

Jerzy Piaskowski

Metaloznawcze badania starożytnych i wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych i żużla z południowo-wschodnich ziem Polski

Południowo-wschodnie ziemie Polski nie były dotąd objęte planowymi badaniami starożytnych i wczesnośredniowiecznych materiałów żelaznych. Wśród zbadanych okazów znalazły się tylko nieliczne przedmioty z tego terenu, a mianowicie: 6 wyrobów żelaznych z cmentarzyska kultury łużyckiej w Sokolnikach koło Tarnobrzega¹, 4 przedmioty z cmentarzyska kultury przeworskiej w Błoniu, koło Sandomierza², po dwa noże z wczesnośredniowiecznych kopców w Trzebieszawicach i Winiarach koło Sandomierza³, grot włóczni z Jarosławia⁴, wędzidło z Mymonia⁵ oraz wczesnośredniowieczna (?) radlica z Kamienia Plebańskiego koło Sandomierza⁶.

Dopiero w ostatnich latach, w ramach problemu międzyresortowego III 11, koordynowanego przez Instytut Historii Nauki, Oświaty i Techniki Polskiej Akademii Nauk przeprowadzono analizy metaloznawcze dużej serii 52 starożytnych i wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych oraz 16 próbek żużla z tego okręgu, dostarczonych przez muzea z południowo-wschodniej części Polski, a mianowicie przez Muzeum Okręgowe w Rzeszowie, Muzeum Historyczne w Sanoku, Muzeum Okręgowe w Krośnie i Muzeum Okręgowe w Przemyślu.

Niniejszy artykuł zawiera opracowanie tych analiz. Za udostępnienie materiałów do badań autor składa podziękowanie dyrekcji wymienionych muzeów.

1. ZESTAWIENIE ZBADANYCH MATERIAŁÓW

Do badań przeznaczono przedmioty żelazne (8 szt.) z następujących stanowisk grupy tarnobrzeskiej kultury łużyckiej:

a) cmentarzysko w Kłyżowie, woj. tarnobrzeskie (stanowisko 2): noże nr 1 i 2, szpila,

b) cmentarzysko w Krzemienicy, woj. rzeszowskie (stanowisko 1): wędzidło, skręt,

c) cmentarzysko w Kopkach, woj. tarnobrzeskie (stanowisko 1): grot włóczni,

d) cmentarzysko w Zarzeczcu, koło Niska, woj. tarnobrzeskie: szpila nr 1 i 2.

Z okresu wpływów rzymskich przeznaczono do badań okazy (17 szt.) z następujących stanowisk:

e) osada w Zakrzowie—Tarnobrzegu: grot włóczni, noże nr 1, 2 i 3,

f) cmentarzysko w Krzemienicy, woj. rzeszowskie (stanowisko 2): ostroga,

g) cmentarzysko w Pysznicy, woj. tarnobrzeskie (stanowisko 1): umbo, grot włóczni,

h) cmentarzysko w Grodzisku Dolnym, woj. rzeszowskie (stanowisko 5): grot włóczni,

i) osada w Wietrzno-Bani, woj. krośnieńskie: sztabka,

k) osada w Piwnicznej woj. nowosądeckie (stanowisko A): grot włóczni,

l) osada w Lesku, woj. krośnieńskie (stanowisko 1): czerpak, fragmenty nr 1 i 2, grot strzały oraz — znalezione poza warstwą kulturową — krój i radlica,

m) osada w Bachórze, woj. przemyskie: nóż nr 3.

Przeznaczone do badań wyroby wczesnośredniowieczne (27 szt) pochodziły z następujących stanowisk:

n) osada w Nisku, woj. tarnobrzeskie (stanowisko 1): grot włóczni, nożyce, sprzączka, noże nr 1 i 2,

o) osada w Rzeszowie (stanowisko 3): noże nr 1, 2, 3 i 4,

p) cmentarzysko kurhanowe w Czarnorzekach, woj. krośnieńskie: łańcuch,

r) grodzisko Sobień w Monastercu (Zagórz, woj. krośnieńskie): grot strzały,

s) stanowisko archeologiczne we Wróbliku Szlacheckim, woj. krośnieńskie: grot włóczni

t) osada w Bachórze, woj. przemyskie: noże nr 1, 2 i 4,

u) grodzisko w Sanoku-Białej Górze: groty, bełtu nr 1 i 2, grot strzały,

w) grodzisko w Mymoniu, woj. krośnieńskie: grot bełtu, ostroga, kowadełko, gwoździe nr 1, 2, 3 i 4.

z) osada w Lesku, woj. krośnieńskie: fragment nr 3.

Ponadto przeprowadzono ilościową analizę chemiczną 16 fragmentów żuźla z osad kultury przeworskiej z okresu rzymskiego w Wietrzno-Bani, woj. krośnieńskie, Koziarni, woj. tarnobrzeskie, Otałęży, woj. rzeszowskie, Baranowie Sandomierskim, woj. tarnobrzeskie i Lesku, woj. krośnieńskie, z wczesnośredniowiecznego cmentarzyska kurhanowego w Czarnorzekach, woj. krośnieńskie oraz z grodziska w Sanoku-Białej Górze (XIII—XIV w).

Przedmioty żelazne z Krzemienicy (st. 1 i 2), Kłyżowa, Zakrzowa-Tarnobrzega, Pysznicy, Kopek, Niska, Koziarni, Leska (z wyjątkiem fragmentu nr 3), Grodziska Dolnego, Rzeszowa i Niska pochodziły z Muzeum Okręgowego w Rzeszowie, okazy z Zarzecza, Wróblika Szlacheckiego, grodziska Sobień w Monastercu, Leska (fragment nr 3) Sanoka-Białej Góry i Mymonia — z Muzeum Historycznego w Sanoku. Wyroby żelazne z Piwnicznej, Wietrzno-Bani, Brzezówki i Czarnorzek zostały dostarczone przez Muzeum Okręgowe w Krośnie, a przedmioty z Bachorza — przez Muzeum Okręgowe w Przemyślu.

Próbki żuźla z Koziarni, Otałęży, Baranowa Sandomierskiego i Leska zostały dostarczone przez Muzeum Okręgowe w Rzeszowie, próbki żuźla z Wietrzno-Bani i Czarnorzek — z Muzeum Okręgowego w Krośnie, a próbki żuźla z Sanoka-Białej Góry — z Muzeum Historycznego w Sanoku.

2. METODY BADAŃ

Metody badań i sposobów zestawienia wyników były identyczne jak w innych podobnych pracach autora⁷ z tym, że zawartość fosforu w metalu oznaczano metodą fotometryczną, a zawartość niklu i miedzi — metodą absorpcji atomowej. Rozdzielenie warstw żelaza i stali, z których wykonane były niektóre badane przedmioty (strzemię z Brzezówki, kowadełko z Mymonia, noże nr 1, 2 i 4 z Rzeszowa, krój z Leska, grot strzały z Sanoka-Białej Góry, nożyce z Niska) okazało się zbyt trudne do rozdzielenia i stąd przeprowadzona analiza reprezentuje średnie wyniki ze wszystkich warstw przedmiotu.

Obserwacje metalograficzne prowadzono przy użyciu powiększenia 100 i 500× trawiąc próbki 4 proc. roztworem kwasu azotowego w alkoholu etylowym. Dla ujawnienia segregacji fosforu w metalu stosowano odczynnik Oberhoffera.

Wielkość ziarna metalu określano zgodnie z normą PN-56/H-04507.

Przy pomiarach mikrotwardości składników strukturalnych stosowano aparat Hanemanna i obciążenie 50 g w ciągu 15 s. Każdy wynik jest średnim z pięciu pomiarów.

Badania twardości metalu przeprowadzono sposobem Vickersa (według normy PN/H-04360) stosując obciążenie 10 g w ciągu 15 s.

Każdy wynik jest średnim z 2—3 pomiarów.

Ponadto dla trzech okazów (nóż nr 3 z Zakrzowa-Tarnobrzega, krój z Leska i kowadełko z Mymonia) zastosowano badania rozłożenia domieszek As, Cu, Ni i P przy użyciu mikroanalityzatora rentgenowskiego SEMQ ARL stosując metodę liniową⁸.

Określenie technologii poszczególnych przedmiotów przeprowadzono w oparciu o obiektywne kryteria opracowane przez autora⁹.

Przeprowadzono także ilościową analizę chemiczną próbek żuźla stosując znormalizowane metody analizy dla rudy żelaznej (posiadającej podobny skład do żuźla dymarskiego). Ponadto przeprowadzono badania fragmentów żuźla w celu wykrycia wtrąceń zredukowanego żelaza (z pomyślnym wynikiem).

W jednym fragmencie żuźla (nr 4) z Koziarni, posługując się magnesem, udało się znaleźć niewielkie ilości zredukowanego żelaza (łupki), które poddano badaniom stosowanym przy analizach wyrobów żelaznych.

3. SERIA I. PRZEDMIOTY ŻELAZNE Z KŁYŻOWA, KRZEMIENICY, KOPEK, PYSZNICY, ZAKRZOWA-TARNOBRZEGA

Szkice zbadanych przedmiotów żelaznych z Kłyżowa, Krzemienicy, Kopek, Pysznicy, Zakrzowa-Tarnobrzega i Grodziska Dolnego (wraz z określeniem miejsca wycięcia próbek) podano na ryc. 1, a technologię ich wykonania (umownie oznaczony stopień nawęglania metalu) — na ryc. 2.

