radwan, W. Różański *Z badań nad dymarką świętokrzyską*, „Archiwum Hutnictwa” 1960, t. 5, z. 3, s. 276.

⁴³ M. Radwan *Świadek wiarygodny* [w:] W. Rożdzeński *Officina ferraria abo hutá i wárstát z kuźniami szláchetného dzielá zelázneho* wyd. R. Pollak, M. Radwan, S. Rospond, Wrocław 1962, s. LXIX. Także: M. Radwan *Dotychczasowe próby odtworzenia procesu metalurgicznego w dymarkach typu świętokrzyskiego*, „Archeologia Polski” 1962, t. 7, z. 2, s. 255.

⁴⁴ J. Piaskowski *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 9.

⁴⁵ M. Radwan *Podsumowanie dyskusji*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa” 1963, t. 6, s. 150.

wykresu przedstawionego ostatnio przez M. Radwana⁴⁶, wynika z niego, że przy koncentracji żelaza metalicznego (Fe_{met}) w żużlu powyżej 20% stosunek zawartości fosforu w masie metalu do zawartości fosforu w masie żużla jest stały i prawie równy 0,65.

Tematem dalszych studiów było rozłożenie fosforu w żelazie dymarskim; już w jednej z pierwszych prac stwierdzono segregację (nierównomierne rozłożenie) tej domieszki w żelazie wysokofosforowym⁴⁷. Przeprowadzono więc liczne badania, wykonując kilkakrotnie oznaczenia zawartości fosforu w jednym przedmiocie z żelaza dymarskiego i określając następnie matematycznie zależność pomiędzy rozrzutem analiz (segregacją), a średnią zawartością fosforu⁴⁸.

Zależność tę przedstawiono w nieco innej formie na ryc. 1, wskazującej wyraźnie, że rozrzut zawartości fosforu w żelazie dymarskim ma charakter ściśle ograniczony, że jest on nieznaczny w żelazie niskofosforowym, większy w metalu zawierającym wiele tej szkodliwej domieszki. Przedstawiony wykres pozwala ocenić możliwości tego rozrzutu.

Opracowano także problem uzyskania — na drodze przypadkowego rozrzutu — niskiej zawartości fosforu w żelazie wysokofosforowym. Przyjmując tego rodzaju możliwość, rozpatrywano przedmioty żelazne, gdzie — jak można było przypuszczać — występowały wyłącznie (lub prawie wyłącznie) wyroby z żelaza wytopionego z rudy o podwyższonej zawartości fosforu.

Rozpatrując tak 338 analiz żelaza i stali z 12 stanowisk archeologicznych (V—XI w.) ustalono⁴⁹, że średnie prawdopodobieństwo natrafienia na wynik poniżej 0,2% P w żelazie z rudy wysokofosforowej wynosi 0,367, a prawdopodobieństwo natrafienia na wynik poniżej 0,1% P — 0,113. Jeśli jednak rozpatrujemy tylko przedmioty z żelaza, wtedy prawdopodobieństwo uzyskania wyniku poniżej 0,2% P wynosi tylko 0,117, a prawdopodobieństwo uzyskania poniżej 0,1% P — zaledwie 0,044.

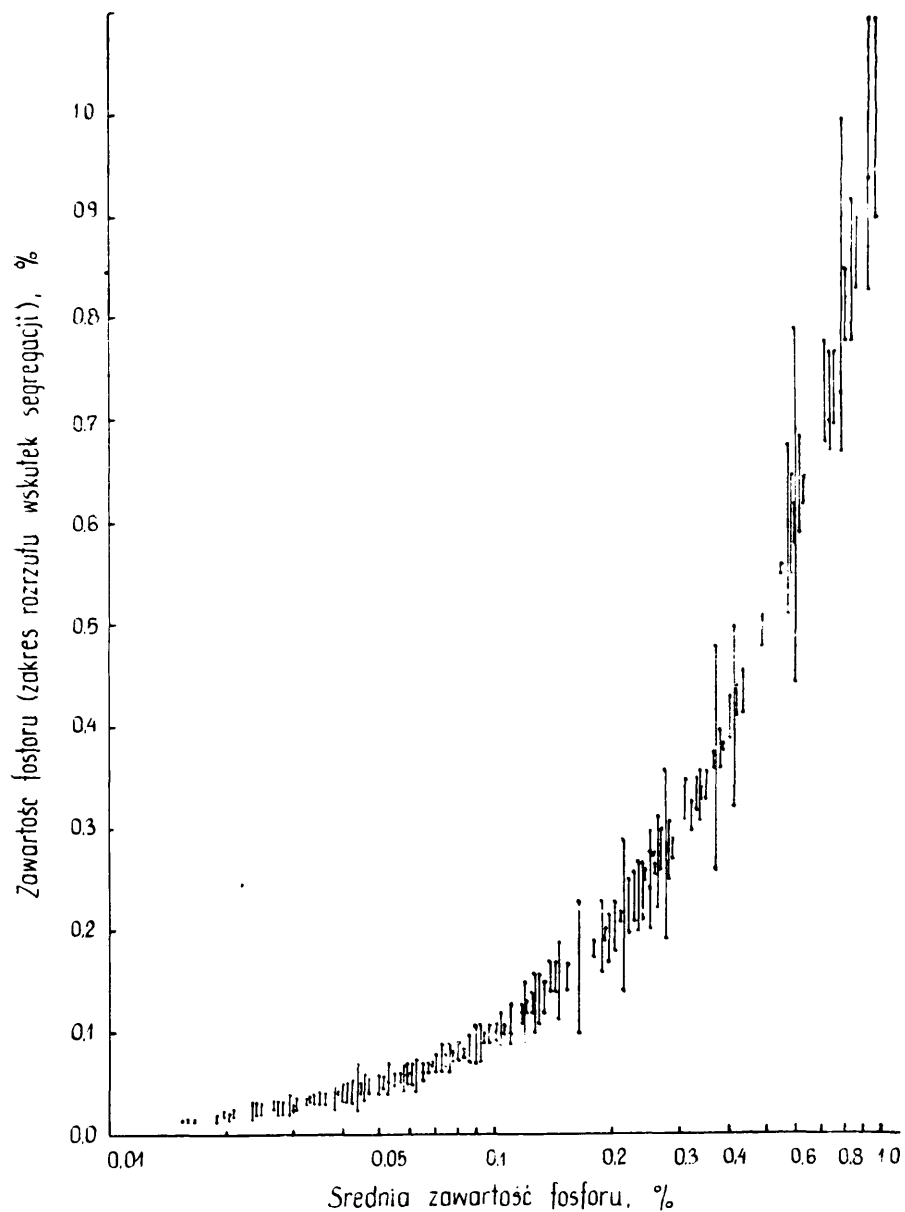
Dla poszczególnych ośrodków produkcyjnych, przede wszystkim w zależności od zawartości fosforu w rudzie żelaznej, wielkości te mogą ulegać pewnym zmianom, w każdym jednak razie pozostają one niewielkie i rozpatrując

⁴⁶ M. Radwan *Dalsze próbné wytopy w piecykach dymarskich typu świętokrzyskiego*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1964, t. 9, z. 3—4, s. 371. Por. także: M. Radwan *Méthodes appliquées en Pologne...*, s. 150. Do tej ostatniej pracy dołączono jednak powielony tekst innego jeszcze obliczenia, z którego wynika, że $P_z = (1,37—2,61) P_s$. Oba wywody M. Radwana mają ten niedostatek, że poszczególne wielkości wykazujące rozrzut statystyczny zostały potraktowane jako wielkości powiązane funkcjonalnie. Dla właściwego rozwiązania zagadnienia należało wyznaczyć — na podstawie odpowiednio licznych analiz — wartości średnie poszczególnych wielkości i wprowadzenie do zależności funkcjonalnych tych właśnie średnich.

⁴⁷ J. Piaskowski *Metaloznawcze badania zabytków archeologicznych z Wyciąża, Igotomi, Jadownik Mokrych i Piekar*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa”, 1958, t. 2, s. 66.

⁴⁸ J. Piaskowski *O pierwotnym sposobie otrzymywania stali przez średnio-wiecznych Słowian*, „Hutnik” 1964, t. 31, z. 12, s. 381.

⁴⁹ J. Piaskowski *Określanie pochodzenia dawnych przedmiotów na podstawie analizy cech*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1967, t. 12, z. 1 s. 61.



Ryc. 1. Zależność rozrzutu analiz zawartości fosforu od średniej zawartości fosforu w dawnych wyrobach z żelaza dymarskiego (na podstawie analiz)

analizy zespołu przedmiotów można wyliczyć na podstawie wzoru z rachunku prawdopodobieństwa, czy przedmioty pochodzą z żelaza uzyskanego z rudy wysokofosforowej, czy też z żelaza wytopionego z rudy o niewielkiej zawartości związków fosforu.

Rozpatrywano także wpływ pierwotnego nawęglania żelaza (podczas wytopu metalu w piecu dymarskim) na przechodzenie fosforu z rudy do żelaza. Z rozważań teoretycznych E. Schürmanna⁵⁰ wynika, że w warunkach silniejszego nawęglania do metalu przechodzi mniej fosforu; twierdzenie to zostało potwierdzone także przez wyniki badań autora⁵¹, przemawiają za tym również podane wyżej wartości prawdopodobieństwa dla różnych zawartości fosforu w zależności od stopnia nawęglania.

Studia nad zawartością fosforu w wyrobach stalowych ze stanowisk archeologicznych, gdzie natrafiano na ślady wytopu rudy wysokofosforowej, wykazały, że zawartość fosforu w stali (a więc w metalu silnie nawęglonym) jest niższa niż w żelazie, jednak możliwości obniżenia zawartości fosforu w warunkach silnego nawęglania są ograniczone i zawartość fosforu w takiej stali jest wyższa (0,08—0,40‰ P) aniżeli ilość tej domieszki w stali uzyskanej z rudy niskofosforowej⁵². A więc i w warunkach silnego nawęglania twierdzenie o istnieniu korelacji pomiędzy zawartością fosforu w rudzie i w uzyskanym z tej rudy metalu pozostaje aktualne.

W każdym razie jednak w ocenie ilości fosforu w metalu pochodzenia dymarskiego należy uwzględnić równocześnie zawartość węgla, na co zwrócono zresztą uwagę już w pierwszej fazie opracowania cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego.

W ten sposób wyczerpująco przeanalizowano zagadnienie fosforu w żelazie dymarskim jako podstawowej domieszki wskazującej na pochodzenie metalu (obok oceny jego jakości), zwłaszcza jeśli chodzi o dawne wyroby żelazne, występujące na ziemiach Polski.

Rozpoczęto także studia nad zróżnicowaniem składu chemicznego żużli dymarskich występujących na ziemiach Polski, szczególnie z uwagi na możliwość występowania różnic w strukturze fazowej żużla, uzależnionej — przynajmniej w pewnym stopniu — od tego składu⁵³. W oparciu o statystyczną analizę 141—190 wyników badań składu chemicznego dawnych żużli dymarskich z 58 (dla zawartości P_2O_5 z 78) stanowisk archeologicznych lub miejscowości zwrócono uwagę na różnice tego składu. Przedstawiono klasyfikację tych żużli według zawartości P_2O_5 , Al_2O_3 i MnO , a zróżnicowanie to potwierdzono na drodze statystycznej analizy żużli z kilku ośrodków dawnego hutnictwa (Śląsk Opolski, Szeligi, pow. Płock, Gdańsk, Tum pod Łęczycą). Analiza ta, oparta na kryterium t, wykazała słuszność zaproponowanej klasyfikacji.

W ten sposób koncepcja starożytnego żelaza świętokrzyskiego (będąca

⁵⁰ E. Schürmann *Die Reduction des Eisens im Rennfeuer*, „Stahl und Eisen” 1968, t. 78, z. 19, s. 1297.

⁵¹ J. Piaskowski *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 41.

⁵² Por. J. Piaskowski *O pierwotnym sposobie otrzymywania stali...*, s. 381; tenże *Dul w dawnej polskiej literaturze hutniczej i jego interpretacja*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1965, t. 13, z. 1, s. 61.

⁵³ J. Piaskowski *Klasyfikacja dawnych żużli dymarskich występujących na ziemiach Polski w świetle statystycznej analizy ich składu*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 1966, t. 14, z. 2, s. 335.

zresztą przypadkiem zastosowania ogólnej metody określania pochodzenia dawnych przedmiotów żelaznych na podstawie badań metaloznawczych) została poparta dodatkowymi studiami. Ilość jednak materiałów, jakie były podstawą do określenia cech świętokrzyskiego żelaza, pozostawała przez dłuższy czas ograniczona.

Dalsze badania dostarczyły dodatkowych danych i do tego zagadnienia. W szczególności cenne są materiały, jakie uzyskano ostatnio z Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach; wyniki tych badań zostały opisane w dalszej części tego opracowania. Zostały one także wykorzystane do ponownego rozpatrzenia cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego.

Za udostępnienie tych materiałów autor składa na tym miejscu podziękowanie Dyrekcji Muzeum, a za trud wyboru okazów do badań — mgrowi Januszowi Kuczyńskiemu, pracownikowi tegoż Muzeum.

STAN BADAŃ I NOWE MATERIAŁY

Przy pierwszym opracowaniu cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego wykorzystano przede wszystkim zbadane przedmioty znalezione w promieniu 100 km od Pasma Łysogórskiego. Były to materiały (38 okazów) ze Starachowic, Wąchocka, pow. Iłża, Gardzienic, pow. Lipsko⁵⁴, Chmielowa Piaskowego, pow. Opatów, Błonia, pow. Sandomierz⁵⁵ i Jadownik Mokrych, pow. Dąbrowa Tarnowska⁵⁶.

Do grupy tej można by jednak dołączyć zbadane materiały z Dratowa, pow. Puławy (5 okazów)⁵⁷ i Iwanowic, pow. Miechów⁵⁸, a także poddane później badaniom przedmioty z osady w Dalewicach, pow. Proszowice⁵⁹, i Igołomii, pow. Proszowice (tylko część okazów datowanych na okres wpływów rzymskich)⁶⁰. Ponadto uzupełniono wyniki analiz trzech przedmiotów ze Starachowic i Wąchocka, pow. Iłża. Wymienione materiały uwzględniono w dalszym opracowaniu cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego (por. dalej ryc. 42—44).

⁵⁴ Por. J. Piaskowski *Technologia i pochodzenie wyrobów żelaznych z północnej Małopolski i Mazowsza w okresie wpływów rzymskich na podstawie badań metaloznawczych*, „Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa” 1962, t. 7, s. 127.

⁵⁵ Por. J. Piaskowski *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z cementarzystych ciałopalnych w Błoni, pow. Sandomierz i Chmielowie Piaskowym, pow. Opatów*, „Sprawozdania Archeologiczne” 1964, t. 16, s. 395.

⁵⁶ J. Piaskowski *Metaloznawcze badania zabytków archeologicznych z Wyciąża...*, s. 32.

⁵⁷ J. Piaskowski *Technologia i pochodzenie wyrobów żelaznych z północnej Małopolski...*, s. 155.

⁵⁸ J. Piaskowski *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z okresu halasztackiego i lateńskiego pochodzących z Małopolski*, „Materiały Archeologiczne” 1960, t. 2, s. 206.

⁵⁹ J. Piaskowski *Sprawozdanie z metaloznawczych badań starożytnych przedmiotów żelaznych i żużla z osad w Dalewicach, pow. Proszowice, i Wólki Łasięckiej, pow. Łowicz*, „Sprawozdania Archeologiczne” 1966, t. 18, s. 356.

⁶⁰ J. Piaskowski *Dalsze badania metaloznawcze przedmiotów żelaznych z Igołomii, pow. Proszowice*, „Wiadomości Archeologiczne” 1968, t. 32, z. 3—4, s. 465.

Przed wszystkim jednak uwzględniono nowe materiały uzyskane z Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach. Były to przedmioty żelazne z wczesnolateńskiego cmentarzyska w Radomiu-Wośnikach (kółko, kawałek drutu i bransoleta), grot włóczni z późnolateńskiego cmentarzyska w Grójcu, pow. Opatów, 7 przedmiotów z wczesnorzymskiego cmentarzyska ciałopalnego w Korytnicy, pow. Jędrzejów (nit, dwie zapinki, dwa fragmenty nieokreślonego przeznaczenia, kluczyk i sprzączka), miecz z tegoż okresu z cmentarzyska w Niegosławicach, pow. Jędrzejów, ostroga z cmentarzyska z Stoczysk, pow. Włoszczowa (okres wczesnorzymski), imacz z cmentarzyska w Sieciechowie, pow. Kozienice, nóż z późnorzymskiego grobu ciałopalnego (?) w Pilicy, pow. Olkusz, nóż z Wąchocka, pow. Iłża, nóż ze Starachowic (oba ostatnie okazy z cmentarzysk późnej fazy okresu rzymskiego) i nit z grobu książęcego w Sandomierzu⁶¹.

Wymienione przedmioty były poddane opisanym dalej badaniom po uprzednim konserwowaniu.