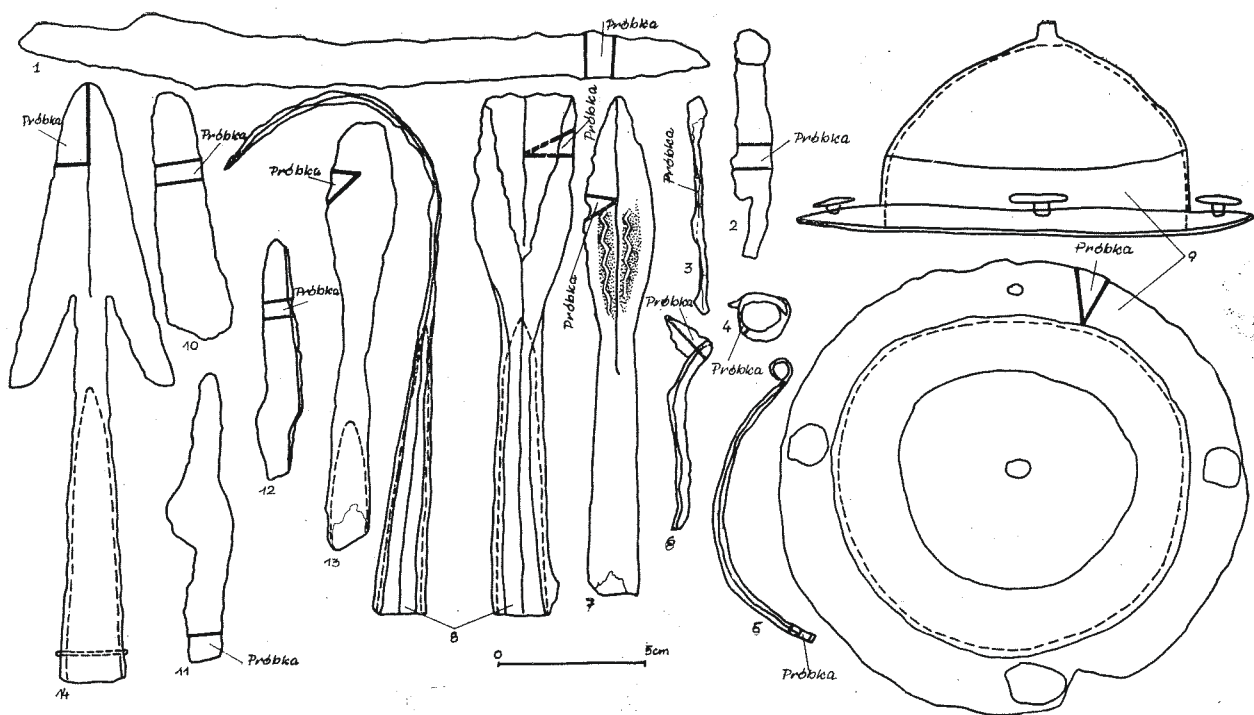
Zestawienie tych przedmiotów oraz wyniki ilościowej analizy chemicznej zestawiono w tablicy 1, a wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości składników strukturalnych i twardości metalu — w tablicy 2.

Badania metalograficzne dały następujące wyniki:

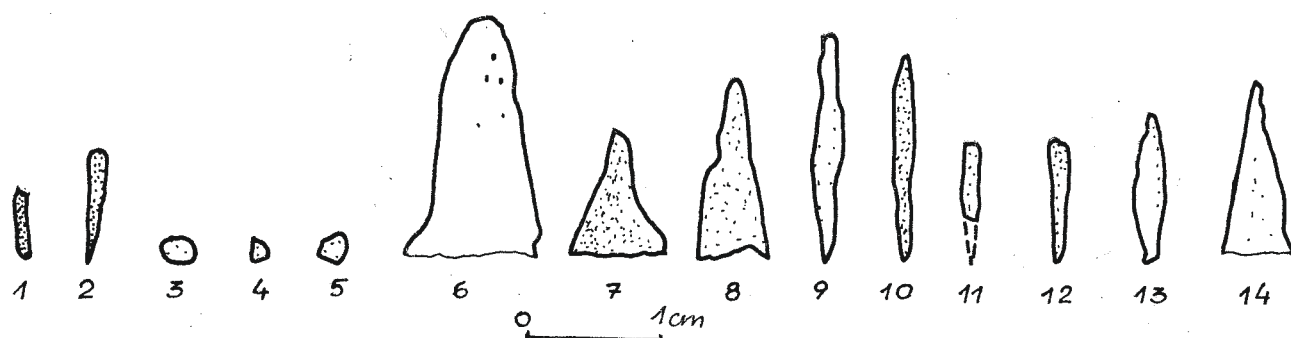
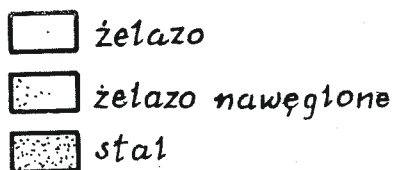
3.1. KŁYŻÓW

Nóż nr 1 z grobu nr 52 (nr inw. 2543) posiadał gruboziarnistą strukturę sorbityczno-ferrytyczną stali o zawartości około 0,60 proc. C (tab. I a).

Wtrącenia żuźla zawarte w metalu bardzo cienkie i wydłużone posiadały prawdopodobnie



Ryc. 1. Szkice zbadanych przedmiotów żelaznych I serii: 1 — nóż nr 1, 2 — nóż nr 2, 3 — szpila z Kłyżowa, stan. 2, 4 — skręt, 5 — wędzidło z Krzemienicy (stan. 1), 6 — ostroga z Krzemienicy (stan. 2), 7 — grot włóczni z Kopek (stan. 1), 8 — grot włóczni, 9 — umbo z Pysznicy, 10 — nóż nr 1, 11 — nóż nr 2, 12 — nóż nr 3, 13 — grot włóczni z Zakrzowa-Tarnobrzega (stan. 1), 14 — grot włóczni z Grodziska Dolnego



Ryc. 2. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych I serii: 1 — nóż nr 1, 2 — nóż nr 2, 3 — szpila z Kłyżowa, (stan. 2), 4 — skręt, 5 — wędzidło z Krzemienicy (stan. 1), 6 — ostroga z Krzemienicy (stan. 2), 7 — grot włóczni z Kopek (stan. 1), 8 — grot włóczni, 9 — umbo z Pysznicy, 10 — nóż nr 1, 11 — nóż nr 2, 12 — nóż nr 3, 13 — grot włóczni z Zakrzowa-Tarnobrzega (stan. 1), 14 — grot włóczni z Grodziska Dolnego

jednolite czarne zabarwienie (typ A według klasyfikacji autora¹⁰).

Nóż nr 2 z grobu nr 197 (nr inw. jak wyżej) wykonany został ze stali nierównomiernie nawęglonej (o zawartości węgla od 0,3 do 0,5 proc C) o strukturze perlityczno-ferrytycznej (tab. I b). Trawienie odczynnikami Oberhoffera ujawniło równomierne rozłożenie fosforu w metalu.

Wtrącenia żuźla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

Szpila z grobu nr 198 (nr inw. jak wyżej) wykazała strukturę ferrytyczną ze śladowymi ilościami perlitu.

Na tle ziarn ferrytu obserwowano liczne wydzielienia iglastej fazy A o długości 0,01 mm (tab. I c). Jest to najprawdopodobniej związek γ' -

Tablica 1

Zestawienie i wyniki ilościowej analizy chemicznej starożytnych przedmiotów żelaznych z Kłyzowa, Krzemienicy, Kopki, Pysznicy, Tarnobrzegu-Zakrzowa, Grodziska Dolnego

Lp	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja /nr inw./	Masa g	Zawartość, %		
					P	Ni	Cu
1	Nóż nr 1	Kłyzów, st.2	grób 52 /nr inw. 2543/	67	0,010	0,002	0,009
2	Nóż nr 2		grób 197 /nr inw. 2543/	7	0,034	0,022	0,011
3	Szpila		st. 2, grób 198 /nr inw. 2543/	5	0,126		
4	Skręt	Krzemienica, st.1	grób 46 /nr 2338	2		0,025	0,26
5	Wędzidło		grób 126 /nr inw. 2338/	4	0,034	0,010	0,097
6	Ostroga	Krzemienica, st. 2	dz. 87, głęb.25 /nr inw. 2458/	11	0,083	0,035	0,021
7	Grot włóczni	Kopki, st. 1	/nr inw.499/	94	0,01	0,034	0,006
8	Grot włóczni	Pysznica, st.1	ar V, ćw. B grób I /pol.k.w. 281a/		0,10	0,027	0,006
9	Umbo		ar V, ćw.B, Grób I /pol.k.w. 281a/	626	0,44	0,024	0,011
10	Nóż nr 1	Tarnobrzeg-Za- krzów, st. 1	ar VII, ćw. B,dz.d głęb. 20-42 cm /nr inw. 2512/	20	0,034	0,044	0,019
11	Nóż nr 2		ar.I, ćw.C, dz. a głęb. 120 cm /nr inw. 2517/	11,5	0,34	0,015	0,011
12	Nóż nr 3		ar O, ćw. A, dz.a	9	0,123	0,006	0,013
13	Grot włóczni		ar III, ćw. B,dz.b głęb. 60-80 cm /nr inw. 2517/	57	0,34	0,043	0,013
14	Grot włóczni	Grodzisko Dolne st. 5	/nr inw. 577/	145	0,31	0,040	0,025

-Fe₄N, gdyż tak zidentyfikowano podobne wydzielienia we współczesnej stali ¹¹.

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające dość liczne zaokrąglone wydzielienia jasnej fazy na ciemnym tle (typ D1).

3.2. KRZEMIENICA (STANOWISKO 1)

Skręt z grobu nr 46 (nr inw. 2338) wykonany był z żelaza o strukturze ferrytycznej ze śladowymi ilościami perlitu (tab. I d).

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały w znacznej części wtrącenia, zawierające zaokrąglone wydzielienia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

Wędzidło z grobu nr 126 (nr inw. jak wyżej) wykazało strukturę ferrytyczno-perlityczną niskowęglowe) stali o zawartości ok. 0,1% C (tab. I e). Trawienie odczynnikami Oberhoffera ujawniło równomierne rozłożenie fosforu w metalu.

Wtrącenia żuźla były bardzo drobne, prawdopodobnie o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) i bardziej złożonej strukturze (typ B?).

3.3. KRZEMIENICA (STANOWISKO 2)

Ostroga (nr inw. 2458) wykonana była z żelaza o strukturze ferrytyczno-perlitycznej. Zawartość węgla w metalu zmieniała się od śladów do ok. 0,1 proc C (tab. I f). Trawienie odczynnikami Oberhoffera wykazało równomierne rozłożenie fosforu.

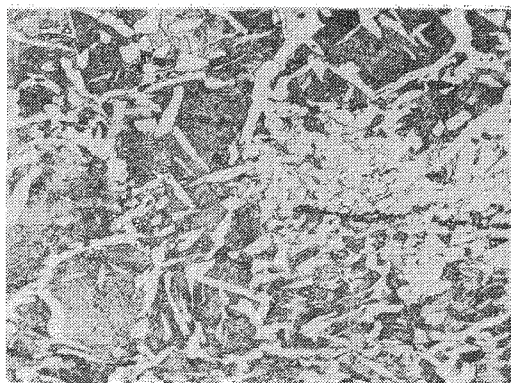
Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające dość liczne zaokrąglone wydzielienia jasnej fazy na ciemnym tle (typ D1).

3.4. KOPKI

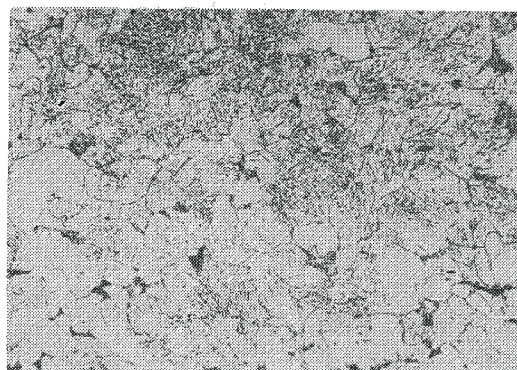
Grot włóczni wykuty został ze stali o nierównomiernym nawęgleniu (0,3 do 0,7 proc. C);



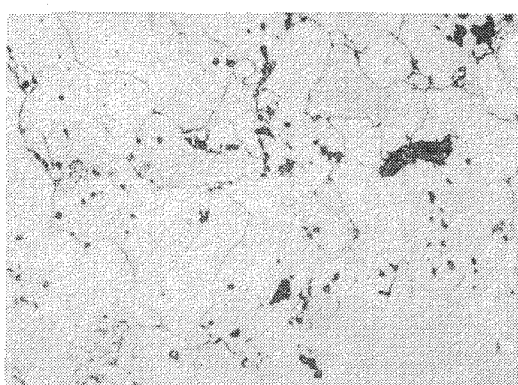
a



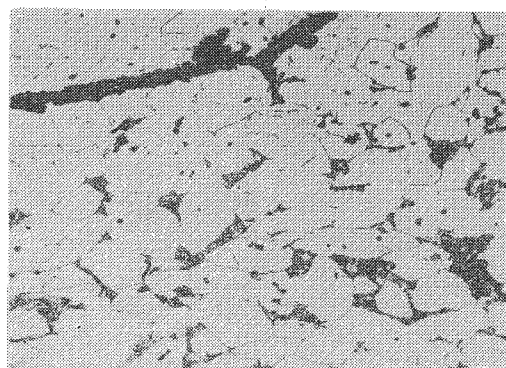
b



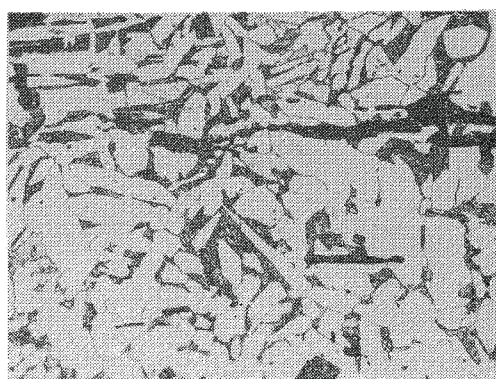
c



d



e



f



g



h

TAB. I. Kłyżów nr 1: (a) struktura, pow. 100 x, nóż nr 2: (b) struktura, pow. 100 x, szpila: (c) struktura, pow. 100 x. Krzemienica (stan. 1) — skrzę: (d) struktura, pow. 100 x, wędzidło: (e) struktura, pow. 100 x. Krzemienica (stan. 2) — ostroga: (f) struktura, pow. 100 x. Kopki — grot włóczni: (g) struktura, pow. 100 x. Pysznica — grot włóczni: (h) struktura, pow. 100 x; wszystkie próbki traw. azotalem.

Tablica 2

Wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości przedmiotów żelaznych z Kłyzowa, Krzemienia, Kopek, Pysznicy, Tarnobrzegu-Zakrzowa, Grodziska Dolnego

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikro-twardość kg/mm^2	Twardość H_V
1	Nóż nr 1	Kłyzów st. 2	perlit ferryt	2 7	234 158	169
2	Nóż nr 2		perlit ferryt	5 7	379 200	
3	Szpila		ferryt ^{x/} perlit	7 śl.	173	
4	Skreś	Krzemienica st. 1	ferryt	4	151	93,6
5	Wędzidło		perlit ferryt ^{x/}	7 6	160	101,2
6	Ostroga	Krzemienica st. 2	ferryt perlit ferryt	5 6 6	158 171	202
7	Grot włócznie		perlit ferryt	4 7	240 124	
8	Grot włócznie		ferryt perlit	5 6	148 290	
9	Umbo	Tarnobrzeg-Zakrzów st. 1	ferryt ferryt	3 7	223 184	188
10	Nóż nr 1		sorbit ferryt	9 10	724 255	
11	Nóż nr 2		ferryt ferryt perlit	4 8 9	251 184 291	129,8
12	Nóż nr 3		sorbit sorbit ferryt	6	444 374 186	
13	Grot włócznie		ferryt ferryt perlit	4 8 9	152 245	136,9
14	Grot włócznie		ferryt ferryt perlit	4 7	154 144	
		Grodzisko Dolne st. 5				84,3

x/ zawierający wydzielenia iglastej fazy A / $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}_2$ / lub fazy B / $\alpha\text{-Fe}_{16}\text{N}_2$?/

struktura perlityczno-ferrytyczna (tab. I g). Trawienie odczynnikami Oberhoffera wykazało równomierne rozłożenie fosforu.

Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

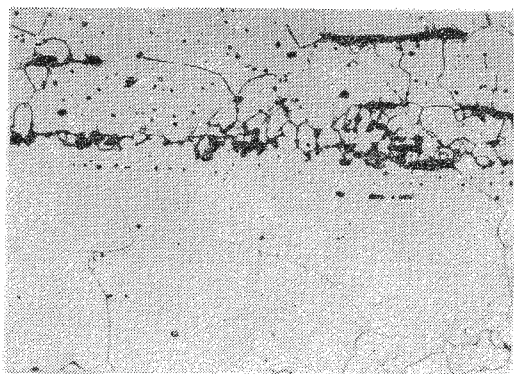
3.5. PYSZNICA

Grot włócznie wykazały ferrytyczno-perlityczną strukturę niskowęglowej stali o nierównomiernym nawęgleniu (0,1 do 0,3 proc. C) — tab. I h. Rozłożenie fosforu w metalu, jak stwierdzono na podstawie trawienia próbki odczynnikami Oberhoffera, było równomierne.

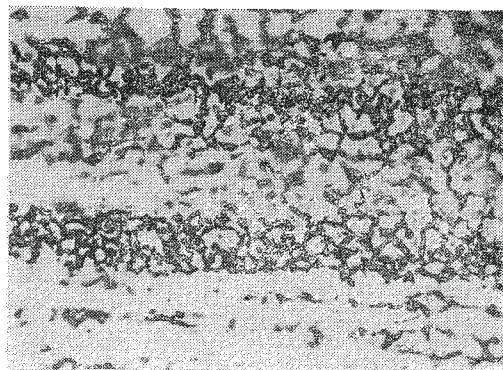
Wtrącenia żużla posiadały na ogół ciemne zabarwienie (typ A), w niektórych jednak nie było ono równomierne.

Umbo wykute zostało z żelaza o strukturze ferrytycznej, przy czym obok ziarn dużych (klasa 3) występowały skupienia ziarn drobnych (klasa 7); wśród tych ostatnich obserwowano śladowe ilości perlitu (tab. II a). Trawienie odczynnikami Oberhoffera ujawniło pasmowe rozłożenie fosforu (tab. II b).

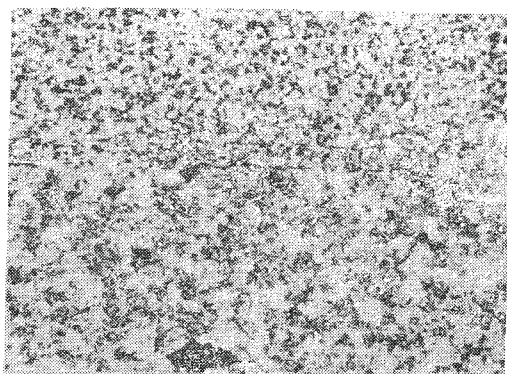
Wtrącenia żużla posiadały przeważnie złożoną strukturę; mniej lub bardziej liczne zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle



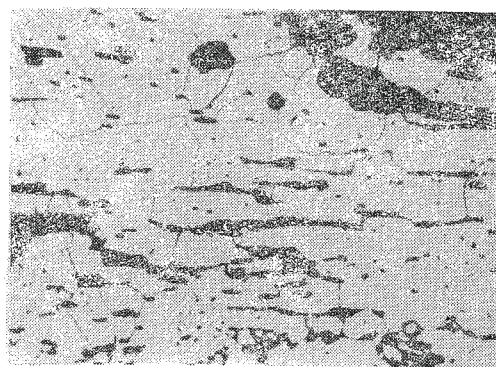
a



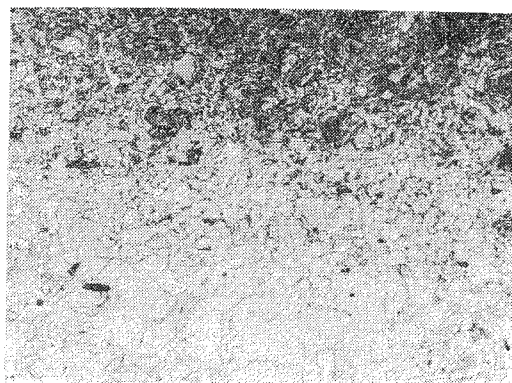
b



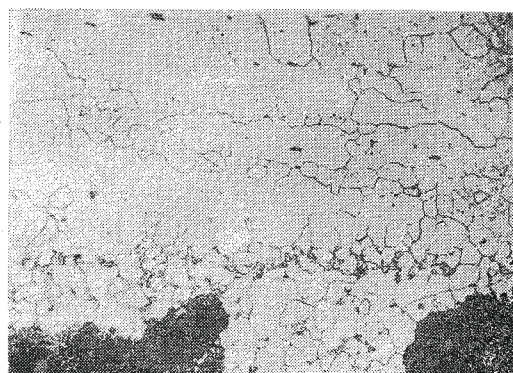
c



d



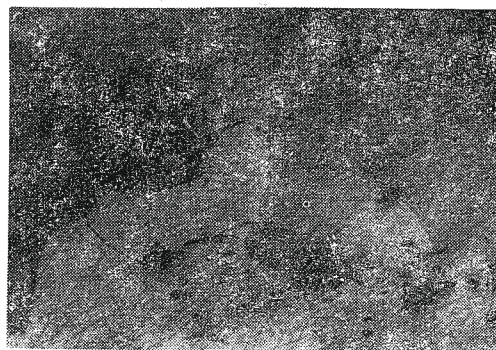
e



f



g



h

TAB. II. Pysznica — umbo: (a) struktura, pow. 100 x, (b) rozłożenie fosforu w metalu, pow. 100 x. Zakrzów-Tarnobrzeg — nóż nr 1: (c) struktura, pow. 100 x, nóż nr 2 (d) struktura, pow. 100 x, nóż nr 3: (e) struktura, pow. 400 x, grot włóczni: (f) struktura, pow. 100 x. Grodzisko Dolne — grot włóczni: (g) struktura, pow. 100 x, (h) rozłożenie fosforu w metalu, pow. 100 x; a, c, d, e, f, g — traw. azotalem, b, h, — traw. odczynnikami Oberhoffera

(typ B i D1). Występowały także pewne ilości wtrąceń o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A).