METODY BADAŃ I SPOSÓB ZESTAWIENIA WYNIKÓW

Metody opisywanych badań wyrobów żelaznych nie różniły się od sposobów stosowanych we wszystkich innych podobnych pracach autora. Obejmowały one ilościową i jakościową analizę chemiczną, obserwacje metalograficzne oraz pomiary mikrotwardości i twardości.

Ilościową analizę chemiczną przeprowadzano metodami klasycznymi, zgodnie z normami obowiązującymi dla stopów żelaza. Ze względu na niewielkie ilości materiału, jakim dysponowano, oznaczono przede wszystkim zawartość fosforu w metalu, podstawowej domieszki w żelazie i stali pochodzenia dymarskiego, stosując metodę fotometryczną. Metodę fotometryczną stosowano także przy oznaczaniu zawartości niklu i miedzi, natomiast zawartość manganu określano metodą miareczkową.

Dla określenia zawartości węgla w metalu oparto się na przybliżonej ocenie na podstawie obserwacji metalograficznych.

Jakościową analizę chemiczną przeprowadzano metodą spektrograficzną przy użyciu spektrografu ISP 22, wzbudzając łuk pomiędzy próbkami tego samego materiału.

Strukturę żelaza i stali określono pod mikroskopem metalograficznym przy powiększeniu 100 i 500 razy; próbki trawiono 4% roztworem kwasu azotowego w alkoholu metylowym (azotal). Wraz z oceną struktury określono wielkość ziarna metalu, posługując się polską normą — PN-56/H-04507. Dzieli ona ziarna na klasy od 1 (największe ziarno — 16 ziarn na powierzchni 1 mm²) do 8 (najdrobniejsze ziarno — 2 048 ziarn na 1 mm²).

Na zglądach metalograficznych zbadano mikrotwardość poszczególnych składników struktury, posługując się aparatem Hannemanna i stosując przy tym nacisk 50 G. Każdy wynik jest średnim z 5 pomiarów.

Twardość określano sposobem Vickersa (polska norma PN/H-04360) przy nacisku 10 kG, trwającym 15 sek.

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicach i zestawieniach rysunkowych. Wyniki badań każdego okazu znajdują się w dwóch tablicach. Tablica

⁶¹ Wszystkie dane archeologiczne o tych materiałach zawdzięcza autor mgrowi J. Kuczyńskiemu z Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach.

pierwsza zawiera dane dotyczące pochodzenia okazu oraz wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej. Przy wynikach analizy jakościowej pominięto obecność węgla, krzemu, manganu, fosforu i siarki (a także żelaza), występujących zawsze w żelazie i stali pochodzenia dymarskiego, oraz aluminium, magnezu i wapnia, których obecność stwierdzono we wszystkich badanych próbkach. W kolumnach zawierających wyniki analizy jakościowej znak „+” określa wyraźnie stwierdzoną obecność domieszki, natomiast znak „0” świadczy o obecności jedynie ostatnich (najtrwalszych) linii widma danego pierwiastka.

W drugiej tablicy podano wyniki obserwacji metalograficznych: zestawienie składników strukturalnych, klasę wielkości ziarna, wyniki pomiarów mikrotwardości poszczególnych składników strukturalnych oraz wyniki pomiarów twardości Vickersa.

Przedstawiając wyniki badań w zestawieniach rysunkowych, oparto się na sposobie użytym przez B. A. Kołczina⁶². Na pierwszej rycinie podano wykonany w skali szkic badanego okazu wraz z określeniem miejsca wycięcia próbki do badań metalograficznych. Na drugiej rycinie przedstawiono „technologię” badanego okazu, tj. umownie oznaczony rodzaj metalu, użytego do wyrobu przedmiotu na tle zglądu metalograficznego. Ten szkic zglądu metalograficznego wykonanego zawsze pod kątem 90° do płaszczyzny pierwszego rysunku (szkic okazu) uzupełnia go częściowo, pozwalając zorientować się w przestrzennym kształcie badanego okazu.

Materiał ilustracyjny uzupełniają nadto mikrofotografie struktury metalu.

WYNIKI BADAŃ

Przed opisem badań nowych materiałów dostarczonych z Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach przedstawiono wyniki badań trzech przedmiotów z cmentarzysk w Starachowicach i w Wąchocku, pow. Iłża, jakie znalazły się wśród materiałów uprzednio badanych, lecz zostały wtedy pominięte w badaniach⁶³. Były to: gwóźdź tkwiący w okuciu ze Starachowic, gwóźdź z okucia i nit z imacza z Wąchocka, pow. Iłża. Okazy te pochodzą z okresu wpływów rzymskich. Nie opublikowane dotychczas wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej tych przedmiotów podano w tablicy I, a wyniki obserwacji metalograficznych pomiarów wielkości ziarna oraz pomiarów mikrotwardości i twardości — w tablicy II.

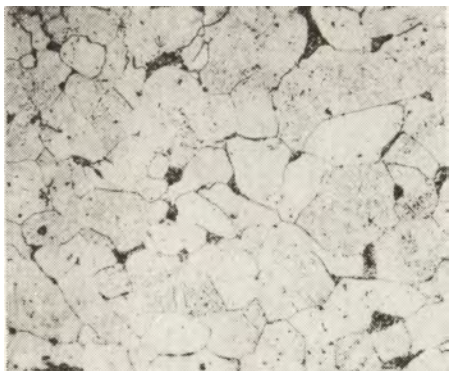
Obserwacje metalograficzne wykazały, że nit, wyjęty z okucia, jakie znaleziono w cmentarzysku w Starachowicach (gr. I nr 7), posiada strukturę miękkiej stali, składającą się z ferrytu i śladów perlitu (ryc. 2).

Obok wtrącen żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) według klasyfikacji autora⁶⁴ występowały wtrącenia dwufazowe typu B (zawierające nieliczne zaokrąglone jaśniejsze wydzielienia na ciemnym tle).

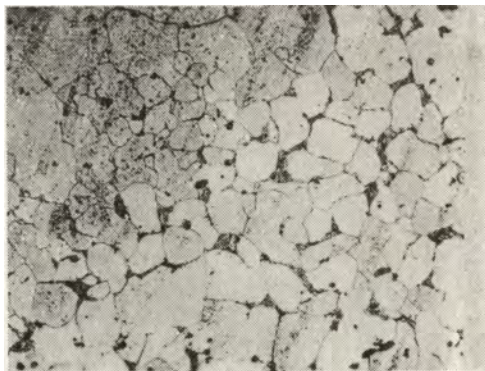
⁶² B. A. Kolczin *Czornaia mietallurgija i mietallobrabotka w drierwniej Rusi...*, s. 73.

⁶³ J. Piaskowski *Technologia i pochodzenie wyrobów żelaznych z północnej Małopolski...*, s. 131.

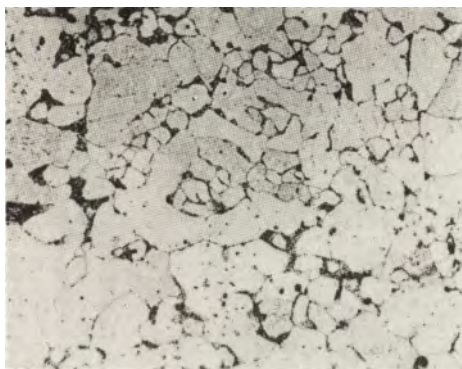
⁶⁴ J. Piaskowski *Dalsze badania technologii wyrobów żelaznych na ziemiach polskich w okresie halsztackim i wczesnolateńskim*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, 1963, t. 11, z. 1, s. 3.



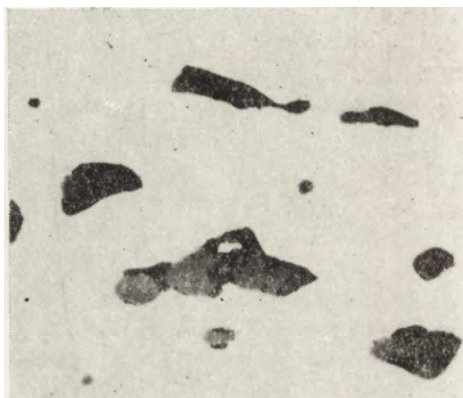
Ryc. 2. Struktura nitu z okucia ze Starachowice: ferryt, ślady perlitu i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 3. Struktura gwoźdźcia z okucia z Wąchocka, pow. IIża: ferryt, perlit i wtrącenie żużla, traw. azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 4. Struktura trzpienia nitu z imacza tarczy z Wąchocka: ferryt, perlit i wtrącenie żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)

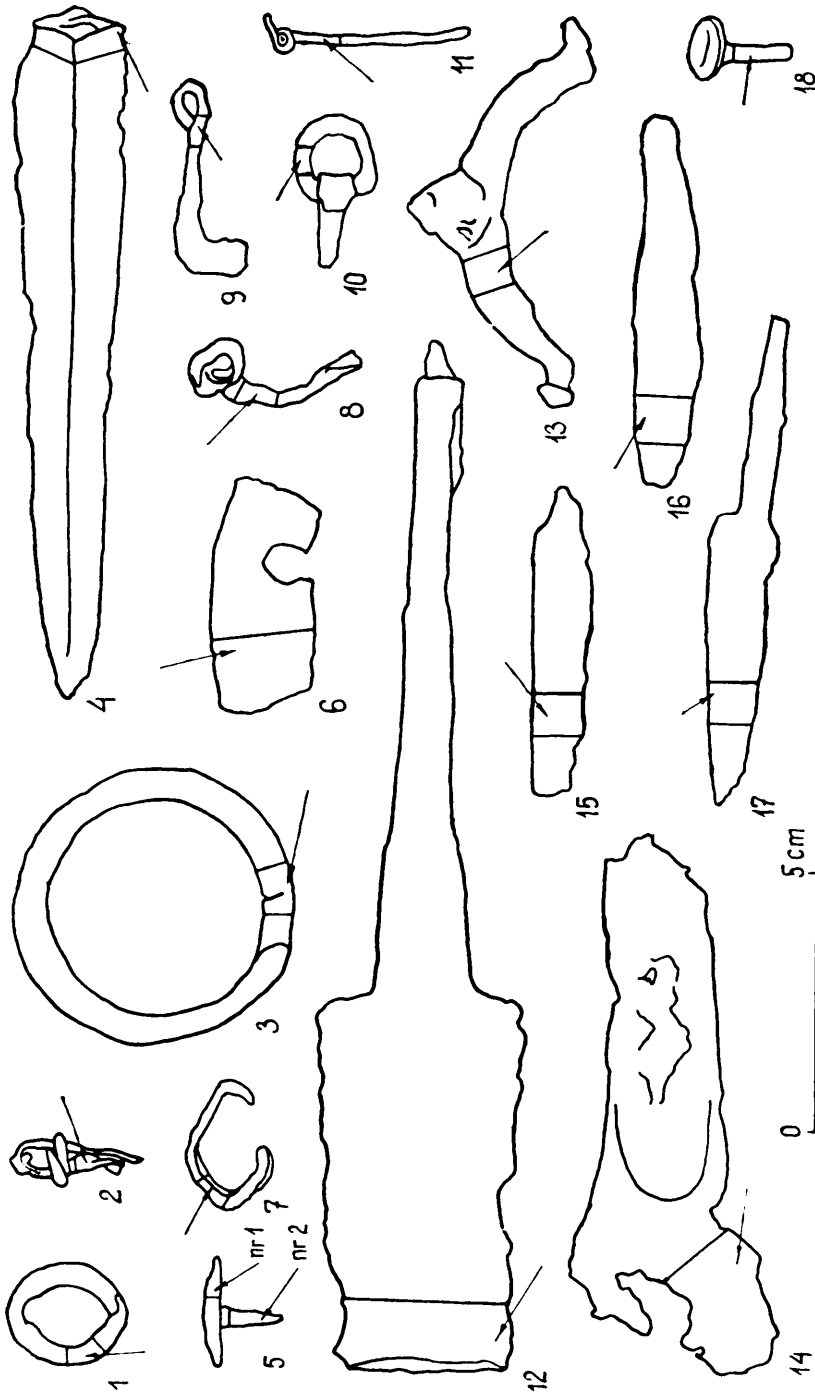


Ryc. 5. Wtrącenia żużla w blaszce nitu z imacza tarczy z Wąchocka, nie trawione (powiększenie 500 razy)

W gwoździu z okucia z cementarzyska w Wąchocku, pow. IIża (nr 16 701), występowała struktura ferrytyczno-perlityczna (odpowiadająca stali miękkiej o zawartości ok. 0,25% C) o niezbyt równomiernym nawęgleniu (ryc. 3), w której widoczne były wtrącenia żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A).

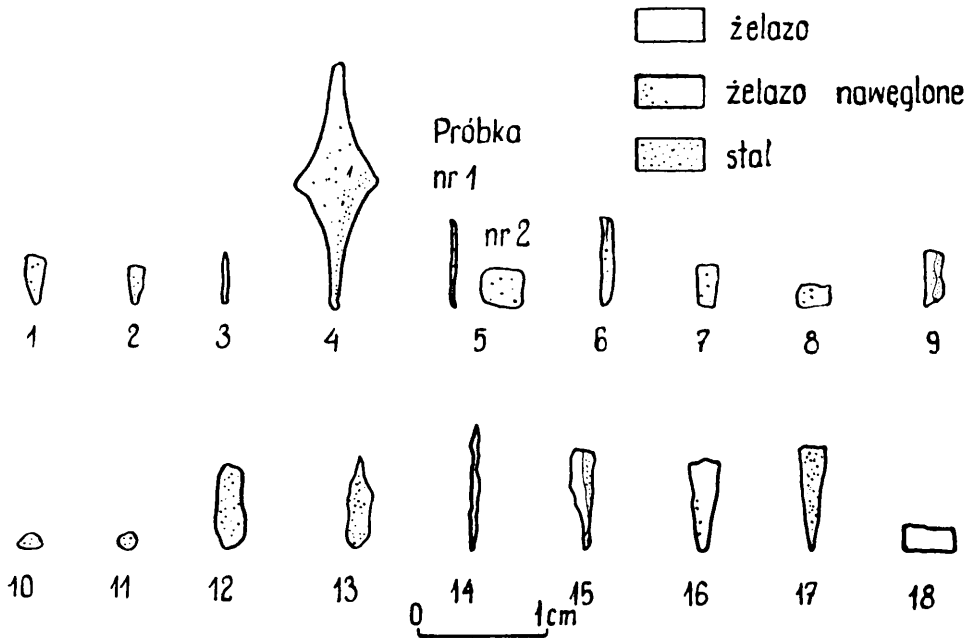
Z nitu imacza tarczy z tegoż cementarzyska w Wąchocku (nr 16 632) wycięto dwie próbki — z trzpienia i blaszki. Wykazały one zresztą identyczną strukturę. Składała się ona z ferrytu i nieznacznych ilości perlitu (ryc. 4). Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A); obserwowano także niekiedy wtrącenia dwufazowe typu B (ryc. 5).

Zestawienie nowych zbadanych przedmiotów żelaznych z Ziemi Kieleckiej, udostępnionych przez Muzeum Świętokrzyskie, przedstawiono na ryc. 6,



Ryc. 6. Zestawienie zbadanych przedmiotów żelaznych:

1 — kółko, 2 — fragment drutu, 3 — bransoleta z Radomia-Wosników, 4 — grot włóczni z Grójca, pow. Opatów, 5 — nit, 6 — fragment nr 1, 7 — fragment nr 2, 8 — zapinka, 9 — kluczyk, 10 — zapinka nr 2 z Korytnicy, pow. Jędrzejów, 12 — miecz (fragment) z Niegosławic, pow. Jędrzejów, 13 — ostroga ze Stoczysk, pow. Włoszczowa, 14 — imacz z Sielcuchowa, pow. Koźminec, 15 — nóż z Pilicy, pow. Olkusz, 16 — nóż z Wąchocka, pow. Ilza, 17 — nóż ze Starachowic, 18 — nit z Sandomierza.



Ryc. 7. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych:

1 — kółko. 2 — fragment drutu. 3 — bransoleta z Radomia-Wośników. 4 — grot włóczni z Grójca, pow. Opatów. 5 — nit. 6 — fragment nr 1. 7 — fragment nr 2. 8 — zapinka. 9 — kluczyk. 10 — sprzączka. 11 — zapinka nr 2 z Korytnicy, pow. Jędrzejów. 12 — miecz (fragment) z Niegosławic, pow. Jędrzejów. 13 — ostroga ze Stoczysk, pow. Włoszczowa. 14 — imacz z Sieciechowa, pow. Kozienice. 15 — nóż z Pilicy, pow. Olkusz. 16 — nóż z Wąchocka, pow. Iłża. 17 — nóż ze Starachowic. 18 — nit z Sandomierza.

a technologię ich wykonania — na ryc. 7. Poza tym wyniki ilościowej i jakościowej analizy chemicznej podano na tablicy III, a wyniki obserwacji metalograficznych, pomiarów mikrotwardości i twardości Vickersa — na tablicy IV.

Badania metalograficzne wykazały, że małe kółko z wczesnolateńskiego cmentarzyska kloszowego w Radomiu-Wośnikach (nr inw. 3 188 a) posiadało ferrytyczno-perlityczną strukturę miękkiej stali, zawierającej ok. 0,1% C (ryc. 8). Wtrącenia posiadały na ogół jednolite czarne zabarwienie (typ A), natrafiono jednak na kilka wtrąceń jasnych (typ C), a w dwóch przypadkach na wtrącenia zawierające niezbyt liczne wydzielenia jaśniejszej fazy na ciemnym tle (ryc. 9), zbliżone więc do typu D1.

Identyczną ferrytyczno-perlityczną strukturę miękkiej stali o zawartości ok. 0,1% C obserwowano we fragmencie drutu (nr inw. 3 188 a) z tegoż stanowiska (ryc. 10). Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia jasne z ciemnym brzegiem (typ C) (ryc. 11).

Bransoleta z Radomia-Wośników (nr inw. 3 190 a) była wykonana z cienkiej taśmy żelaznej o strukturze czysto ferrytycznej. W strukturze występowały wydzielenia iglastej fazy A (przypuszczalnie związek żelaza z azotem γ' — Fe_4N , tak bowiem określili identyczne wydzielenia: G. R. Booker,



Ryc. 8. Struktura kółka z Radomia-Wośników: ferryt, perlit i wtrącenia żużla, triawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 9. Wtrącenia żużla w kółku z Radomia-Wośników, nie trawione (powiększenie 500 razy)



Ryc. 10. Struktura fragmentu drutu z Radomia-Wośników; ferryt, perlit i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 11. Wtrącenia żużla we fragmencie drutu z Radomia-Wośników, nie trawione (powiększenie 500 razy)

J. Norbury i A. L. Sutton⁶⁵) o długości dochodzącej do 0,1 mm (ryc. 12). Pod większym powiększeniem można było zaobserwować wydzielenia bardzo drobnej fazy B (przypuszczalnie będącej związkiem żelaza z azotem σ'' — Fe_{16}N_2 ⁶⁶) (ryc. 13). Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

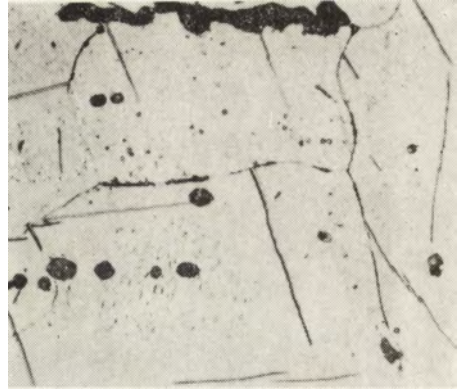
Grót włóchni ze zniszczonego grobu z okresu późnolateńskiego w Grójcu, pow. Opatów, wykonany był z żelaza o nierównomiernym nawęgleniu (ryc.

⁶⁵ G. R. Booker, J. Norbury, A. L. Sutton *Investigation of intride precipitation in pure iron and mild steel*, „Journal of the Iron and Steel Institute” 1957, t. 187, s. 208.

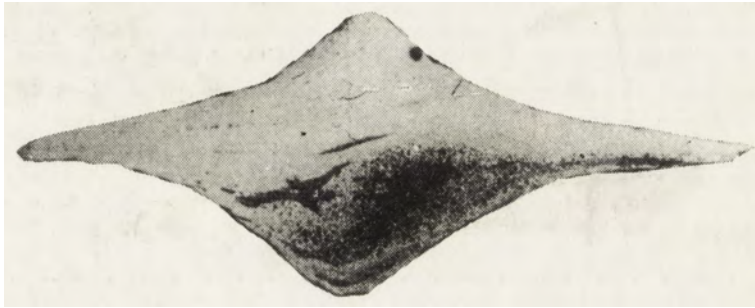
⁶⁶ G. R. Booker, J. Norbury, A. L. Sutton, op. cit., s. 211.



Ryc. 12. Struktura bransolety z Radomia-Wośników; ferryt, wydzielienia fazy A (γ' - Fe_4N ?) i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 13. Struktura bransolety z Radomia-Wośników pod większym powiększeniem: ferryt, wydzielenie fazy A (γ' - Fe_4N ?) i B (α'' - Fe_{16}N_2 ?), trawione azotalem (powiększenie 500 razy)



Ryc. 14. Makrostruktura na poprzecznym przekroju grota włóczni z Grójca, pow. Opatów. Części silniej nawęglone uległy zaciemnieniu, trawione azotalem (powiększenie 4,5 raza)

14). W części silniej nawęglonej zawartość węgla dochodziła do 0,7% C (ryc. 15), a w części słabiej nawęglonej — do 0,1% C (ryc. 16).

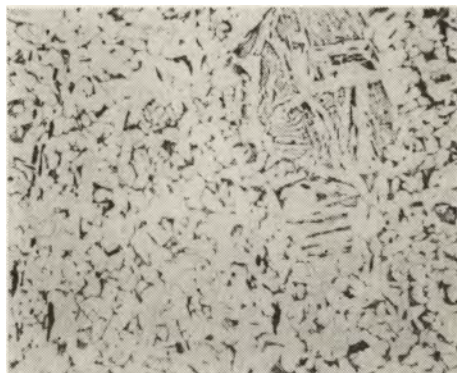
Większość wtrąceń żużla posiadała jasne zabarwienie (typ C) lub jednolite czarne zabarwienie (typ A), poza tym w niewielkich ilościach występowały wtrącenia typu B (pojedyncze zaokrąglone wydzielienia jaśniejszej fazy na ciemnym tle) i wtrącenia typu D1 (liczne zaokrąglone wydzielienia jaśniejszej fazy na ciemnym tle) — ryc. 17.

Analiza zawartości fosforu w drugiej próbce, pobranej z grota włóczni, wykonana w celu sprawdzenia segregacji tej domieszki, wykazała 0,01% P w metalu.

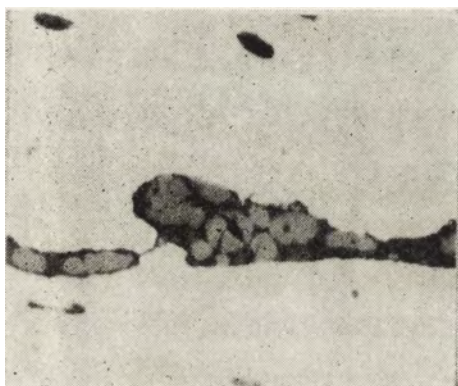
Próbka wycięta z trzpienia nitu z wczesnorzymskiego cmentarzyska w Korytnicy, pow. Jędrzejów (grób nr 3), wykazała ferrytyczno-perlityczną strukturę miękkiej stali o zawartości ok. 0,1% C (ryc. 18). Obok wtrąceń żużla o jednolitym, czarnym (typ A) zabarwieniu występowały wtrącenia o zabar-



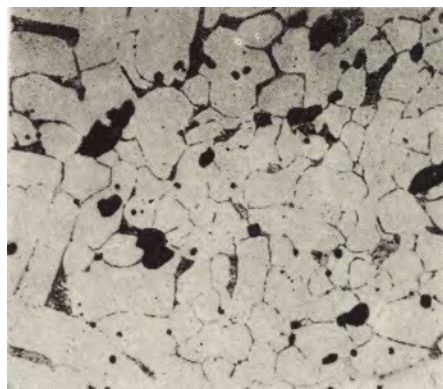
Ryc. 15. Struktura silniej nawęglonej części grota włócznie z Grójca: perlit, ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 16. Struktura słabiej nawęglonej części grota włócznie z Grójca: ferryt, perlit i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 17. Wtrącenia żużla w grocie włócznie z Grójca, nie trawione (powiększenie 500 razy)



Ryc. 18. Struktura nitu z Korytnicy, pow. Jędrzejów: ferryt, perlit i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)

wieniu jasnym (typ C) lub pojedyncze zaokrąglone wydzielenia jaśniejszej fazy na ciemnym tle (typ B).

Próbka wycięta z główki nitu wykazała czysto ferrytyczną strukturę i wtrącenia żużla identyczne jak w próbce z trzpienia.

Drobnoziarnista struktura ferrytyczna ze śladami węglików na granicach ziarn i z wydzieleniami drobnej fazy B ($\alpha'' - \text{Fe}_{16}\text{N}_2$?) wystąpiła we fragmencie żelaznym nr 1 z Korytnicy (grób nr 3) — ryc. 19. W metalu widoczne były wtrącenia żużla typu Λ . Powtórna analiza zawartości fosforu wykazała 0,007% P.

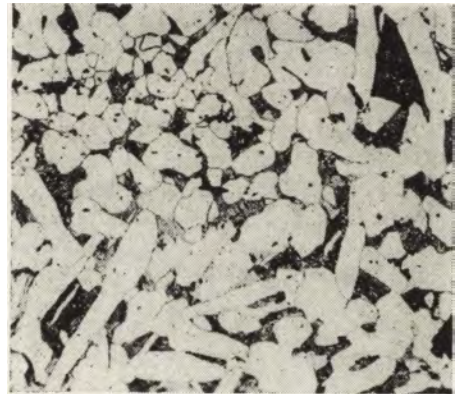
Podobną strukturę miękkiej stali o zawartości ok. 0,1% C obserwowano we fragmencie nr 2 z grobu nr 17 (?) z Korytnicy (ryc. 20). Widoczne były



Ryc. 19. Struktura fragmentu nr 1 z Korytnicy: ferryt, ślady perlitu, wydzielenia fazy B (α'' Fe₁₆N₂ ?) i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 20. Struktura fragmentu nr 2 z Korytnicy: ferryt, perlit, wydzielenia fazy B (α'' —Fe₁₆N₂ ?) i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)

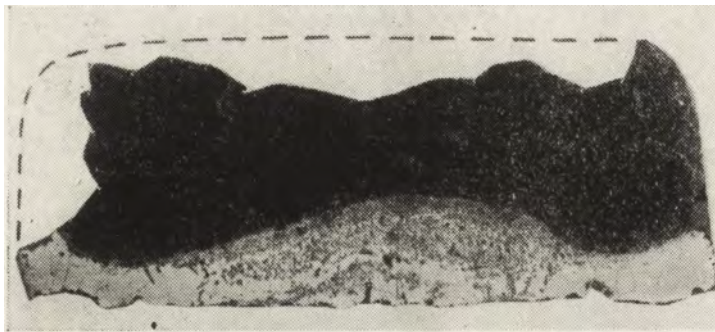


Ryc. 21. Struktura zapinki z Korytnicy: ferryt, perlit i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)

też wydzielenia drobnej fazy B (α'' — Fe₁₆N₂ ?) oraz wtrącenia żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A).

Znaleziony w tym samym grobie nr 17 (7) fragment zapinki wykazał strukturę miękkiej stali o zawartości 0,2—0,3% C, przy czym wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A) (ryc. 21). W drugiej próbce, pobranej z zapinki, stwierdzono zawartość 0,004% P.

Interesującą strukturę zaobserwowano w kluczyku z grobu nr 23. Próbką, wyciętą z uszka, wykazała dwie wyraźnie różne części: w jednej metal był silnie nawęglony (tj. stal) prawdopodobnie prawie do 0,8% C, drugą część stanowiło żelazo (ryc. 22). Pomiedzy obu warstwami występowała strefa dyfuzji węgla z części silniej nawęglonej do części słabiej nawęglonej, szczególnie szeroka w środkowej części próbki (ryc. 23).



Ryc. 22. Makrostruktura na poprzecznym przekroju uszka kluczyka z Korytnicy: część silniej nawęglona uległa zaciemnieniu, trawione azotalem (powiększenie 21 razy)

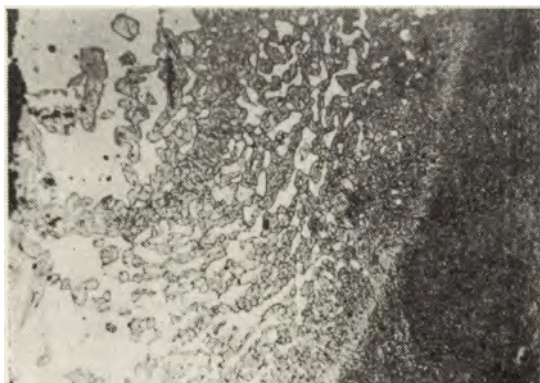
W części stalowej występowała struktura, którą można — jak się wydaje — określić jako sorbit (ryc. 24), powstały przy stosunkowo znacznej szybkości chłodzenia lub uzyskany przez odpuszczenie przy stosunkowo niskiej temperaturze (tzn. graniczący ze strukturą, którą uzyskuje się przy większych szybkościach chłodzenia lub przy niższych temperaturach odpuszczania).

W części żelaznej występowały ziarna ferrytu o różnej wielkości, od ziarn małych (w części nawęglonej) do ziarn dużych, gdzie nawęglenie nie sięgało. Jest to typowa struktura żelaza o podwyższonej zawartości fosforu. Wynik analizy (0,19% P) jest wielkością średnią dla warstwy żelaza i stali, można też sądzić, że w stali było mniej fosforu niż 0,19% P, a w żelazie więcej. Wtrącenia żuźla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

W znalezionej w tym samym grobie sprzączce obserwowano gruboziarnistą strukturę ferrytyczną oraz wydzielenia nie zidentyfikowanej fazy (węgliki ?) — ryc. 25. Wtrącenia żuźla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A); zdarzały się nieliczne wtrącenia o zabarwieniu niezbyt równomiernym.

Sprzączka wykuta była także z żelaza wysokofosforowego.

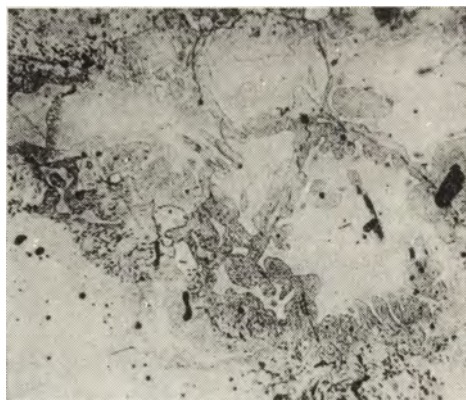
Fragment zapinki nr 2 z grobu nr 23 z cmentarzyska w Korytnicy wy-



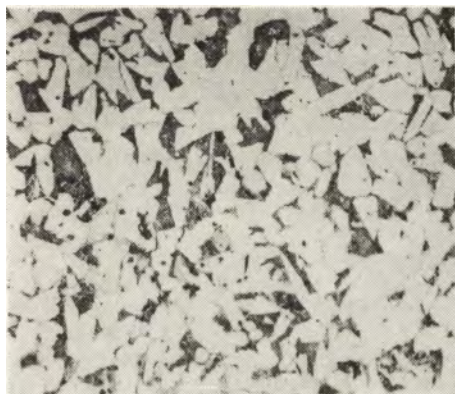
Ryc. 23. Struktura pomiędzy częścią silniej nawęgloną (na prawo) a częścią słabiej nawęgloną (na lewo) kluczyka z Korytnicy: w części stalowej — sorbit, w części żelaznej — ferryt. Widoczna strefa dyfuzji węgla w części żelaznej, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 24. Struktura części silniej nawęglonej kluczyka z Korytnicy pod większym powiększeniem: sorbit (?) i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 500 razy)



Ryc. 25. Struktura sprężarki z Korytnicy: ferryt oraz wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 26. Struktura zapinki nr 2 z Korytnicy: ferryt, perlit i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 27. Struktura miecza z Niegosławic, pow. Jędrzejów: perlit, ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)

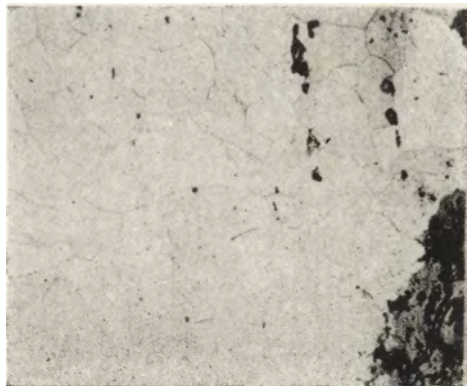
kazał ferrytyczno-perlityczną strukturę miękkiej stali o zawartości ok. 0,2% C (ryc. 26) oraz wtrącenia żużla typu A i typu C.

Stal, użyta do wyrobu miecza z wczesnorzymskiego grobu ciałopalnego z Niegosławic, pow. Jędrzejów, zawierała ok. 0,5% C. Struktura metalu składała się z perlitu i ferrytu, wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A) — ryc. 27. Powtórna analiza zawartości fosforu wykazała 0,027% P.