3.6. ZAKRZÓW-TARNOBRZEG

Nóż nr 1 (nr inw. 2512) wykonany był ze stali o nierównomiernym nawęgleniu (0,3 do 0,8 proc. C) i o bardzo drobnoziarnistej strukturze sorbityczno-ferrytycznej (tab. II c); przy powierzchni zaobserwowano niewielkie odwęglanie, które nastąpiło prawdopodobnie podczas kucia lub wygrzania na stosie ciepłym.

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu występowały nieliczne zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

Nóż nr 2 (nr inw. 2517) wykazał ferrytyczno-perlityczną strukturę żelaza o nierównomiernym nawęgleniu (do ok. 0,1 proc C) — tab. II d. W części nawęglonej występowała struktura drobnoziarnista (klasa 8 wielkości ziarn). W pozostałych częściach ziarna ferrytu były większe (klasa 4).

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A), występowały często wtrącenia o bardziej złożonej strukturze (typ B i D1).

Nóż nr 3 (nr inw. jak wyżej) wykuty został ze stali o nierównomiernym nawęgleniu, o strukturze sorbityczno-ferrytycznej (tab. II e).

Mikroanaliza rentgenowska nie wykazała w nożu nr 3 wyraźnych różnic rozłożenia arsenu, fosforu, miedzi i niklu.

W metalu obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia jasne (typ C) oraz wtrącenia, zawierające zaokrąglone wydzielania o popielatym zabarwieniu na ciemnym tle (typ D21).

Nóż nr 3 poddany był obróbce cieplnej.

Grot włóczni (nr inw. j. w.) był wykonany z żelaza o strukturze ferrytycznej ze śladowymi ilościami perlitu.

W części nawęglonej ziarna ferrytu były drobniejsze (klasa 8), aniżeli w pozostałych częściach (klasa 4) tab. II f.

Wtrącenia żuźla posiadały bądź jednolite czarne zabarwienie (typ A), bądź strukturę bardziej złożoną; dość liczne zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ D1).

3.7. GRODZISKO DOLNE

Grot włóczni (nr inw. 577) wykazał strukturę ferrytyczną ze śladowymi ilościami perlitu. W miejscach nawęglonych występowały drobne ziarna ferrytu (klasa 7), a w pozostałych ziarna duże (klasa 4) — tab. II g. Rozłożenie fosforu w masie metalu, określone na podstawie trawie-

nia (tab. II h) odczynnikiem Oberhoffera — było dość równomierne (tab. II h).

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające mniej lub bardziej liczne zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ B i D1).

4. SERIA II: PRZEDMIOTY ŻELAZNE Z ZARZECZA, WIETRZNO-BANI, PIWNICZNEJ I LESKA

Szkice zbadanych przedmiotów żelaznych z Zarzecza, Wietrzno-Bani, Piwnicznej i Leska (wraz z określeniem miejsca wycięcia próbek) podano na ryc. 3, a technologię ich wykonania (umownie oznaczony stopień nawęglenia metalu) — na ryc. 4.

Zestawienie tych przedmiotów i wyniki ilościowej analizy chemicznej zestawiono w tablicy 3, a wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości składników strukturalnych i twardości metalu — w tablicy 4.

Badania metalograficzne dały następujące wyniki:

4.1. ZARZECZE KOŁO NISKA

Szpila nr 1 (nr inw. 334) wykazała perlityczno-ferrytyczną strukturę stali o zawartości ok. 0,4 proc. C tab. III a).

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

Szpila nr 2 (nr inw. 335) wykonana również perlityczno-ferrytyczną strukturę stali o zawartości ok. 0,4 proc. C.

W szpili zaobserwowano jedynie wtrącenia żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A).

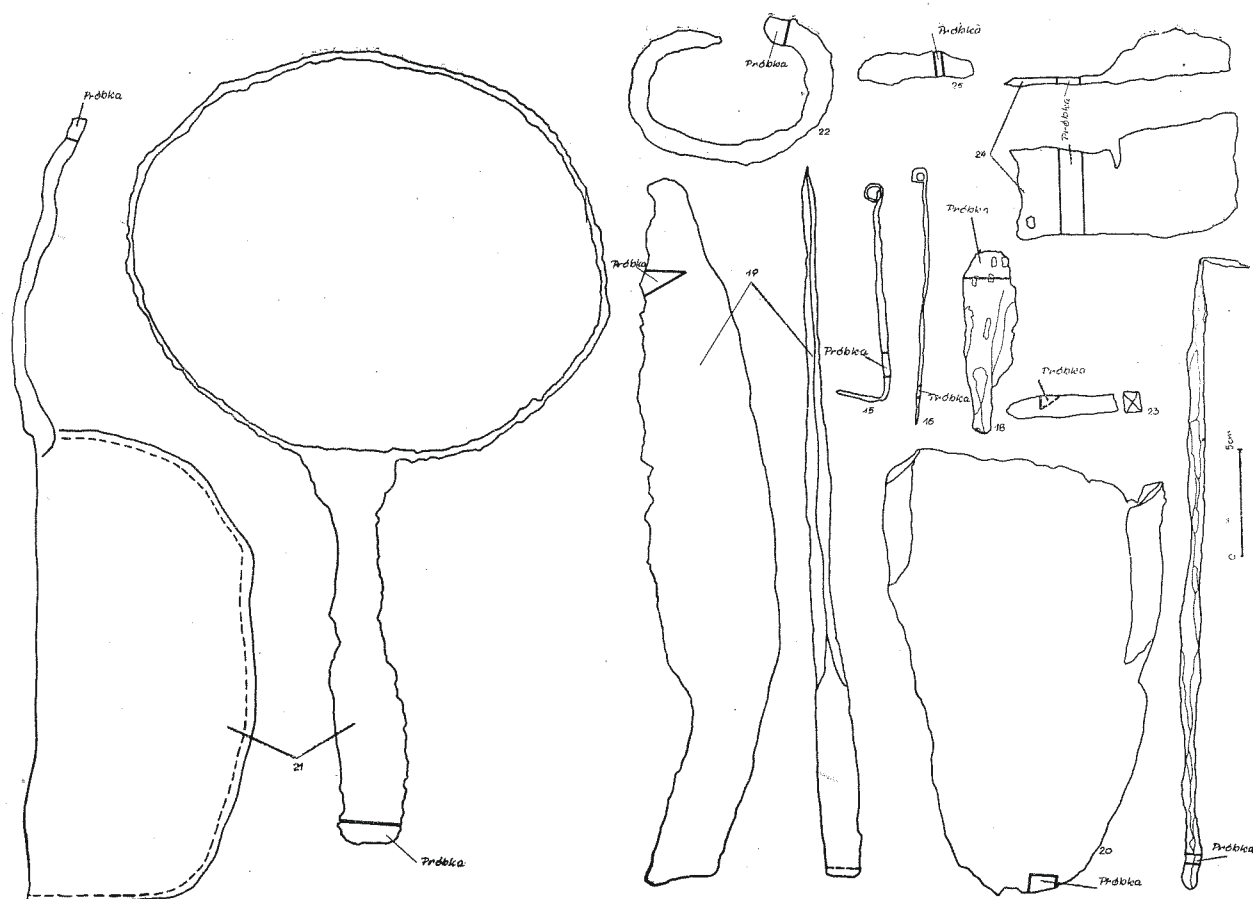
4.2. WIETRZNO-BANIA

Sztabka z osady w Wietrzno-Bani (nr inw. 438), datowana na okres rzymski wykuta została z dość równomiernie nawęglonej stali niskowęglowej (zawierającej ok. 0,2—0,3 proc. C) o bardzo drobnoziarnistej strukturze ferrytyczno-perlitycznej (klasa wielkości ziarna 10).

Wtrącenia żuźla na ogół bardzo drobne, posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ. A).

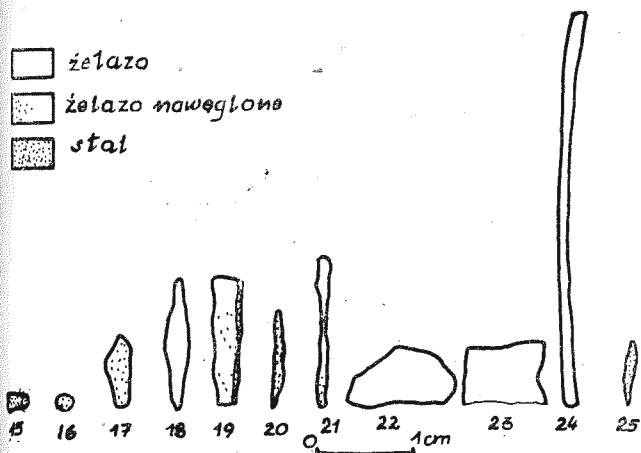
4.3. PIWNICZNA

Grot włóczni z obiektu 3, mieszkalnego datowany na późny okres wpływów rzymskich wykazał strukturę ferrytyczną żelaza. Kształt ziarn



Ryc. 3. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych II serii: 15 — szpila nr 1, 16 — szpila nr 2 z Zarecza, 17 — sztabka z Wietrzno-Bani, 18 — grot włóczni z Piwnicznej, 19 — krój, 20 — radlica, 21 — czerpak, 22 — fragment nr 1, 23 — grot strzały, 24 — fragment nr 2 (okucie), 25 — fragment nr 3 z Leska (stan. 1)

4.4. LESKO



Ryc. 4. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych II serii 15 — szpila nr 1, 16 — szpila nr 2 z Zarecza, 17 — sztabka z Wietrzno-Bani, 18 — grot włóczni z Piwnicznej, 19 — krój, 20 — radlica, 21 — czerpak, 22 — fragment nr 1, 23 — grot strzały, 24 — fragment nr 2 (okucie), 25 — fragment nr 3 z Leska (stan. 1)

różnił się nieco od ziarn występujących zwykle w żelazie dymarskim (tab. III c, d).