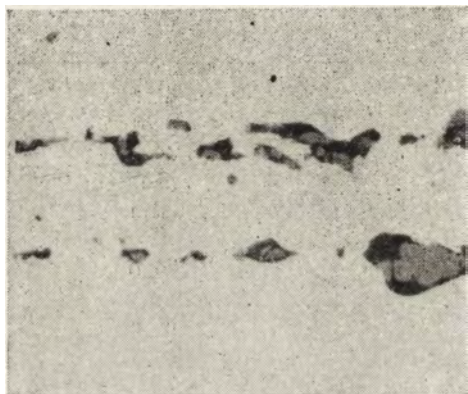
Podobnie twardą, a przy tym nierównomiernie nawęgloną stal użyto do wyrobu ostrogi znalezionej na powierzchni pola, w Stoczyskach, pow. Włoszczowa, w którym natrafiono na wczesnorzymskie cmentarzysko. Zawartość węgla zmieniała się w granicach od 0,1 do 0,6% C. Obok ziarn perlitu i ferrytu



Ryc. 28. Struktura ostrogi ze Stoczyk, pow. Włoszczowa: perlit, ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 29. Struktura imacza z Sieciechowa, pow. Kozienice: ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 30. Wtrącenia żużla w imaczu z Sieciechowa, nie trawiony (powiększenie 500 razy)

widoczne były wtrącenia żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) — ryc. 28. Dodatkowa analiza zawartości fosforu wykazała 0,034% P.

Imacz z grobu nr 1 z cmentarzyska w Sieciechowie, pow. Kozienice, wykazał strukturę czysto ferrytyczną (ryc. 29) i wtrącenia typu B, niekiedy zbliżone do typu D1 (ryc. 30).

Interesującą strukturę zaobserwowano w nożu z Pilicy, pow. Olkusz, który miał być przypadkowo znaleziony w polu (grób ciepłopalny, wyeksploatowany przez znalazcę przed rokiem 1939) — materiały te miały pochodzić z okresu późnorzymskiego.

Nóż posiadał z boku płaską nakładkę stalową (ryc. 31), w pobliżu krawędzi tnącej była ona uszkodzona przez korozję lub przez zużycie. W części stalowej wystąpiła struktura iglasta (troostyt iglasty lub martenzyt) — ryc. 32. Na rycinie widoczna jest zgrzeźbina zawierająca drobne wtrącenia żużla. W części żelaznej obserwowano ziarna ferrytu — ryc. 33. Dodatkowa analiza



Ryc. 31. Makrostruktura na poprzecznym przekroju noża z Piliicy, pow. Olkusz. Miejsca silniej nawęglone uległy zaciemnieniu, trawione azotem (powiększenie 11 razy)



Ryc. 32. Struktura w nakładce stalowej noża z Piliicy, pow. Olkusz: troostyt iglasty (martenzyt ?) oraz zgrzeina (na prawo), trawione azotem (powiększenie 100 razy)

zawartości fosforu (średnia dla obu warstw, jak i poprzednia analiza, podana w tabl. III) wykazała 0,16‰ P.

W nożu występowały prawie wyłącznie wtrącenia żużla dwufazowe, zawierające liczne zaokrąglone wydzielenia jaśniejszej fazy na ciemnym tle (typ D1); poza tym niewielkie ilości wtrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A).

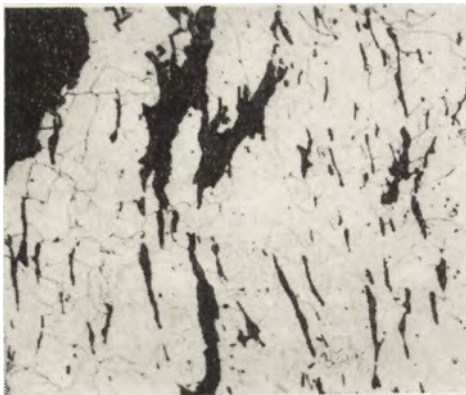
W nożu z późnorzymskiego cmentarzyska ciałopalnego z Wąchocka, pow. Iłża, badanego przed rokiem 1939, wystąpiła struktura ferrytyczna, miejscami bardzo drobnoziarnista, oraz wtrącenia żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) — ryc. 34.

Natomiast nóż z cmentarzyska późnorzymskiego w Starachowicach (również badanego przed 1939 rokiem) wykazał nierównomierne, miejscami silne (do ok. 0,7‰ C) nawęglenie (ryc. 35) — wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A). Powtórna analiza zawartości fosforu wykazała 0,012‰ P.

Nit z grobu „książęcego” (ryc. 36) ze śladami cementytu na granicach ziarn, widocznymi pod większym powiększeniem. Na tle ziarn ferrytu wystąpiły wydzieliska drobnej fazy B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) — ryc. 37. Wtrącenia żużla posiadały na ogół jednolite czarne zabarwienie (typ A), w niektórych jednak w środku wykazały jaśniejszy blask — ryc. 38.

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

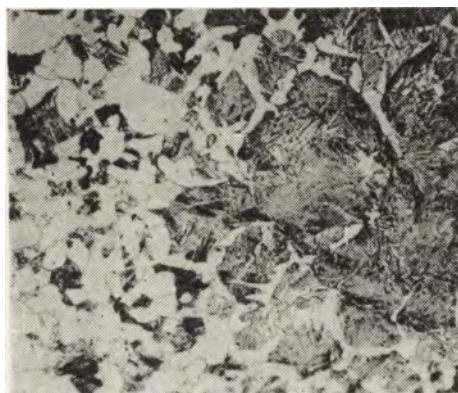
Opracowanie wyników badań metaloznawczych polega na klasyfikacji zbadanych materiałów na grupy, które — przynajmniej częściowo — można



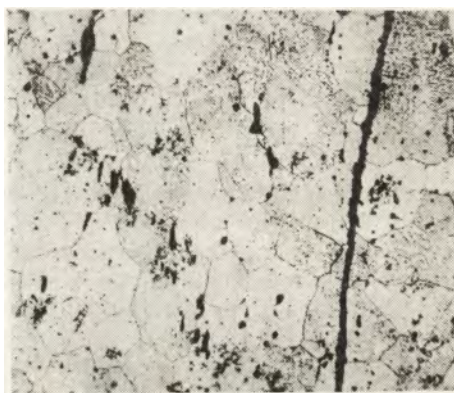
Ryc. 33. Struktura części żelaznej noża z Pilicy: ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



Ryc. 34. Struktura noża z Wąchocka, pow. Iłża: ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



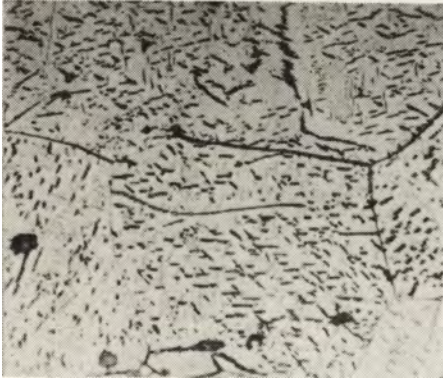
Ryc. 35. Struktura noża ze Starachowic: perlit, ferryt i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)



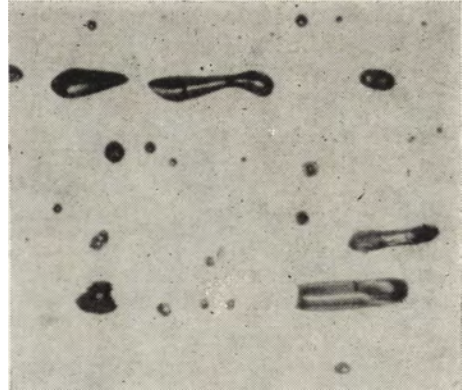
Ryc. 36. Struktura nitu z Sandomierza: ferryt, wydzielienia fazy B (c'— Fe_{16}N_2 ?) i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 100 razy)

połączyć z jakimiś ośrodkami produkcyjnymi. Klasyfikacja zbadanych ostatnio starożytnych przedmiotów żelaznych z Ziemi Kieleckiej w oparciu o dotychczasowe wyniki badań z uwzględnieniem koncepcji starożytnego żelaza świętokrzyskiego jest bardzo prosta — z wyjątkiem paru przedmiotów, które nietrudno oddzielić — pozostałe przedmioty wykazują typowe cechy wyrobów „świętokrzyskich” i za takie muszą być uznane. Ogromna produkcja ośrodka świętokrzyskiego sprawia, że zjawisko to jest zupełnie zrozumiałe.

Ale nawet bez uwzględnienia dotychczasowych wiadomości o technologii żelaza na ziemiach Polski w tym okresie, na podstawie badań tych kilkunastu przedmiotów można — jak zobaczymy — dojść do określenia wyrobów „świętokrzyskich”. Tego rodzaju opracowanie stanowi bardzo ciekawy przy-



Ryc. 37. Struktura nitu z Sandomierza pod większym powiększeniem: ferryt, wydzielienia fazy B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) i wtrącenia żużla, trawione azotalem (powiększenie 500 razy)



Ryc. 38. Wtrącenia żużla w nitce z Sandomierza: nie trawione (powiększenie 500 razy)

kład, jak nawet w nielicznej próbie realizują się cechy zbiorowości generalnej, a w danym przypadku — cechy żelaza wytapianego w tym czasie przez świętokrzyskich hutników.

Rozpatrując dla przykładu wyniki zbadanych materiałów z Muzeum Świętokrzyskiego oraz trzy dodatkowo zbadane okazy ze Starachowic i Wąchocka, pow. Iłża, można rozróżnić dwie grupy przedmiotów: pierwszą stanowią przedmioty wykute z żelaza o różnym, zwykle nierównomiernym nawęgleniu — druga grupa to narzędzia, przy których wyrobie zastosowano zgrzewanie: kluczyk z Korytnicy i nóż z Pilicy. Tego rodzaju technologia wymaga nie tylko znajomości zgrzewania żelaza i stali, lecz także świadomego wytapiania tych stopów, a umiejętności tych nie wykazali wykonawcy pozostałych zbadanych materiałów.

Na podkreślenie zasługuje także fakt, że oba te przedmioty wykazały ślady obróbki cieplnej i nie były umieszczone w stosie ciałopalnym. Do grupy tej należy dołączyć sprzączkę z tegoż grobu nr 23 z Korytnicy przedstawiającą, jak i kluczyk, strukturę nawęglonego żelaza wysokofosforowego.

Pozostałe okazy tworzą grupę — jak można sądzić na podstawie ich cech (na przykład zestawionych w postaci podanych dalej przykładowo wieloboków rozkładu) — zwartą. Stąd można postawić tezę, że przedmioty te stanowią próbę wrywkową z jakiejś zbiorowości generalnej, jaką jest — metal pochodzący z pewnego określonego ośrodka hutniczego.

Grupa tych przedmiotów charakteryzuje się bardzo niską zawartością fosforu: z 18 analiz tylko 6 (tj. 33,3%) przekracza 0,1% P, a tylko 2 (tj. 11,1%) — 0,2% P. Wielobok rozkładu (ryc. 39) szybko wznosi się do maksimum w zakresie 0,02—0,04% P (należy tu 27,8% analiz), po czym opada z wzrostem zawartości fosforu.

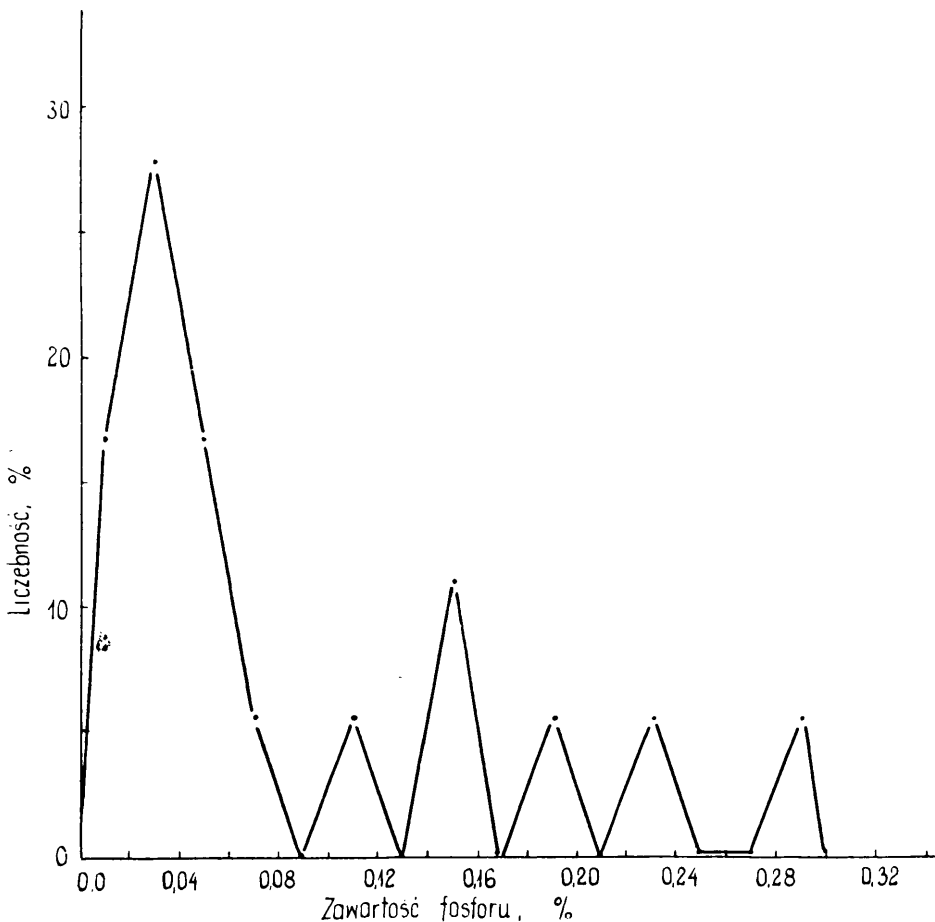
Na ziemiach Polski, poza ośrodkiem hutniczym na Śląsku Opolskim, tylko w jednym ośrodku⁶⁷ produkowano — i to na ogromną skalę — niskofosfo-

⁶⁷ Pomija się tu niewielkie ilości żelaza produkowane z niskofosforowej rudy na terenie Karpat.

rowe żelazo: właśnie w ośrodku świętokrzyskim. I tu już nasuwa się powiązanie wyodrębnionej grupy wyrobów z żelaza niskofosforowego ze starożytnym hutnictwem w rejonie Gór Świętokrzyskich.

Dla uzupełnienia można tu rozpatrzeć dwie dalsze cechy metalu: stopień nawęglenia i zawartość niklu, dotąd nie rozpatrywaną wśród cech starożytnego żelaza świętokrzyskiego. Wielobok rozkładu nawęglenia (ryc. 40) szybko wznosi się do maksimum, które odpowiada nawęgleniu stali miękkiej, zawierającej ślady do 0,3% C (należy tu 50% wyników).

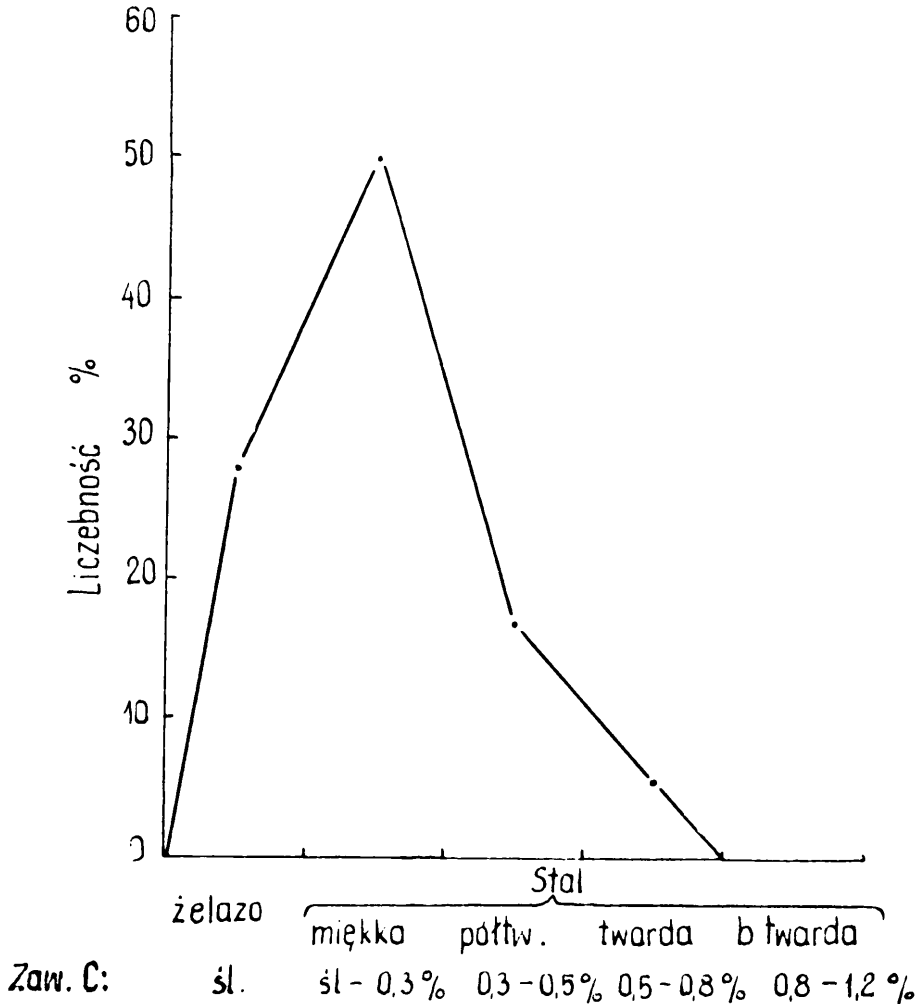
Inny przebieg ma wielobok rozkładu zawartości niklu (ryc. 41). Najczęściej (62,5% analiz) żelazo wykazuje ślady niklu (0,00—0,02% Ni) i krzywa prawdopodobieństwa obniża się z wzrostem zawartości niklu; wśród 16 analiz ani jedna nie przekroczyła 0,1% Ni.



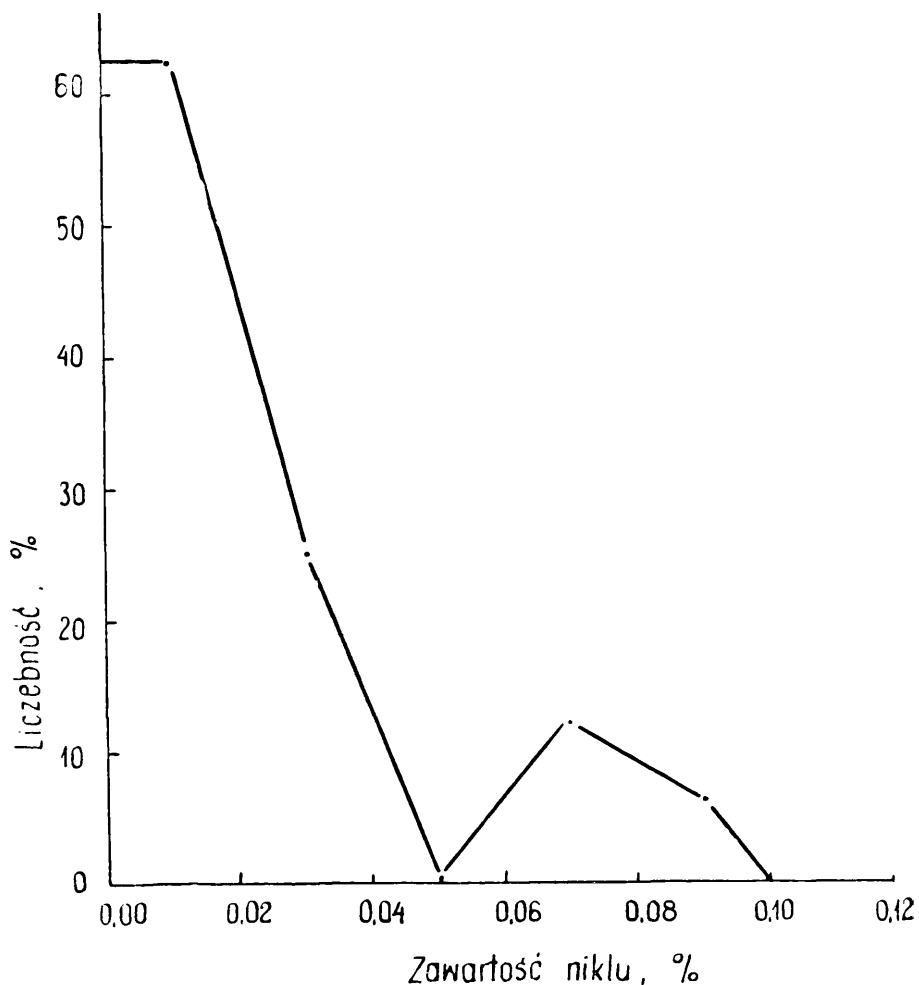
Ryc. 39. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w zbadanych ostatnio wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej (na podstawie 18 analiz)

Porównując wykresy na ryc. 39—41 z odpowiednimi wielobokami rozkładu dla wszystkich zbadanych dotychczas wyrobów „świętokrzyskich” (por. dalej ryc. 42—44) widzimy, że pomimo bardzo małej ilości analiz, na jakich opierają się te pierwsze, pokrywają się one bardzo ściśle z pełniejszymi wynikami badań. Nie tylko zakresy maksimum prawdopodobieństwa, ale nawet ogólny kształt rozkładów jest taki sam.

Wynika stąd, że ogólny zarys krzywych prawdopodobieństwa (wieloboków rozkładu) cech żelaza dla poszczególnych ośrodków produkcyjnych można wyznaczyć już nawet po zbadaniu niezbyt dużej ilości okazów. Dowodzi to słuszności rozpatrywania zespołu danych o pewnych materiałach archeologicznych jako beztendencyjnej próby, reprezentującej określoną zbiorowość generalną (w danym przypadku zbiór wyrobów z ośrodka świętokrzyskiego).



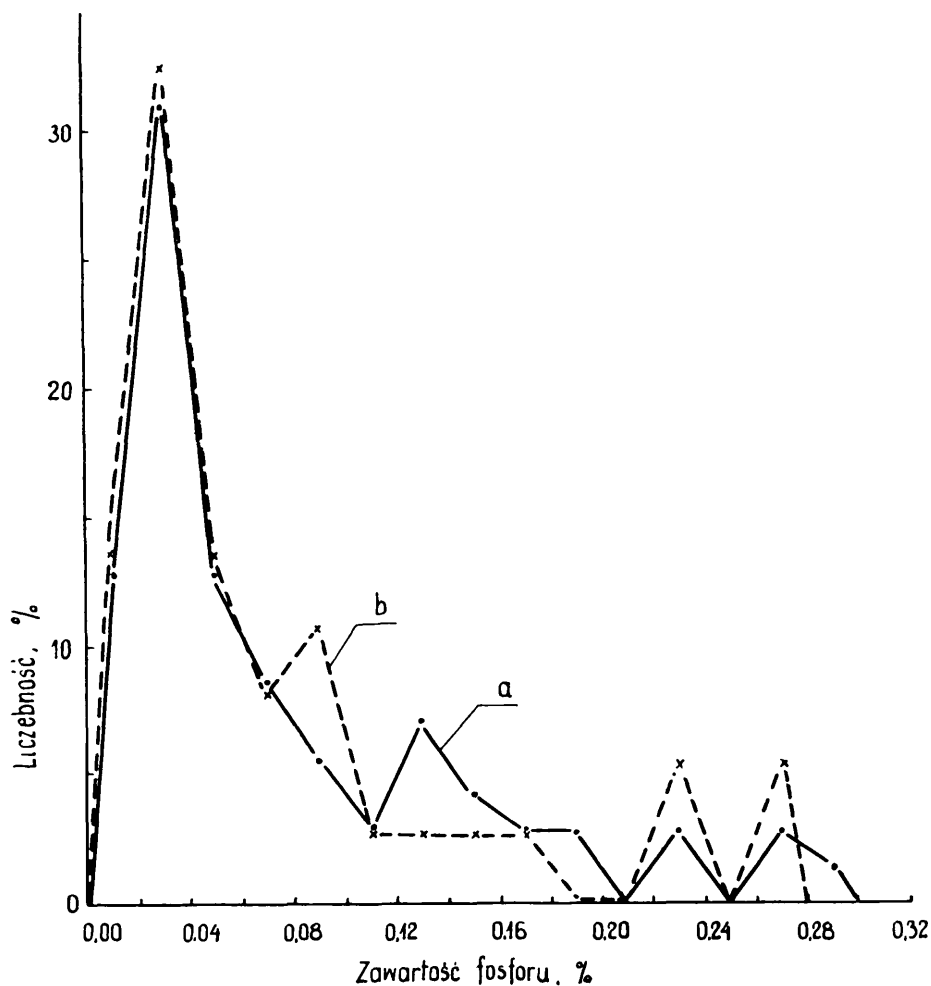
Ryc. 40. Wielobok rozkładu zawartości węgla w zbadanych ostatnio wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej (na podstawie 18 oznaczeń)



Ryc. 41. Wielobok rozkładu zawartości niklu w zbadanych ostatnio wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej (na podstawie 16 analiz)

Wyprowadziwszy niejako przykładowo na nowo koncepcję starożytnego żelaza „świętokrzyskiego”, można obecnie opracować uzyskane wyniki, uwzględniając cały zasób wiadomości o dawnych wyrobach z żelaza dymarskiego, występujących na ziemiach Polski.

Dane te w pełni potwierdzają słuszność uznania 18 ostatnio zbadanych przedmiotów z Ziemi Kieleckiej za wyroby „świętokrzyskie”. Co się tyczy nitu z Sandomierza, którego analiza wykazała aż 0,28% P, to można wspomnieć, że podobną strukturę (nieznaczne nawęglenie) i zawartość fosforu wykazała siekierka z Chmielowa Piaskowego, pow. Opatów, którą trudno było wyłączyć z grupy wyrobów „świętokrzyskich”. Trzeba więc — przynajmniej na razie — uznać, że krzywa prawdopodobieństwa rozkładu fosforu w wyro-

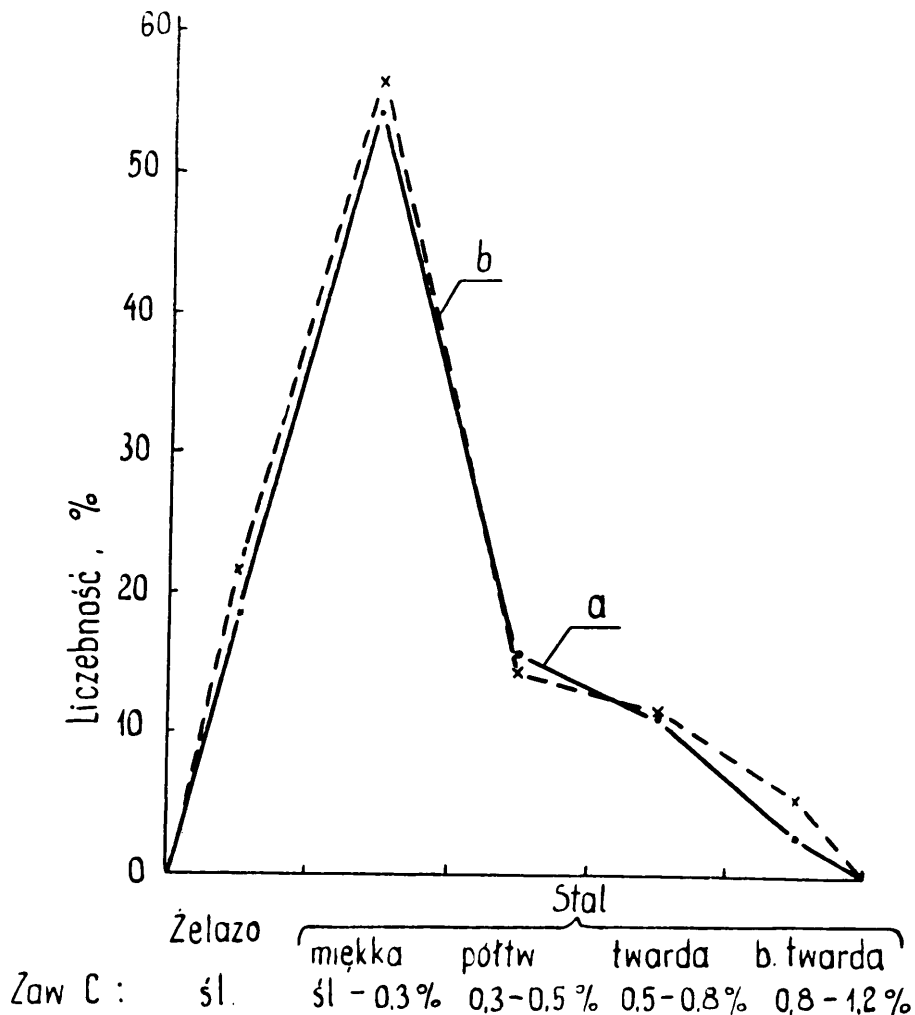


Ryc. 42. Wielobok rozkładu zawartości fosforu w wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 71 analiz) b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 37 analiz)

bach „świętokrzyskich” przeciąga się poza 0,2% P, choć granica ta jest przekraczana bardzo rzadko⁶⁸.

Jak wynika z przedstawionego na ryc. 42 wieloboku rozkładu zawartości fosforu w wyrobach „świętokrzyskich”, tylko 7,0% analiz przekracza zawartość 0,2% P (stąd prawdopodobieństwo uzyskania wyższej zawartości fosforu w wyrobie „świętokrzyskim” wynosi zaledwie 0,07). W ten sposób z 84 przed-

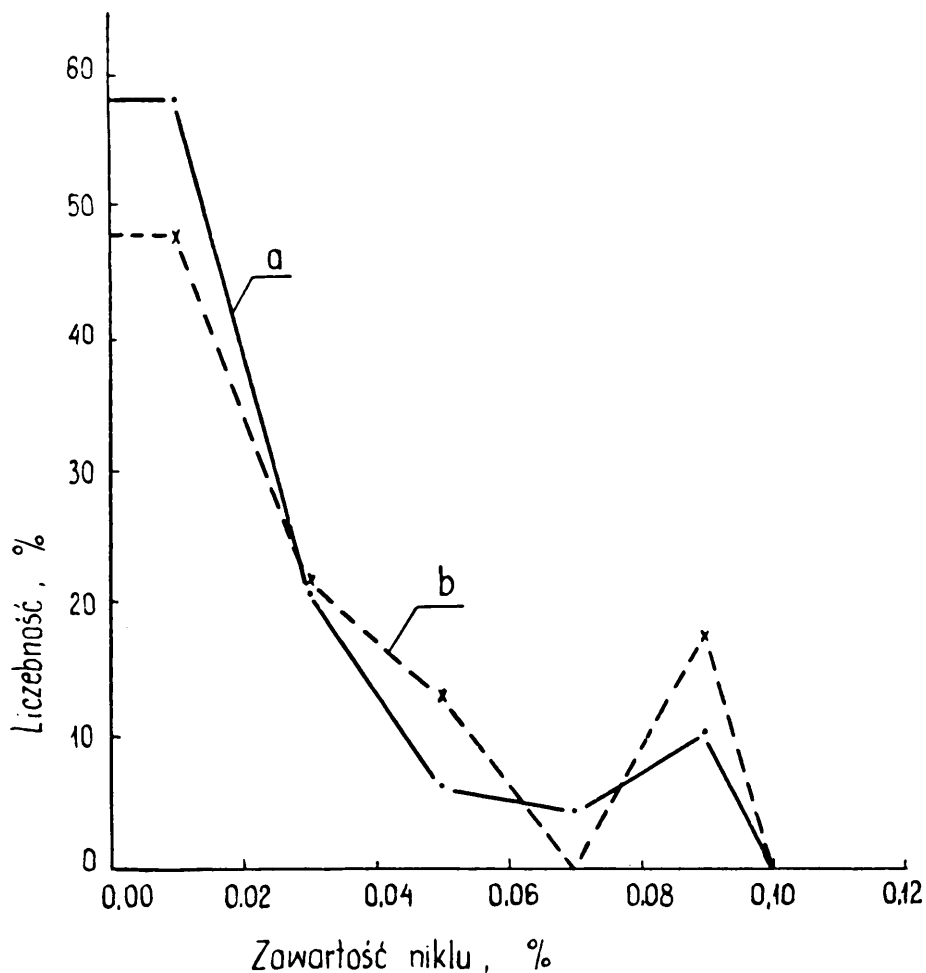
⁶⁸ Dlatego poza rejonem świętokrzyskim można przyjąć praktycznie zawartość 0,2% P jako górną granicę zawartości fosforu w wyrobach „świętokrzyskich”.



Ryc. 43. Wielobok rozkładu zawartości węgla w wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 70 oznaczeń), b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 37 oznaczeń)

miotów żelaznych z 19 stanowisk w pobliżu Gór Świętokrzyskich — 70 okazów, tj. 83,3%, można uznać za wyroby „świętokrzyskie”, a jeśli uwzględnimy jedynie przedmioty z najbliższych okolic tego ośrodka — udział jego produktów wzrośnie do 97%.