W metalu występowały bardzo drobne, zaokrąglone wtrącenia żużla, o jasnym zabarwieniu (typ C?), różniące się od wtrąceń, jakie zwykle występują w żelazie dymarskim.

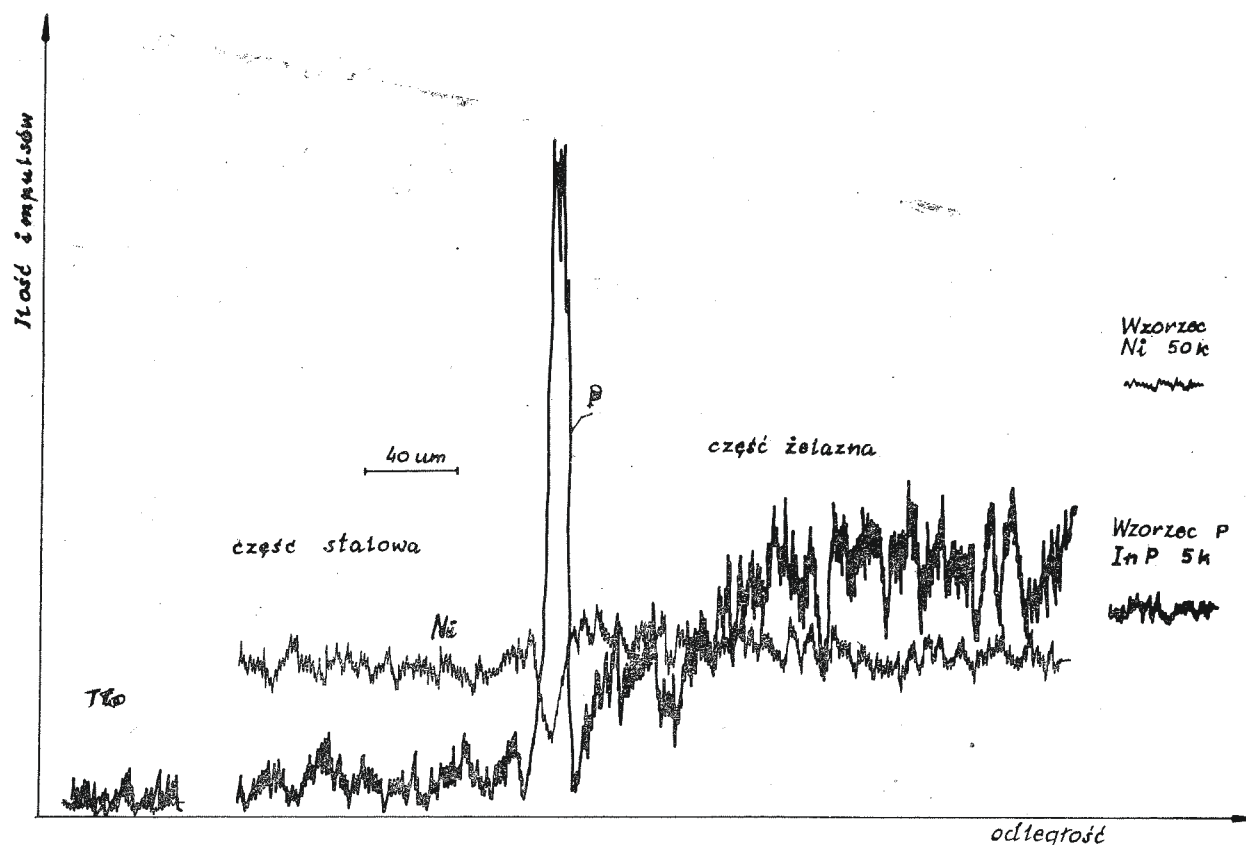
Krój (nr inw. 2341) wykazał złożoną technologię. Był on wykuty z żelaza, a na jego powierzchnię nałożono nakładkę stalową stosując zgrzewanie kowalskie (tab. III e).

Trawienie odczynnikami Oberhoffera ujawniło, że w nakładce stalowej zawartość fosforu była znacznie niższa (tab. III f). Strukturę w miejscu zgrzewania części stalowej i żelaznej przedstawia tab. III g.

W części żelaznej, gruboziarnistej rozłożenie fosforu było nierównomierne (tab. III h). Mniej fosforu zawierały miejsca, gdzie nastąpiło śladowe nawęglenie (pierwotne).

Mikroanaliza rentgenowska kroja wykazała znacznie wyższą zawartość fosforu w części żelaznej, aniżeli w części stalowej; ostre maksimum na połączeniu obu części pochodzi z wtrącenia żużla (ryc. 5). Obie te części nie różniły się zawartością arsenu, miedzi i niklu.

Radlica (nr inw. j.w.) wykazała strukturę sorbityczną stali twardej, świadczącą o zastosowaniu obróbki cieplnej. Zawartość węgla w stali można oszacować na 0,6—0,8 proc. C (tab. IV a).



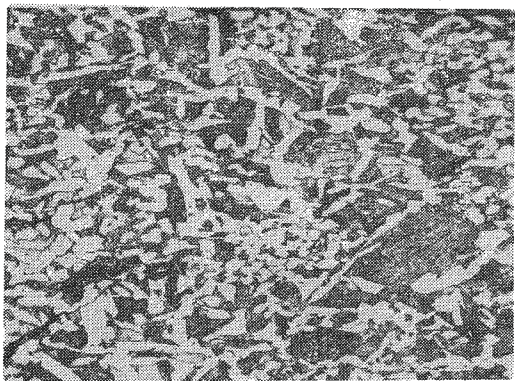
Ryc. 5. Mikroanaliza rentgenowska zawartości fosforu i niklu w kroju z Leska (analiza liniowa).

Tablica 3

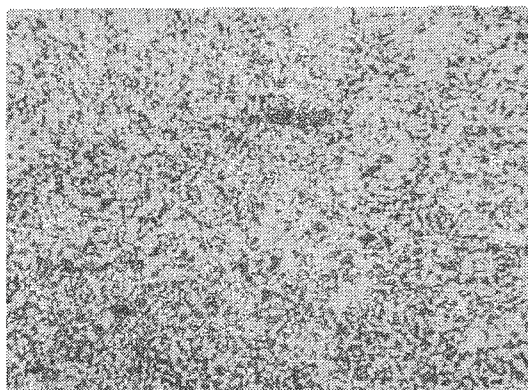
Zestawienie i wyniki ilościowej analizy chemicznej przedmiotów żelaznych z Zarzecza, Wietrzno-Bani, Piwnicznej i Leska

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja /nr inw./	Masa g	Zawartość, %		
					P	Ni	Cu
15	Szpila nr 1	Zarzecze	nr inw. 334	6,0	0,032	0,012	0,006
16	Szpila nr 2		nr inw. 335	4,8	0,013	0,013	0,041
17	Sztabka	Wietrzno-Bóbrka	ar 046, ów. A, dz.a nr inw. 438	40,6	0,01	0,050	0,011
18	Grot włóczni	Piwniczna	obiekt 3 /mieszkalny/		0,015		
19	Krój	Lesko st. 1	ar XXI, ów. A głęb. 20-40 cm /nr inw. 2241/	928	0,62	0,020	0,021
20	Radlica		ar XXI, ów. A głęb. 20-40 cm /nr inw. 2341/	616	0,02	0,031	0,034
21	Czerpak		stadion sportowy /nr inw. 2341/	1606	0,02	0,047	0,152
22	Fragment nr 1		jama nr 10, głęb. 40-50 cm /nr inw. 2341/	103,5	0,13	0,024	0,064
23	Grot strzały		ar XLIV, ów. A głęb. 100 cm /nr inw. 2342/	20	0,66	0,030	0,008
24	Fragment nr 2 /okucie/		ar XXIII, ów. A głęb. 30-40 cm jama 20, oz. III /nr inw. 2342/	107	0,05	0,007	0,011
25	Fragment nr 3		osada /nr inw./	6,9	0,07	0,033	0,058

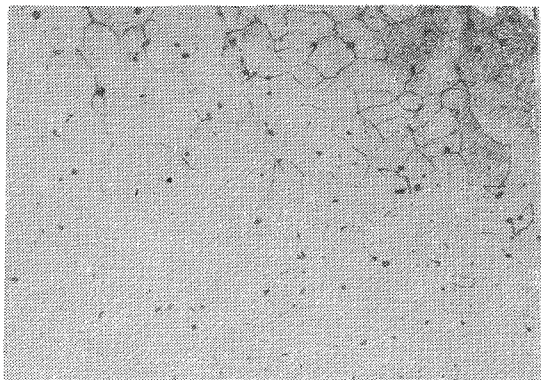
Uwaga: poz. 21 — poprawnie powinno być: stadion



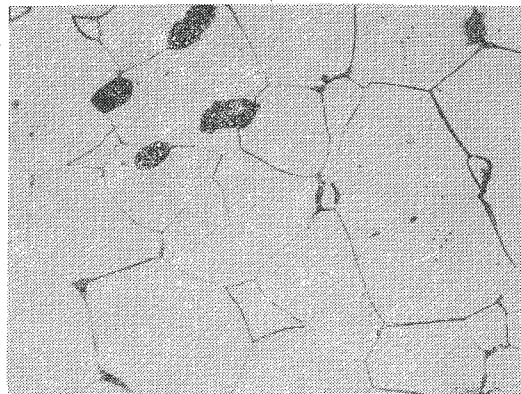
a



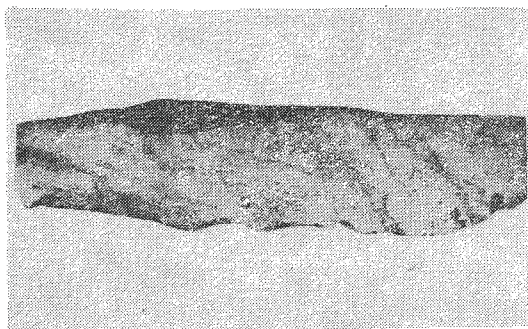
b



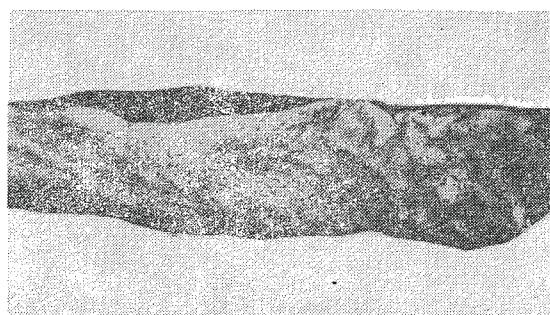
c



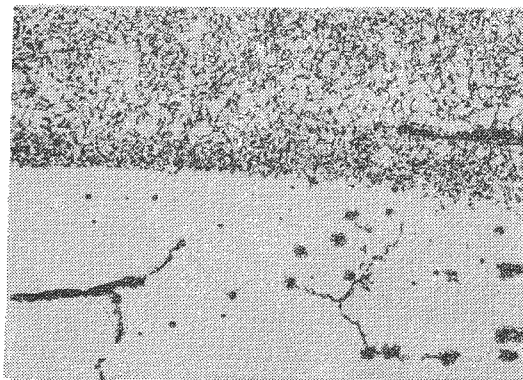
d



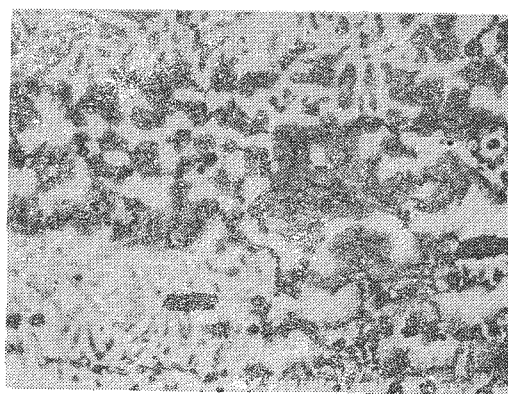
e



f



g



h

TAB. III. Zarzecze — szpila nr 1: (a) struktura, pow. 100 x. Wietrzno-Bania — (b) struktura, pow. 100 x. Piwniczna — grot włóczni: (c) struktura, pow. 100 x, (d) struktura pod większym powiększeniem, pow. 500 x. Lesko — krój: (e) makrostruktura na poprzecznym przekroju (fragment), pow. 7 x, (f) rozłożenie fosforu na poprzecznym przekroju, pow. 8 x, (g) struktura w miejscu zgrzania, pow. 100 x, (h) rozłożenie fosforu w metalu, pow. 100 x; a, b, c, d, e, g — traw. azotalem, e, h — traw. odczynnikiem Oberhoffera

Tablica 4

Wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości przedmiotów żelaznych z Zarzecza, Wietrzno-Bani, Piwnicznej i Leska

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikrotwardość kg/mm^2	Twardość H_V
15	Szpila nr 1	Zarzecze	ferryt	7	187	
			perlit	6	322	
16	Szpila nr 2		ferryt	7	194	121,3
			perlit	6	282	
17	Sztabka	Wietrzno-Bania	ferryt	10	175	111,4
			perlit	10		
18	Grot włóczni	Piwniczna	ferryt	6	133	111,4
			perlit			
19	Krój	Lesko st.1	ferryt	3	231	
			ferryt	9	182	
			perlit		255	464
			sorbit		553	
20	Radlica					173
21	Czerpak		ferryt	8	182	
			perlit	10		140,7
22	Fragment nr 1		ferryt	7	154	
23	Grot strzały		ferryt	4	298	196 - - 254
			ferryt	8	153	
24	Fragment nr 2 okucie		ferryt	7	193	191
25	Fragment nr 3		sorbit	4	308	270
			ferryt		249	

Radlica była prawdopodobnie poddana obróbce cieplnej.

Wtrącenia żuźla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A); obok nich występowały wtrącenia zawierające zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na popielatowo-ciemnym tle (typ E).

Czerpak (nr inw. j.w.) wykonany był z żelaza, posiadał drobnoziarnistą strukturę ferrytyczną ze śladowymi ilościami perlitu — tab. IV b. Trawienie odczynnikiem Oberhoffera wykazało równomierne rozłożenie fosforu.

Wtrącenia żuźla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

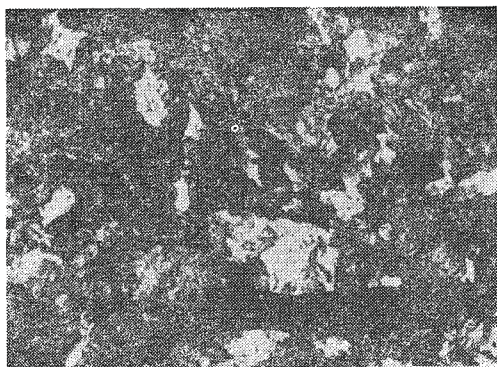
Fragment nr 1 (nr inw. j. w.) wykazał strukturę ferrytyczną żelaza dymarskiego (tab. IV c). Zawartość fosforu w metalu była dość niska.

Obok wytrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu występowały nieliczne wtrącenia jasne (typ C) oraz wtrącenia zawierające zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ A).

Grot strzały (nr inw. 2342) posiadał również strukturę ferrytyczną żelaza dymarskiego. Obok ziarn dość dużych (klasa 4 — tab. IV d) znajdowały się skupienia ziarn małych (klasa 8).

Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia jasne (typ C) oraz wtrącenia zawierające liczne zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na popielatowo-ciemnym tle (typ E) — tab. IV e.

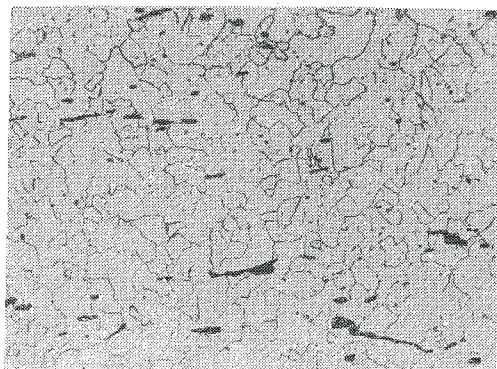
Fragment nr 2 (okucie?) nr inw. j. w. wykuty został z żelaza dymarskiego o drobnoziarnistej



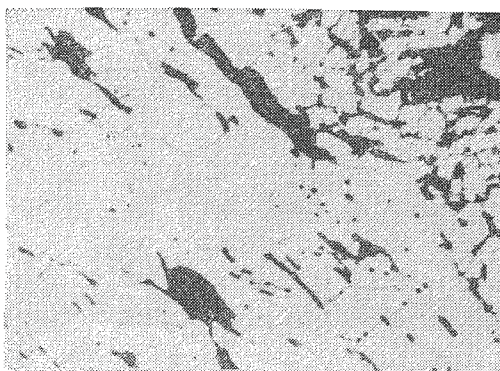
a



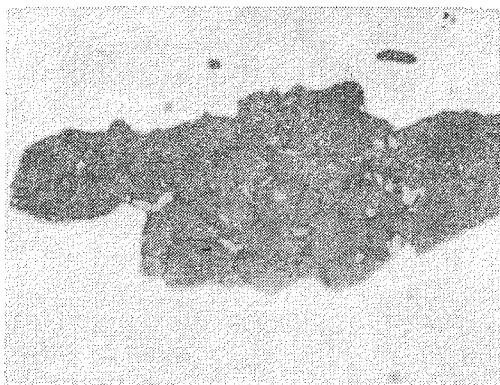
b



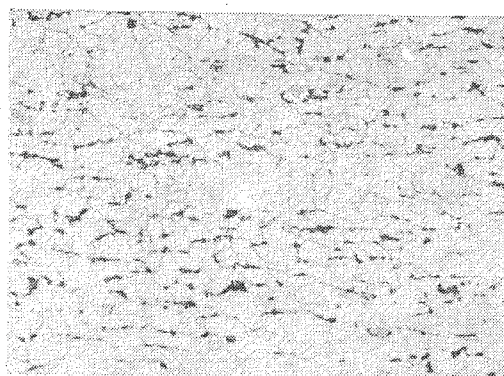
c



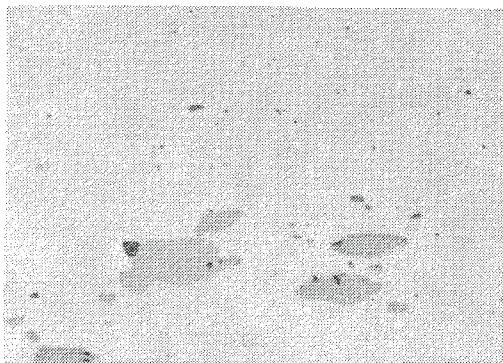
d



e



f

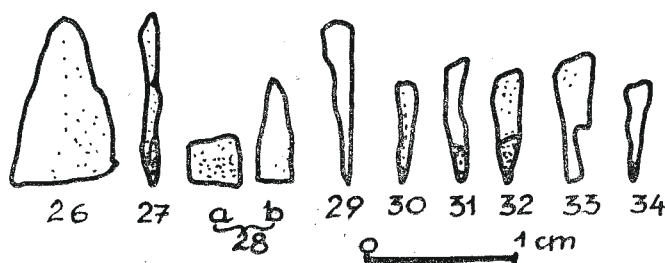
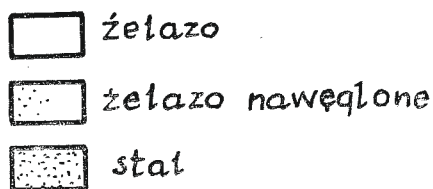


g



h

TAB. IV. Lesko — radlica: (a) struktura pod większym powiększeniem, pow. 500 x, — czerpak: (b) struktura, pow. 100 x, fragment nr 1: (c) struktura, pow. 100 x; grot strzały: (d) struktura, pow. 100 x, (e) wtrącenia żużla, pow. 500 x, fragment nr 2: (f) struktura, pow. 100 x, (g) wtrącenia żużla, pow. 500 x, fragment nr 3: (h) struktura, pow. 100 x; a, b, c, d, f, h — traw. azotalem, e, g — nietraw.