Następnie przedstawiono wieloboki rozkładu innych cech wyrobów „świętokrzyskich” na podstawie wszystkich zbadanych dotychczas okazów znalezionych na ziemi kieleckiej (tj. w promieniu 100 km od pasma Gór Świętokrzyskich): zawartość węgla (ryc. 43), niklu (ryc. 44) oraz — tylko dla materiałów pochodzących z cmentarzysk ciepłych — wielkości ziaren ferrytu (ryc. 45) i perlitu (ryc. 46), a także mikrotwardości ferrytu (ryc. 47) i perlitu

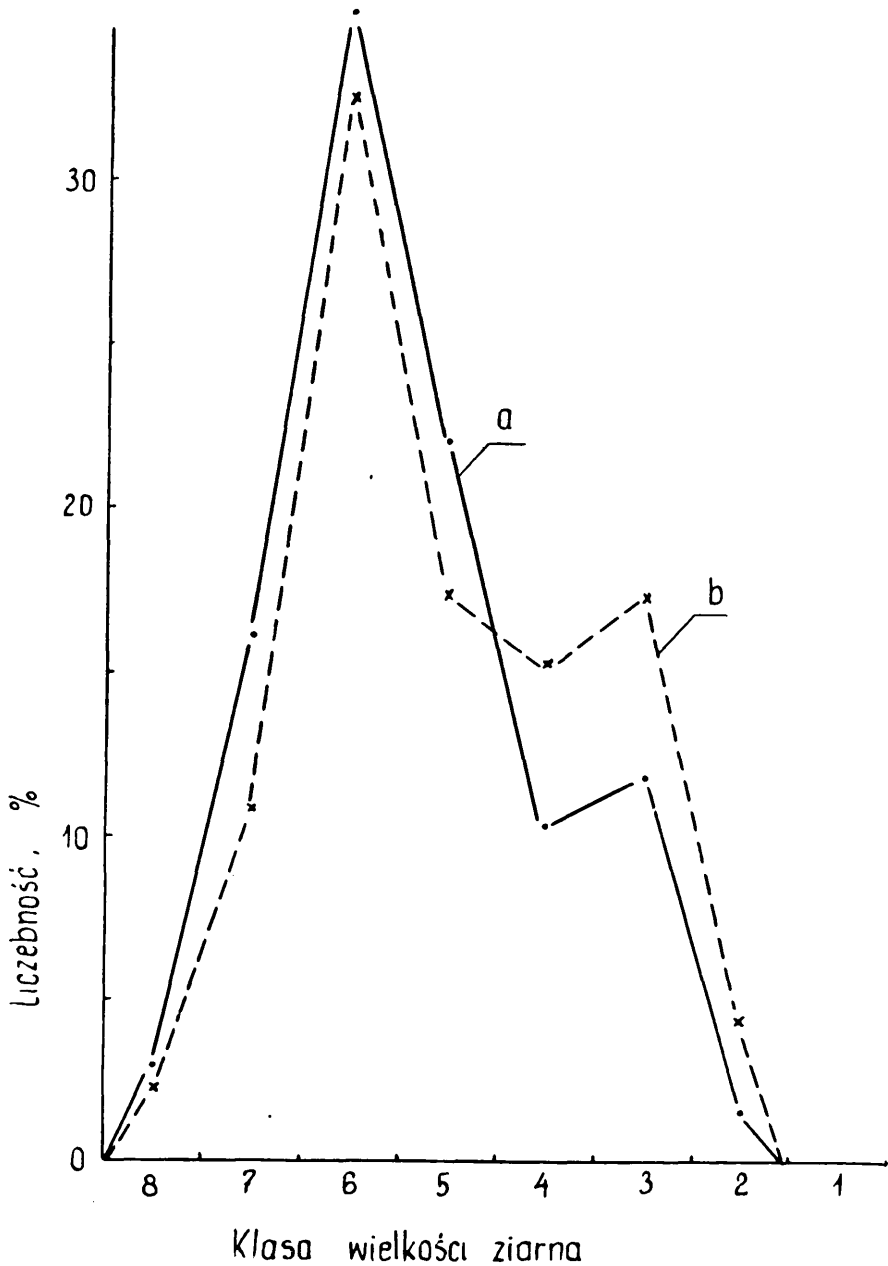


Ryc. 44. Wielobok rozkładu zawartości niklu w wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 48 analiz), b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 23 analiz)

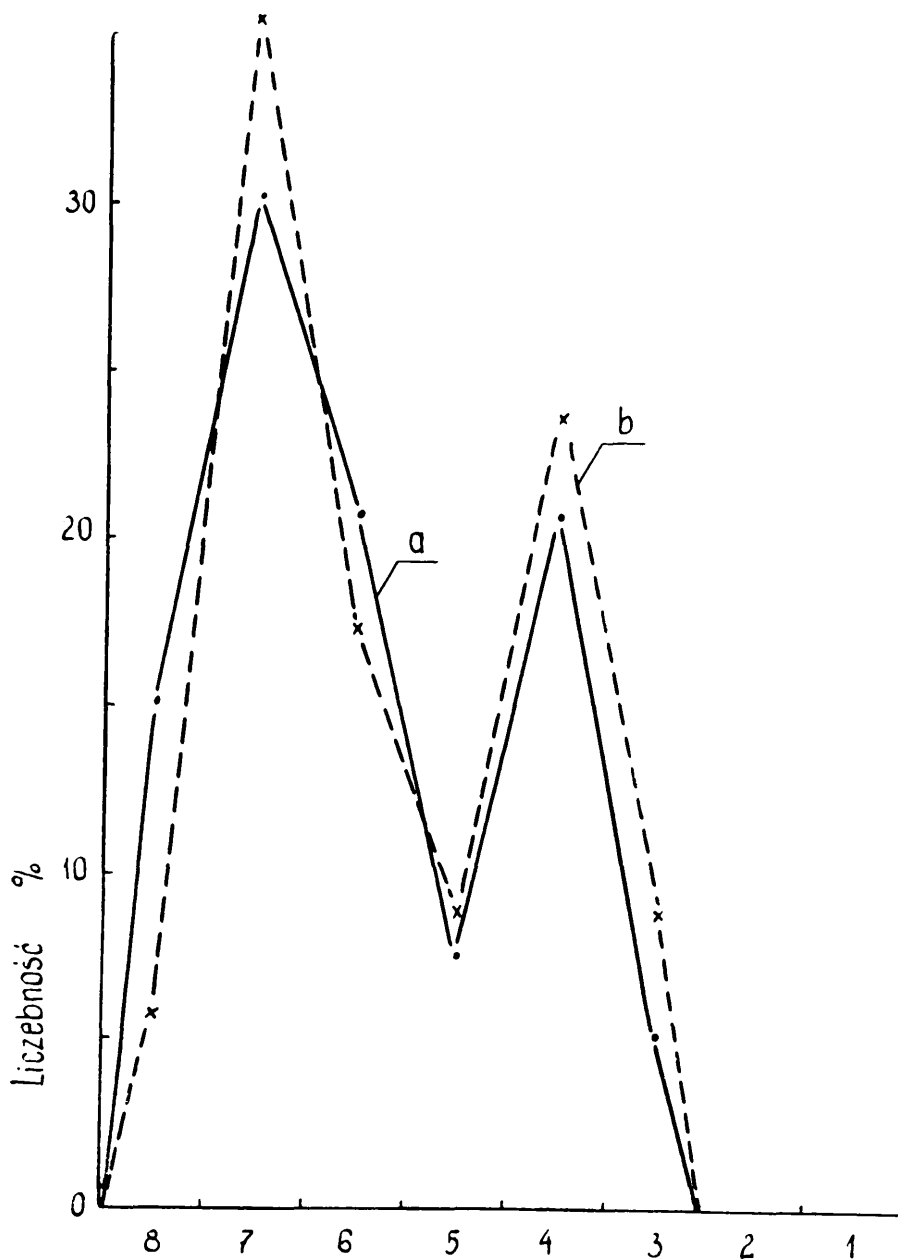
(ryc. 48). Równocześnie przedstawiono takie wieloboki rozkładu dla stanu badań sprzed pięciu lat, kiedy — na podstawie znacznie mniejszej ilości analiz — przedstawiono w poprzednim obszernym opracowaniu cechy starożytnych wyrobów „świętokrzyskich”⁶⁹.

Poza tym ilość analiz miedzi w wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej zwiększyła się z 4 do 14, jednak nadal nie wykryto większej ilości tej domieszki poza 0,00% Cu lub śladami określonymi metodą fotometryczną

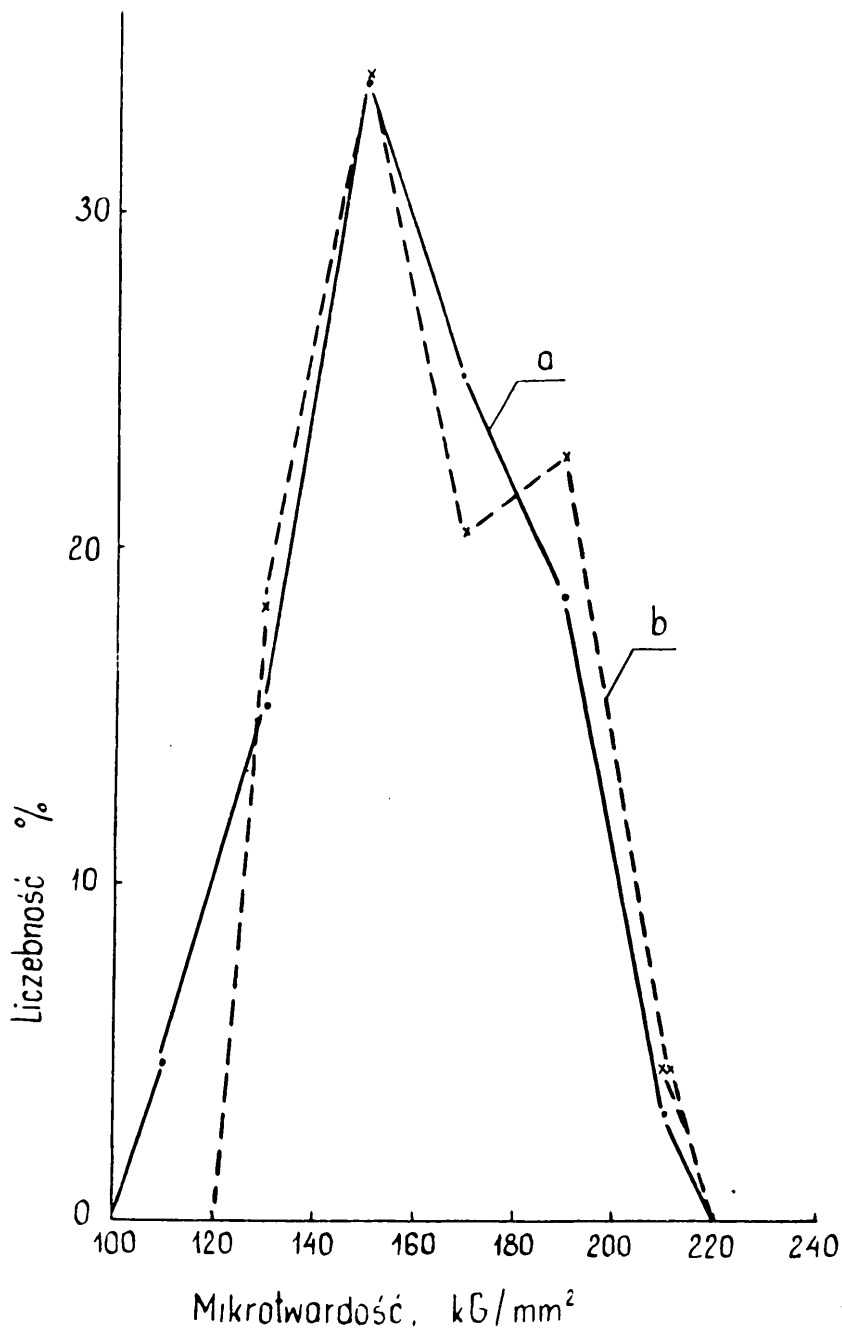
⁶⁹ J. Piaskowski *Cechy charakterystyczne wyrobów żelaznych...*, s. 36.



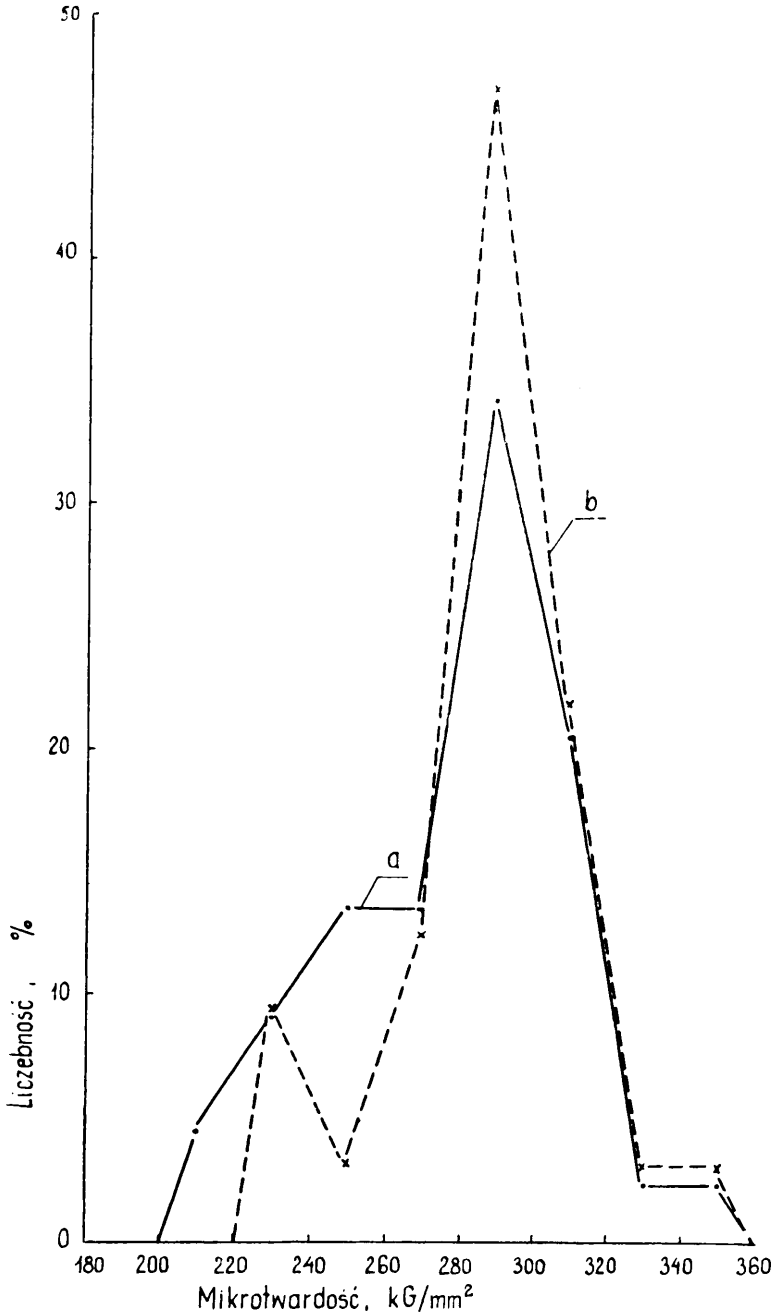
Ryc. 45. Wielobok rozkładu wielkości ziaren ferrytu w wyrobach „świętokrzyskich” z grobów ciałopalnych z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 68 oznaczeń), b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 16 oznaczeń)



Ryc. 46. Wielobok rozkładu wielkości ziarn perlitu w wyrobach „świętokrzyskich” z grobów ciałopalnych z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 53 oznaczeń), b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 34 oznaczeń)



Ryc. 47. Wielobok rozkładu mikrotwardości ferrytu w wyrobach „świętokrzyskich” z grobów ciepalnych z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 68 oznaczeń), b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 44 oznaczeń)



Ryc. 48. Wielobok rozkładu mikrotwardości perlitu w wyrobach „świętokrzyskich” z grobów ciałopalnych z Ziemi Kieleckiej: a — według obecnego stanu badań (na podstawie 53 oznaczeń) b — według stanu z 1961 roku (na podstawie 32 oznaczeń)

(analiza spektrograficzna wykrywa ślady miedzi we wszystkich bodaj wyrobach z żelaza dymarskiego).

W ten sposób okazuje się, że bardzo znaczny wzrost ilości analiz, w niektórych przypadkach prawie dwukrotny, nie wprowadził żadnych zmian do określonych już w 1961 roku wieloboków rozkładu (krzywych prawdopodobieństwa) cech wyrobów „świętokrzyskich”.

Statystyczna ocena tego wyniku uprawnia do stwierdzenia, że wieloboki rozkładu (krzywe prawdopodobieństwa) cech starożytnych wyrobów „świętokrzyskich” zostały już określone i jest bardzo mało prawdopodobne, aby dalsze badania wprowadziły jakieś zmiany.

Na zakończenie należałoby rozpatrywać jeszcze dwie cechy uwzględnione przez autora przy określaniu pochodzenia dawnych przedmiotów żelaznych i przy identyfikowaniu wyrobów świętokrzyskich: obecność wydzieleni azotków i strukturę wtrąceń żużla (bo jeśli chodzi o zawartość krzemu, manganu i siarki — nie stwierdzono dotychczas, aby zawartość tych domieszek wykazywała systematyczne różnice w przedmiotach z żelaza dymarskiego, pochodzących z różnych ośrodków hutniczych).

Otóż wśród 60 zbadanych wyrobów „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej, pochodzących z cmentarzysk z okresu lateńskiego i rzymskiego, fazę A (γ' — Fe_4N ?) stwierdzono w 5 okazach (tj. 8,35%), fazę B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) w 6 okazach (10,0%), a równocześnie obie fazy — w 5 okazach (8,35%). Ogółem więc 16 przedmiotów, tj. 26,7% wykazało obecność wspomnianych faz.

W opracowaniu z 1961 roku z powodu małej ilości zbadanych przedmiotów z Ziemi Kieleckiej (tj. z okolic w promieniu 100 km od świętokrzyskiego ośrodka hutniczego) nie przeprowadzono takich obliczeń, rozpatrywano natomiast wszystkie wyroby „świętokrzyskie” z okresu późnolateńskiego i rzymskiego dla ziem całej Polski, uzyskując odpowiednio — 12,1%, 8,1% i 8,9%, a więc łącznie dla 29,1% okazów stwierdzono obecność wydzieleni faz A i B (azotków ?). A więc i tu przy porównaniu tak różniących się grup wyrobów „świętokrzyskich” (stanowiących dwie próby statystyczne) uzyskujemy zgodność ilościowych wskaźników częstotliwości (prawdopodobieństwa).

Należy zwrócić uwagę, że wśród materiałów z osad starożytnych wydzielenia fazy A (γ' — Fe_4N ?) i B (α'' — Fe_{16}N_2 ?) zasadniczo nie występują. Nie zaobserwowano ich także w 10 przedmiotach z 3 osad z Ziemi Kieleckiej (położonych jednak na ogół nieco dalej od Pasma Łysogórskiego).

Otóż — jak stwierdzili B. E. Hopkins i H. R. Tiller⁷⁰ — postać, w jakiej występują związki azotu z żelazem, zależy od szybkości stygnięcia metalu zawierającego azot. Przy szybszym studzeniu wydziela się związek γ' — Fe_4N , a przy chłodzeniu w powietrzu — związek α'' — Fe_{16}N_2 . Poza tym, jeśli podczas zbyt szybkiego stygnięcia wydzielenie azotków nie nastąpiło, proces ten zachodzi podczas ponownego podgrzania metalu⁷¹.

Stąd można wysunąć przypuszczenie, że wydzielenie azotków w wyrobach „świętokrzyskich” następuje podczas ich wygrzania w stosie ciepłym, azot

⁷⁰ B. E. Hopkins, H. R. Tiller *Effect of heat-treatment on the brittleness of high-purity iron-nitrogen alloys*. „Journal of the Iron and Steel Institute” 1954, t. 177, z. 1, s. 110.

⁷¹ W. Köster, L. Bangert *Die Teilchengröße des Eisennitrids bei der Ausscheidung aus einer an Kohlenstoff und Stickstoff übersättigten α -Eisen*, „Archiv für das Eisenhüttenwesen” 1954, t. 25, z. 5—6, s. 231.

jednak został wprowadzony do metalu podczas wytopu w piecu dymarskim, najprawdopodobniej wraz z dmuchem. Dlatego też wydzielenia azotków występują tylko w świętokrzyskich wyrobach żelaznych z cmentarzysk ciepłopalnych.

Struktura wtrąceń żużła w wyrobach „świętokrzyskich” z ziemi kieleckiej wykazuje dużą różnorodność. Najczęściej obserwuje się wtrącenia o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A), a mianowicie w 62,9% zbadanych próbek (ogółem 70 oznaczeń). Występują one zresztą poza tym we wszystkich wyrobach „świętokrzyskich” w przeważającej ilości obok wtrąceń o innej strukturze. Do tych ostatnich należą wtrącenia dwufazowe, w których na ciemnym tle występują nieliczne zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy (typ B), które — razem z wtrąceniami typu A — wystąpiły w 10 okazach (tj. 14,3%). Podobnie w wyrobach świętokrzyskich — obok typu A — występują jasne wtrącenia żużła otoczone ciemnym konturem (typ C); tego rodzaju strukturę stwierdzono także u 14,3% zbadanych okazów.

Włączenie do wyrobów „świętokrzyskich” przedmiotów zawierających wydzielenia typu C (obok typu A), które było przez pewien czas dyskusyjne, może być obecnie przyjęte.

Poza tym należy przyjąć, że w wyrobach „świętokrzyskich” występują niekiedy także wtrącenia dwufazowe żużła, w których występują liczne okrągłe wydzielenia jaśniejszej fazy na ciemnym tle (typ D1). Ilość tych wtrąceń, występujących w metalu obok żużła typu A (w niektórych przypadkach, np. w grocie włóczni z Grójca, pow. Opatów, także obok nielicznych wtrąceń żużła typu B lub C) jest jednak niewielka. Wtrącenia żużła typu D1 stwierdzono w 6 wyrobach „świętokrzyskich” z okresu lateńskiego i rzymskiego z Ziemi Kieleckiej (tj. w 8,57% zbadanych okazów)⁷².

Uzyskane stąd wskaźniki prawdopodobieństwa mogą być wykorzystane przy określaniu pochodzenia wyrobów żelaznych. Np. na terenie Śląska Opolskiego częstotliwość występowania wtrąceń typu D1 lub D2 (zbadanych przedmiotów) wynosi 22,6%, są one poza tym znacznie liczniejsze. Wyższy jeszcze jest udział (68,8%) tego typu wtrąceń w wyrobach żelaznych wschodniej grupy kultury przeworskiej (16 zbadanych przedmiotów).

Trzeba tu jeszcze wspomnieć, że wtrącenia żużła typu B i C nie występują w dawnych wyrobach z żelaza wysokofosforowego, znajdujących na ziemiach Polski, co świadczy, że struktura wtrąceń żużła nie jest zjawiskiem tylko przypadkowym, niezależnym od rodzaju rudy.

Zagadnienie struktury wtrąceń żużła, jako cechy wskazującej na pochodzenie wyrobów z żelaza dymarskiego, czeka jeszcze na dalsze badania; szczególnie ważnych wiadomości mogą tu dostarczyć badania przy pomocy sondy elektronowej.

Interesujące byłoby stwierdzenie, czy we wszystkich rejonach ośrodka świętokrzyskiego skład chemiczny żużła jest jednakowy (niezależnie od różnic przypadkowych), czy też wykazuje jakieś systematyczne różnice, a stąd

⁷² Stąd zaobserwowanie w jednym lub drugim przedmiocie wtrąceń żużła określonego typu (np. D1) nie może być podstawą daleko posuniętych wniosków o produkcji żelaza zawierającego tego typu wtrącenia żużła, jak to uczynił J. Zimny (*Metaloznawcze badania halsztackich wyrobów żelaznych z Częstochowy-Rakowa* [w:] *Cmentarzysko kultury łużyckiej w Częstochowie-Rakowie*, Częstochowa 1965 s. 329), który zresztą popełnił pomyłki w klasyfikacji wtrąceń żużła.

czy można byłoby doszukiwać się w dalszych pracach jakichś różnic w cechach świętokrzyskiego żelaza.


Wyniki badań przedmiotów żelaznych z Muzeum Świętokrzyskiego w Kielcach całkowicie potwierdziły dotychczasowe dane o cechach starożytnego żelaza świętokrzyskiego. Ponowne opracowanie, uzupełnione dodatkowo włączonymi materiałami, dało wynik całkowicie pokrywający się z pierwszym opracowaniem autora z 1961 roku. Dwie mogą być tego przyczyny:

a. albo nie istnieją systematyczne różnice pomiędzy żelazem wytapianym sposobem dymarskim i obserwuje się jedynie różnice przypadkowe i stąd każdy zespół przedmiotów, traktowany jako statystyczna próba, daje w rezultacie taki sam zespół cech, o tym samym rozkładzie prawdopodobieństwa — byłby to po prostu zespół cech jednego żelaza dymarskiego;

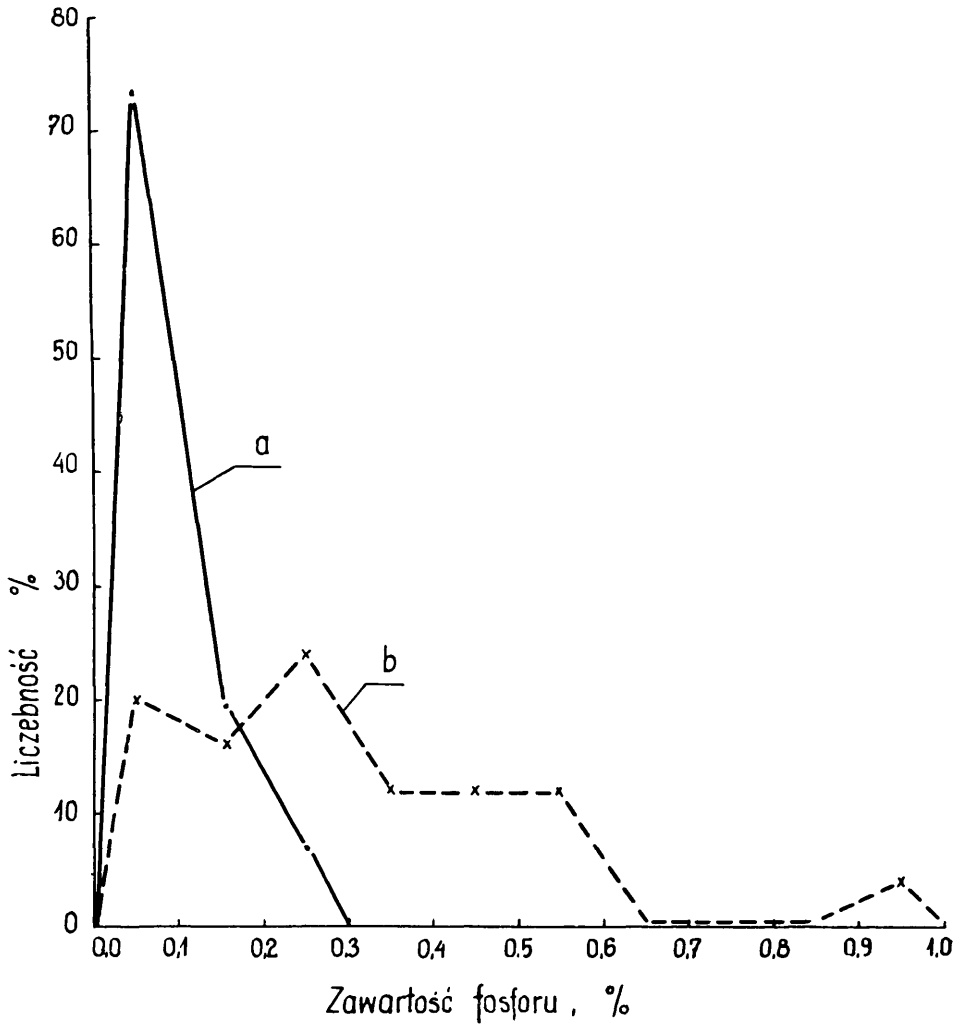
b. albo istotnie żelazo „świętokrzyskie” wykazuje określone przez autora cechy i wtedy każdy zespół przedmiotów zaliczony do grupy wyrobów „świętokrzyskich” — jeśli jest dostatecznie liczny — wykazuje taki sam zespół cech o tym samym rozkładzie prawdopodobieństwa.

Nietrudno jest stwierdzić, że pierwsza alternatywa jest błędna, wystarczy choćby porównać zawartości fosforu np. w przedmiotach żelaznych z Miezan i Sudaty, b. pow. Święciany (obecnie: Litewska SRR)⁷³ z IV—VIII w.n.e. i w starożytnych wyrobach „świętokrzyskich” (ryc. 49); ten ostatni wielobok nieco odbiega od podanego na ryc. 42, różnice w analizach są bowiem tak duże, że trzeba było zmienić przedział z 0,02% P do 0,10% P.

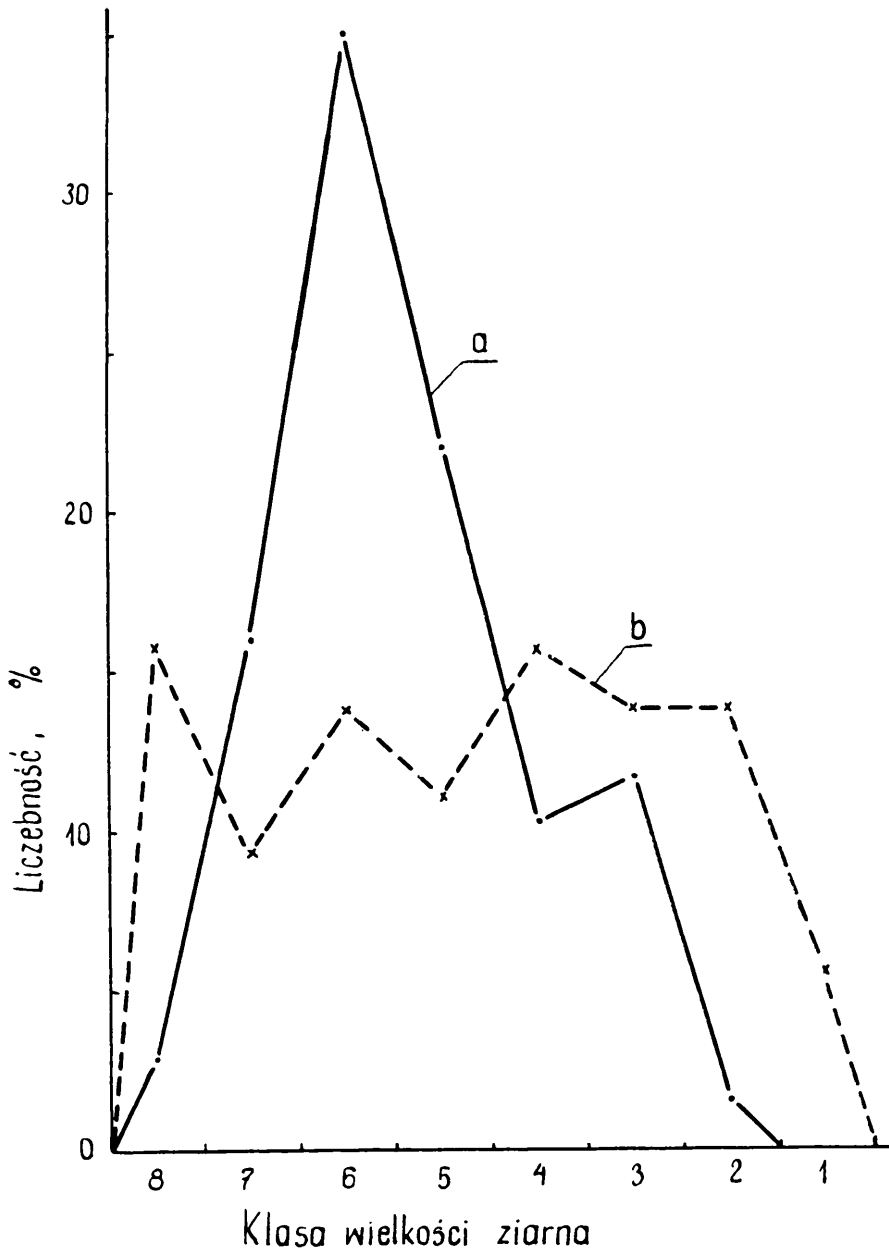
Nawet w przypadku cechy — zdawałoby się — niewiele różniącej się w przedmiotach żelaznych — jaką jest wielkość ziarn ferrytu — występuje widoczna różnica wieloboku rozkładu (ryc. 50). Chociaż nawet zakres zmienności jest prawie taki sam, to jednak kształt rozkładu jest wyraźnie odmienny. Nie oznacza to oczywiście, że wśród przedmiotów żelaznych zaliczonych do grupy wyrobów „świętokrzyskich” nie może znaleźć się — w wyniku przypadkowej zbieżności cech — jakiś okaz wykonany w ośrodku lub odwrotnie — że wskutek przypadkowej rozbieżności cech jakieś dzieło hutników świętokrzyskich nie zostanie pominięte. Będą to jednak tylko przypadki, natomiast jako pewna całość wyroby „świętokrzyskie” odpowiadają w rzeczywistości przedmiotom wykonanym w tym ośrodku i opisane badania wskazują, że cechy ich zostały określone przez autora w sposób dokładny, tak że jakieś znaczniejsze nawet zmiany są obecnie bardzo mało prawdopodobne.



⁷³ J. Piaskowski *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych z Miezan i Sudaty (Litewska Socjalistyczna Republika Radziecka)*, „Wiadomości Archeologiczne” 1965, t. 31, z. 4, s. 363.