Ryc. 7. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych III serii: 26 — grot włóczni, 27 — nożyce, 28 — sprzączka, 29 — nóż nr 1, 30 — nóż nr 2 z Niska (stan. 1), 31 — nóż nr 1, 32 — nóż nr 2, 33 — nóż nr 3, 34 — nóż nr 4 z Rzeszowa (stan. 3)

stalowej nakładki z żelazną częścią stanowiącą część grzbietową (tab. VI c, d). Trawienie odczynnikami Oberhoffera wykazało, że w części stalowej zawartość fosforu była także dość wysoka.

W części stalowej struktura była martenzytyczna (tab. VI e), a w części żelaznej — ferry-

tyczna, z tym, że w pobliżu grzbietu noża wystąpiło lokalne nawęglenie (pierwotne) metalu do zawartości ok. 0,3 proc. C.

W metalu występowały wtrącenia żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) oraz wtrącenia zawierające nieliczne zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ B). Wystąpiło także pasmo wtrąceń jasnych (typ C).

Nóż nr 2 był poddany obróbce cieplnej, prawdopodobnie hartowaniu zwykłemu.

Nóż nr 3 (nr inw. j. w.) wykuty został z żelaza o strukturze ferrytycznej, zawierającego śladowe lokalne nawęglenie. Trawienie odczynnikami Oberhoffera wykazało nierównomierne rozłożenie fosforu. W części drobnoziarnistej, gdzie występowały śladowe ilości perlitu (sorbitu? — tab. VI f) zawartość fosforu była niższa niż w części gruboziarnistej.

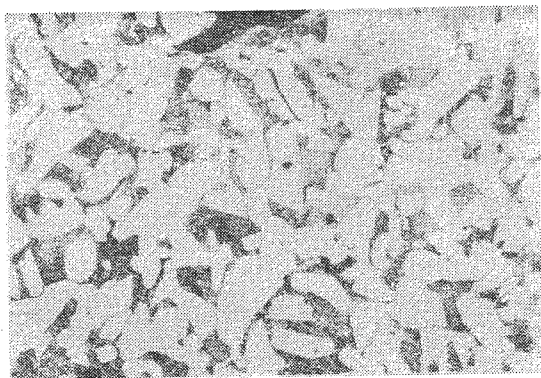
Obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu występowały wtrącenia jasne (typ C) oraz wtrącenia zawierające nieliczne zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

Nóż nr 4 (nr inw. j. w.) wykazał również technologię identyczną jak noże nr 1 i 2 tzn. wykonano go zgrzewając nakładkę stalową z częścią żelazną, stanowiącą grzbiet noża (tab. VI g). W nakładce stalowej struktura była martenzytyczna, a w części żelaznej (grzbietowej) — ferrytyczna (tab. VI h).

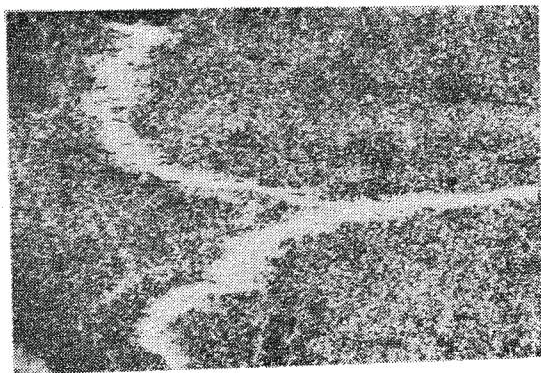
Tablica 5

Zestawienie 1 wyniki ilościowej analizy chemicznej przedmiotów żelaznych z Niska i Rzeszowa

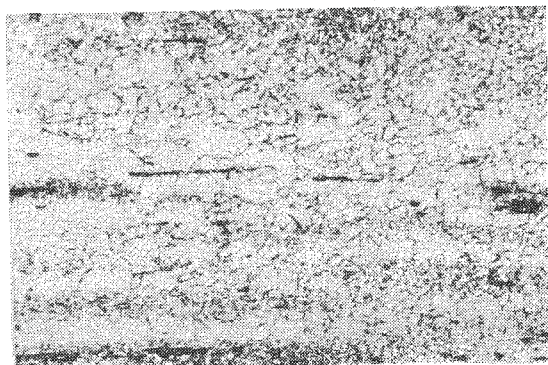
Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja / nr inw./	Masa g	Zawartość, %		
					P	Ni	Cu
26	Grot włóczni	Nisko st.1	ar I, ów. III, głęb. 35 cm, wykop 4 /nr inw. 2495/	119	0,08	0,016	0,030
27	Nożyce		ar I, ów. IV, głęb. 60 cm, wykop 1, /nr inw. 2495/	36	0,237	0,084	0,013
28	Sprzączka a/ trzpień b/ kabłak		ar IV, ów. I, głęb. 30 cm, jama 31, wykop 5, /nr inw. 2496/	25	0,026		
					0,34	0,022	0,014
29	Nóż nr 1		ar I, ów. III, głęb. 50 cm, wykop 2, /nr inw. 2495/	13	0,09	0,061	0,086
30	Nóż nr 2		jama 36, wykop 6 głęb. 30 cm /nr inw. 2496/	9	0,158	0,022	0,015
31	Nóż nr 1	Rzeszów st.3	jama 64, ów. II /nr inw. 2488/ 64	10	0,372	0,019	0,015
32	Nóż nr 2		jama, ów. II, głęb. 95 cm /nr inw. 2488/	13	0,332	0,021	0,017
33	Nóż nr 3		jama 66, ów. I, głęb. 140 cm /nr inw. 2488/	28	0,486	0,037	0,017
34	Nóż nr 4		jama 66, ów. III, głęb. 95 cm. /nr inw. 2488/	12	0,498	0,014	0,016