Ryc. 49. Wielobok rozkładu zawartości fosforu: a — w starożytnych wyrobach „świętokrzyskich” z Ziemi Kieleckiej (na podstawie 71 oznaczeń), b — w starożytnych przedmiotach żelaznych z Miezan i Sudaty (na podstawie 25 oznaczeń)



Ryc. 50. Wielobok rozkładu wielkości ziaren ferrytu: a — w starożytnych wyrobach „świętokrzyskich” (na podstawie 68 oznaczeń), b — w starożytnych przedmiotach żelaznych z Miezan i Sudaty (na podstawie 36 oznaczeń)

TABLICA III
WYNIKI ILOŚCIOWEJ I JAKOŚCIOWEJ ANALIZY CHEMICZNEJ DAJSZYCH PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH Z ZIEMI KIELECKIEJ

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja (lub nr inw.)	Ciężar okazu gr.	Zawartość				Analiza jakościowa *														
					Mn	P	Ni	Cu	Ag	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn
1	Kółko	Radom-Wośniki	Nr inw. 3188a	2,7		0,036	0,03								+		+	+		○			○
2	Fragment drutu	„ „	„ „	2,0		0,017	śl.	0,00	○	○?	○				+		○	+	○?	+			+
3	Bransoleta	„ „	„ „ 3190a	5,9		0,23	0,03		○?	○?	○				+		+	+	○?	+			+
4	Grot włóczni	Grójec, pow. Opatów	(z grobu 1958 r.)	44,2		0,02	0,00				○	+			+		+	○		○	+		+
5	Nit	Korytnica, pow. Jędrzejów	grob nr 3	5,0		0,003	śl.		○	○	○				+		+			+	○		+
6	Fragment nr 1	„ „	„ „	4,2	0,02	0,04	0,00	0,00	○	○	○				+		+			+	○		+
7	Fragment nr 2	„ „	grób nr 17(?)	1,7		0,11	0,08		○?	+	○				+		+	○?	+	○	+		+
8	Zapinka nr 1	„ „	„ „	3,7		0,036				○	○				+		+			○	○		○
9	Kłuczyk **	„ „	grób nr 23	4,7		0,19				+	○				+		+		○?	○	○		+
10	Sprzączka	„ „	„ „	2,4		0,27	0,00			+	○				+		+		○?	○	○		+
11	Zapinka nr 2	„ „	„ „	1,5	0,03	0,005	0,07			+	○				+		+		+	○	○		+
12	Miecz (fragm.)	Niegostawice, pow. Jędrzejów	grób ciałop.	88,2	0,03	0,05	śl.			○	○				+		+			○	○		+
13	Ostroga	Stoczyska, pow. Włoszczowa	cm. ciałop.	23,2		0,034	0,00	0,00		○	○?				+		+			○	○		○?
14	Imacz	Sieciechów, pow. Kozienice	grób nr 1	14,1		0,040	0,03	0,00	○?	○?	○				+		+	○		○			+
15	Nóż **	Pilica, pow. Olkusz	cm. ciałop.	6,2		0,14	śl.	9,00		○	○				+	○?	+			○			○
16	Nóż	Wąchock, pow. Iłża	cm. (1939)	6,2		0,14	0,00		○	+	+				+	○?	+	○		○	+		+
17	Nóż	Starachowice	cm. (1939)	8,4		0,005	0,03			○	○				+	○?	+			○	○		○
18	Nit	Sandomierz	grób książejcy	2,4		0,28	śl.	0,00	○?	+	○				+		○	○		○	○?		+

* Ponadto Fe, C, Si, Mn, P, S oraz Al, Ca Mg, które występowały we wszystkich próbkach

** Analiza średnia z warstwy żelaznej i z warstwy nawęglonej (stalowej)

TABLICA I. WYNIKI UZUPEŁNIAJĄCYCH BADAŃ PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH ZE STARACHOWIC I WĄCHOCKA, POW. IŁŻA (ILOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA ANALIZA CHEMICZNA)

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja (lub nr inw.)	Zawartość, ‰									Analiza jakościowa *															
				P	S	Ni	Ag	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	Zn							
1	Gwóźdź z okucia	Starachowice	gr. I, nr 7	0,035		0,07	○	+	○						+				+								+	
2	Gwóźdź z okucia	Wąchock, pow. Iłża	nr 16701	0,077			○	○	○						+				+								+	+
3	Nit z imacza	"	nr 16682	0,18	0,003	0,00		+	○						+				+							+	+	+

* Ponadto Fe, C, Si, Mn, P, S oraz Al, Ca Mg, które występowały we wszystkich próbkach

TABLICA II. WYNIKI UZUPEŁNIAJĄCYCH BADAŃ PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH ZE STARACHOWIC I WĄCHOCKA, POW. IŁŻA (OBSERWACJE METALOGRAFICZNE, POMIARY MIKROTWARDZOŚCI I TWARDOŚCI

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarn	Mikro-twardość kG/mm ²	Twardość Vickersa kG/mm ²
1	Gwóźdź i okucie	Starachowice	ferryt perlit	5 śl	110	91,6
		Wąchock pow. Iłża	ferryt perlit	7 7	116 235	
3	Nit z imacza trzpień		ferryt perlit	5 8	149 222	115,9
		Błaszka	ferryt perlit	5 8	140	102,7

TABLICA IV
WYNIKI OBSERWACJI METALOGRAFICZNYCH ORAZ POMIARÓW
MIKROTWARDZOŚCI I TWARDZOŚCI DALSZYCH PRZEDMIOTÓW ŻELAZNYCH
Z ZIEMI KIELECKIEJ

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikro-twardość kG/mm ²	Twardość Vickersa kG/mm ²
1	Kółko	Radom- Wośniki	feryt perlit	7 8	168 235	} 131,9
2	Fragm. drutu	„	feryt perlit	7 8	170 263	
3	Bransoleta	„	feryt *	6	117	
4	Grot włóczni	Grójec	feryt perlit	7 4	149 270	} 139,2— —193
5	Nit	Korytnica	feryt perlit	5 7	147 255	
6	Fragment nr 1	„	feryt * perlit ?	7	114	91,6
7	Fragment nr 2	„	feryt * perlit	6 7	196 298	} 125,1
8	Zapinka nr 1	„	feryt perlit	6 6	119 202	
9	Kłuczyk a) część stalowa b) część żelazna	„	sorbit feryt	7—4	274 199	
10	Sprzączka	„	feryt	4	194	
11	Zapinka nr 2	„	feryt perlit	6 7	151 251	} 115,9
12	Miecz	Niegosławice	perlit feryt	6 6	258 179	
13	Ostroga	Stoczyska	feryt perlit	5 4	120 259	} 147,1— —206
14	Imacz	Sieciechów	feryt	5	144	
15	Nóż a) część stalowa b) część żelazna	Pilica	martenzyt feryt	6	435 165,8	176
16	Nóż	Wąchock	feryt feryt	6 8	179	} 162,1
17	Nóż	Starachowice	perlit feryt	4 6	284 172	
18	Nit	Sandomierz	feryt *	5	175	131,9

* Ponadto wydzielenia fazy A(γ' —Fe₄N ?) lub B(α'' —Fe₁₆N₂ ?)

ДАЛЬНЕЙШИЕ МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВНИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗА, ОБНАРУЖЕННЫХ В КЕЛЕЦКОЙ ЗЕМЛЕ

Автор дает очерк развития металловедческого изучения древних предметов из железа, а затем излагает концепцию т. наз. древнего „свентокшиского” железа, согласно которой в большом металлургическом центре, расположенном в районе Свентокшиских гор, в древности производилась выплавка железа, отличавшегося специфическими особенностями. Автор приводит также данные дополнительных исследований, на которые опирается изложенная выше концепция (определение сегрегации содержания фосфора в дымарском железе, установление наличия корреляции между содержанием фосфора в руде или шлаке и в дымарском железе и установление наличия систематических различий в химическом составе древних дымарских шлаков).

Рассмотрев полученные до сих пор результаты изучения предметов из железа, найденных в Келецкой Земле, автор описывает работы по изучению отдельных 18 предметов, хранящихся в Свентокшиском Музее в Кельце: металлографические наблюдения с учетом величины зерна, измерения микротвердости структурных ингредиентов аппаратом Ганнеманна и твердости металла методом Викерса, а также количественный и качественный (спектрографический) химический анализ.

Ключик из раннесредневекового могильника в Корытнице, в Енджеювском районе и нож из могильника в Полице, в Олькушском районе изготовлены методом сварки давлением железа с повышенным содержанием фосфора со сталью. Пряжка из Корытницы изготовлена из высокофосфорного железа с признаками науглероживания (?).

Остальные предметы: кольцо, фрагмент проволоки, браслет из раннелатенского могильника из Радома-Восьников, наконечник копья из Груеца, в Опатувском районе, заклепка, фрагменты № 1 и 2 и застёжки № 1 и 2 из Корытницы, меч из раннеримского могильника в Негославице, в Енджеювском районе, шпора из Сточиск, во Влощевском районе, тиски из Сецехува, в Козеницком районе, нож из Вонхоцка, в Илжском районе, нож из Стараховице и заклепка из Сандомежа изготовлены из низкофосфорного железа (ниже 0,2% P, в двух случаях 0,2—0,3 P) с разным, часто неравномерным науглероживанием, не превышающим однако 0,8% C. Названным изделиям присущи свойства древнего „свентокшиского” железа.

Автор приводит дальше результаты изучения заклепки из оковки, найденной в могильнике в Стараховице, а также гвоздя из оковки и заклепки из зажима щита, найденных в могильнике в Вонхоцке, в Илжском районе. Этим изделиям свойственна структура мягкой стали, количество фосфора в них незначительно (0,035—0,18% P).

Затем автор подытоживает проведенные до сих пор исследования свойств „свентокшиских” изделий, опираясь на результаты металловедческих работ по изучению изделий из железа, найденных в Келецкой Земле (в радиусе 100 км от гряды Лысогоры) и относящихся к латенскому и римскому периодам (84 изделия из 19 раскопов). Большинству из этих изделий присущи свойства древнего „свентокшиского” железа (83,3%); эта цифра достигает 97%, если принять во внимание ближайшие окрестности свентокшиского центра.

Автор вторично определяет полигоны разложения (соответствующие кривым вероятности) свойств „свентокшиских” изделий и содержания фосфора (наиболее вероятный предел составляет 0,02—0,03% P), угля, никеля, меди, а по отно-

шению к материалам из могильников с кремационными захоронениями — также величины зерен и микротвердости феррита и перлита. Этим последним материалам свойственно в ряде случаев наличие нитридов, а именно соединения γ — Fe_4N (8,35% изделий), соединения α' — Fe_{16}N_2 (10,0%) или обоих соединений совместно (8,35%); в общем 26,7% „свентокшских” изделий из кремационных захоронений показывают наличие нитридов.

Названные соединения отсутствуют в изделиях, найденных в поселениях (10 изделий из 3 раскопов), из чего можно заключить, что процесс выделения нитридов проходил во время отжига изделий на костре при всесожжении.

В статье рассматривается также структура шлаковых включений в „свентокшских” изделиях, найденных в Келецкой Земле. Чаще всего (62,9%) встречаются в них шлаковые включения с однородной черной окраской (тип А по классификации, произведенной автором), часто, наряду с включениями типа А, встречаются также включения типа В (немногочисленные округленные выделения светлой фазы на темном фоне), свойственные 14,3% изделий. Примерно такое же количество изделий содержит, наряду с включениями типа А, также включения типа С (светлые включения, обрамленные темным контуром).

Относительно редко (8,5%) встречаются в „свентокшских” изделиях, кстати, в незначительном количестве, шлаковые включения типа D (многочисленные круглые выделения светлой фазы на темном фоне). В изделиях, найденных на других территориях, включения типа D встречаются чаще (например, в материалах восточной группы пшеворской культуры они свойственны 68,8% изделий).

Проблема значения структуры шлаковых включений для определения происхождения изделий из дымарского железа нуждается в дальнейшей научной разработке; особо важные результаты могут быть получены в ходе исследований с помощью электронного зонда.

Вторичное изучение свойств древних „свентокшских” изделий, учитывающее почти вдвое большее количество материалов, привело к результатам, полностью совпадающим с результатами исследований, проведенных в 1961 году. Нетрудно убедиться, что определенные свойства „свентокшских” изделий не являются свойствами дымарского железа вообще (достаточно, например, сравнить их со свойствами железных изделий из Межан и Судаты в Литовской ССР) и что свентокшским изделиям действительно присущи некоторые свойства, позволяющие отличить их от остальных.

Это не значит, конечно, что среди железных изделий, включаемых в группу „свентокшских”, не могло оказаться, в результате случайного совпадения свойств изделие, изготовленное в каком-нибудь другом центре, или же, наоборот, что вследствие случайного отсутствия отличительных свойств какое-нибудь изделие свентокшских металлургов не ускользнет от нашего внимания. Однако, если не считать отдельных случаев и рассматривать „свентокшские” изделия в их совокупности, они составляют, несомненно, целое и относятся к свентокшскому металлургическому центру.

FURTHER METALLOGRAPHICAL STUDIES OF THE ANCIENT IRON OBJECTS FROM THE KIELCE REGION

An outline of the development of the application of physical metallurgy to the examinations of ancient iron objects is followed by a description of the so-called conception of the ancient „świętokrzyskie” (Holy Cross Mountains) iron. According to this conception, in the great metallurgical centre in the region of the Świętokrzyskie Mountains, iron with certain definite qualities was smelted in ancient times. The author also discusses the supplementary tests that justify the assumptions on which the conception in question has been based. The tests were to determine the segregation of phosphorus content in the bloomery furnace iron, to prove the correlation between phosphorus content in the ore or slag and the bloomery furnace iron, and to ascertain systematic differences in the chemical composition of the ancient bloomery furnace slags.

After discussing the hitherto obtained results of examinations of ancient iron objects found in the Kielce region, the author describes a further eighteen specimens coming from the Świętokrzyskie Museum in Kielce. Metallographic tests together with the estimation of grain size were carried out, and these were followed by tests for microhardness of structural components (accomplished with Hanne-mann's tester) as well as by tests for metal hardness (performed with Vicker's method). Also the quantitative and qualitative (spectrographic) chemical analysis was made.

A key from the early medieval cemetery at Korytnica, the Jędrzejów district, and a knife from the cemetery at Pilica, the Olkusz district, were made by means of welding iron high phosphorus content with steel. A buckle from Korytnica was made of iron rich in phosphorus but being also carburized (?).

The remaining objects, i. e. a ring, a piece of wire, a bracelet from the early-La Tène cemetery at Radom-Wośniki, a spearhead from Grójec (the Opatów district), a rivet, fragments no 1 and 2 and buckles no 1 and 2 from Korytnica, a sword from the early-Roman cemetery at Niegosławice (the Jędrzejów district), a shield boss from Sieciechów (the Kozienice district), a knife from Wąchock (the Iłża district), a knife from Starachowice, and a rivet from Sandomierz were made of iron characterized by low content of phosphorus (below 0,2 per cent P and in two cases 0,2—0,3 per cent P) and by varying — frequently unequal — carburizing, not exceeding, however, 0,8 per cent C. All those objects have the characteristics of the ancient „świętokrzyskie” iron.

Results of the examinations of a rivet from the ferrule found in the cemetery at Starachowice and a rivet from the shield boss from the cemetery at Wąchock (the Iłża district) were added. The objects in question had a structure of soft steel and a low content of phosphorus (0,35—0,18 per cent P).

Moreover, the hitherto studies on the characteristics of the „świętokrzyskie” products were summed up on the basis of the results of metallographical tests performed on iron objects coming from the Kielce region (within a radius of 100 km from the Łysogóry range) and dating back to the La Tène and Roman period (84 artifacts from 19 archaeological sites). The majority of these artifacts have the features of the ancient „świętokrzyskie” iron, and the number is even increased (97 per cent) when we take into consideration the region in the closest vicinity of the Świętokrzyski centre.

Polygons of distribution of the characteristics of the „świętokrzyskie” products, corresponding to the probability curves, were intercepted and the phosphorus (most

probable range is from 0,02 to 0,03 per cent P), carbon, nickel, and copper content was determined; in specimens coming from the grounds where bodies were buried after cremation both the grain size and ferrite and pearlite microhardness were estimated. The „świętokrzyskie” products often show the presence of nitrides in the latter materials, namely, of a compound γ' — Fe_4N (8,35 per cent of specimens), α'' — Fe_{16}N_2 (10,0 per cent), or of both these compounds (8,35 per cent). On the whole, the presence of nitrides was detected in 26,7 per cent of the „świętokrzyskie” products coming from the grounds where bodies were buried after cremation.

Such compounds, on the other hand, could not be detected in artifacts derived from settlements (ten specimens from three sites). It seems, therefore, very likely that the process of nitride reduction took place during the annealing of objects on a pyre.

The structure of slag inclusions in the „świętokrzyskie” products from the Kielce region was also examined. In the majority of cases (62,9 per cent) there appear slag inclusions with uniform black colouring (type A, according to the author's classification); frequently, in 14,3 per cent of specimens, inclusions of type B are present alongside those of type A (few rounded inclusions of the light phase against the dark background). Likewise numerous are the objects containing inclusions of type C besides those of type A (light inclusions with dark contour).

Relatively rare (8,57 per cent) in the „świętokrzyskie” products are slag inclusions of type D1, in any case appearing in small quantities (numerous rounded inclusions of the light phase against the dark background). On other areas the percentage of type D1 inclusions in iron products is higher (e. g. it amounts to up to 68,8 per cent in the materials coming from the southern group of the Przeworsk culture).

The problem of the structure of slag inclusions as a feature indicating the origin of the bloomery furnace iron is still awaiting further investigations; especially relevant information can be supplied by tests performed with electronic probe.

Studies of the characteristics of the ancient „świętokrzyskie” products carried out for the second time on the basis of almost twice as numerous materials gave the results coinciding with those obtained in 1961. Since it is not difficult to prove that certain qualities of the „świętokrzyskie” products are not the characteristics of the bloomery furnace iron in general, by comparing these objects, for instance, with iron products from Mieżany and Sudata (Lithounian Sov. Soc. Rep.), this result demonstrates that — generally speaking — the „świętokrzyskie” products show indeed certain specific qualities by which they can be identified.

This, of course, does not exclude the possibility that among the iron objects ranged with the group of the „świętokrzyskie” products there may be found — as a result of accidental coincidence of characteristics — a specimen manufactured in some other centre. Or, on the contrary, there exists a possibility that a product of the „świętokrzyski” ironworkers will be overlooked because of some accidental divergence of characteristics. These will be, however, only chance cases whereas the „świętokrzyskie” products, as a certain whole, actually correspond to the objects manufactured in this ironworks centre.