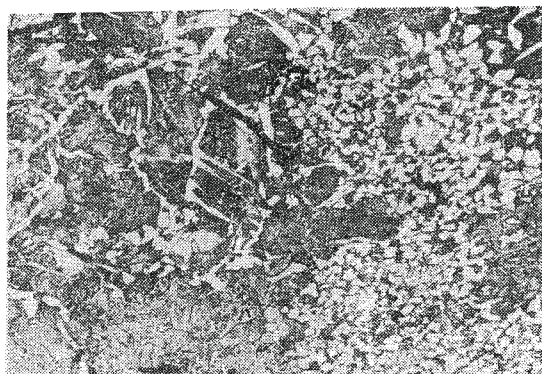
a



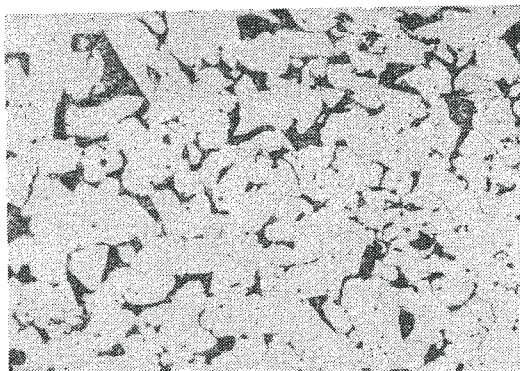
b



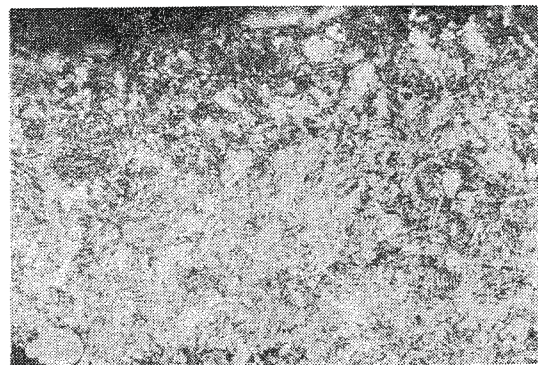
c



d



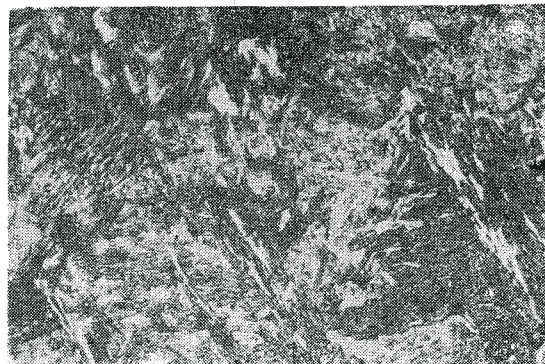
e



f

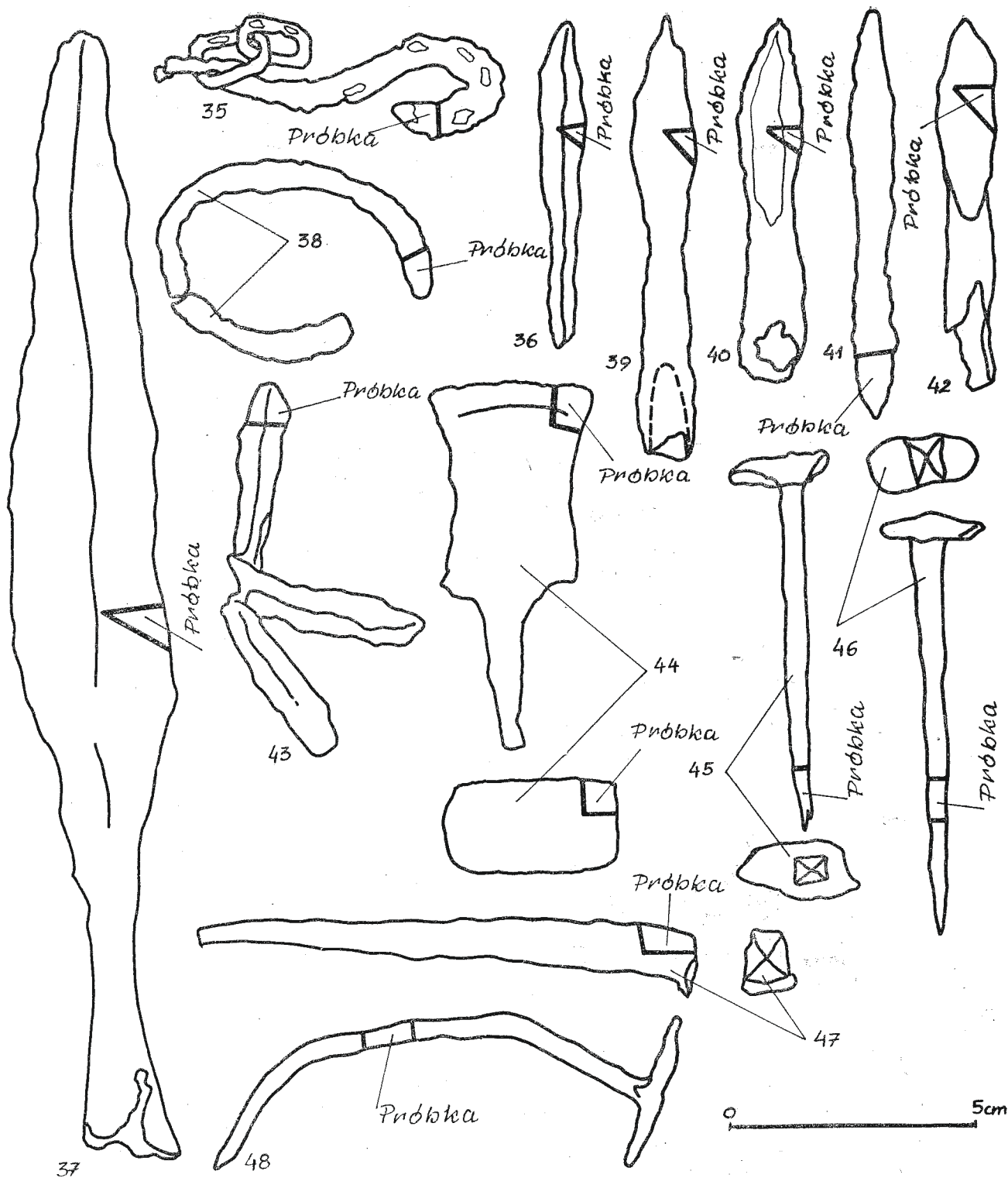


g



h

TAB. V. Nisko — grot włóczni: (a) struktura, pow. 100 x, nożyce: (b) struktura w miejscu silniej nawęglonym (ze śladami zgrzewania), pow. 100 x, (c) struktura w miejscu słabiej nawęglonym, pow. 100 x, sprzączka (trzcina): (d) struktura, pow. 100 x, sprzączka (kablak): (e) struktura, pow. 100 x, nóż nr 1: (f) struktura, pow. 100 x, nóż nr 2: (g) struktura, pow. 100 x, (h) struktura pod większym powiększeniem, pow. 500 x; wszystkie próbki — traw. azotalem



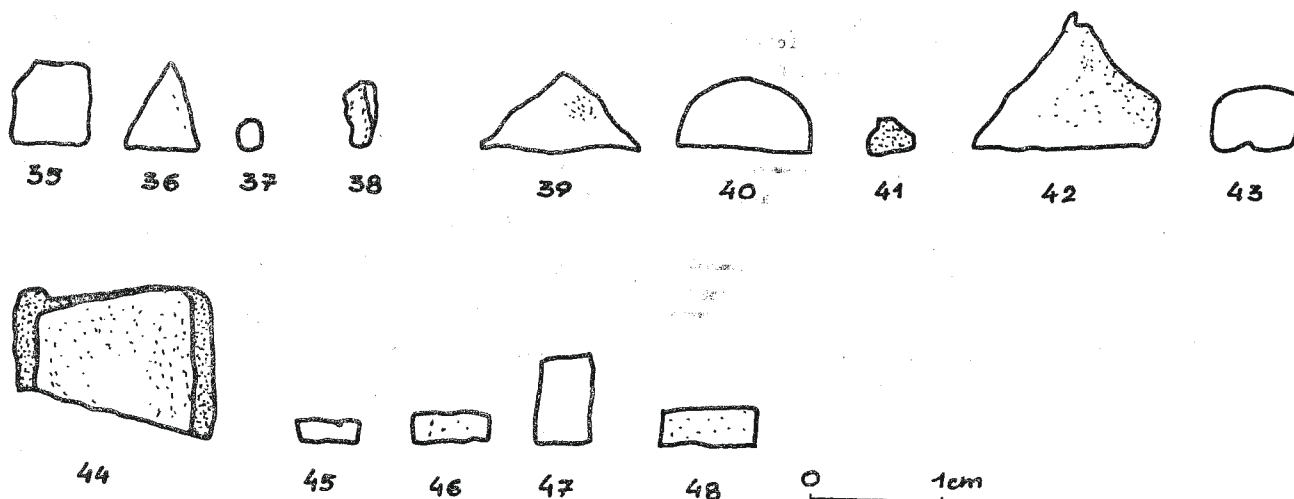
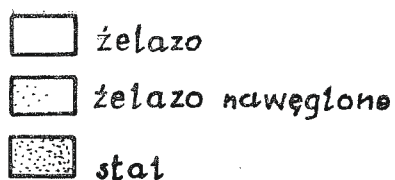
Ryc. 8. Szkice zbadanych przedmiotów żelaznych IV serii: 35 — łańcuch z Czarnorzek, 36 — grot strzały z Sobienia, 37 — grot włóczni z Wróblika Szlacheckiego, 38 — strzemię z Brzezówki, 39 — grot strzały nr 1, 40 — grot beltu, 41 — grot strzały nr 2 z Sanoka-Białej Góry, 42 — grot beltu z Mymonia, 43 — ostroga, 44 — kowadełko, 45 — gwóźdź nr 1, 46 — gwóźdź nr 2, 47 — gwóźdź nr 3, 48 — gwóźdź nr 4 z Mymonia

dość dużych ziarn ferrytu (klasa 4) występowały skupienia ziarn bardzo drobnych — tab. VII, b (klasa 9); w miejscach tych występowało śladowe nawęglanie pierwotne (perlit).

Wtrącenia żuźla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).

6.3. WRÓBLIK SZLACHECKI

Grot włóczni z Wróblika Szlacheckiego (nr inw. 184), datowany na XI w. wykazał bardzo drobnoziarnistą strukturę ferrytyczną (tab. VII c) ze śladowymi ilościami perlitu. W metalu występowały bardzo drobne wydzielienia o długości po-



Ryc. 9. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych IV serii: 35 — łańcuch z Czarnorzek, 36 — grot strzały z Sobienia, 37 — grot włóczni z Wróblika Szlacheckiego, 38 — strzemię z Brzezówki, 39 — grot strzały nr 1, 40 — grot bełtu, 41 — grot strzały nr 2 z Sanoka-Białej Góry, 42 — grot z bełtu z Mymonia, 43 — ostroga, 44 — kowadełko, 45 — gwóźdź nr 1, 46 — gwóźdź nr 2, 47 — gwóźdź nr 3, 48 — gwóźdź nr 4 z Mymonia

Tablica 7

Zestawienie oraz wyniki ilościowej analizy chemicznej wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych z Czarnorzek, Sobienia, Wróblika Szlacheckiego, Brzezówki, Sanoka-Białej Góry, i Mymonia

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja /nr inw./	Masa g	Zawartość, %		
					P	Ni	Cu
35	Łańcuch	Czarnorzeki	kurhan 10/3174 palenisko przy cw. A	41,2	0,04	0,024	0,100
36	Grot strzały	Sobień	nr inw. 550	15,3	0,62	0,003	0,008
37	Grot włóczni	Wróblík Szla- checki	nr inw. 184	113,0	0,06	0,040	0,038
38	Strzemię	Brzezówka	przekop przez wał /nr inw. 128	10,8	0,18	0,004	0,020
39	Grot bełtu nr 1	Sanok-Biała Góra	nr inw. 536	48,0	0,53	0,017	0,013
40	Grot bełtu nr 2		nr inw. 536	37,2	0,86	0,027	0,013
41	Grot strzały nr 2		nr inw. 541	8,0	0,08	0,012	0,086
42	Grot bełtu	Mymon	nr inw. 129	31,9	0,06	0,023	0,237
43	Ostroga		nr inw. 131	30,0	0,05	0,013	0,058
44	Kowadełko		nr inw. 133	132,2	0,03	0,023	0,154
45	Gwóźdź nr 1		nr inw. 140	14,0	0,47	0,022	0,019
46	Gwóźdź nr 2		nr inw. 143	14,5	0,04	0,024	0,034
47	Gwóźdź nr 3		nr inw. 151	26,0	0,43	0,004	0,006
48	Gwóźdź nr 4		nr inw. 187	29,2	0,04	0,025	0,097

Tablica 8

Wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych z Czarnorzek, Sobienia, Wróblika Szlacheckiego, Brzezówki, Sanoka-Białej Góry i Mymonia

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikro-twardość kg/mm^2	Twardość H_V
35	Łańcuch	Czarnorzeki	ferryt	7	159	128,9
36	Grot strzały	Sobień	ferryt ferryt perlit	4 9 śl.	320 199	151,4
37	Grot włóczni	Wróblík Szlachecki	ferryt ferryt perlit	2 6 7	120 141	98,5
38	Strzemię a/ część 1 b/ część 2	Brzezówka	perlit ferryt ferryt ferryt	6 x/ 6 4	233 200 207 253	216
39	Grot strzały nr 1	Sanok-Biała Góra	ferryt ferryt perlit	1 7 śl.	194 138 224	139,2
40	Grot beltu		ferryt	2	308	279
41	Grot strzały nr 2		sorbit ferryt	7 7	394 221	302
42	Grot beltu	Mymon	perlit ferryt	4 7	277 152	149,7
43	Ostroga		ferryt ferryt	6 8	180 151	143,9
44	Kowadełko a/ część stalowa b/ część żelazna		martenzyt martenzyt bainit ferryt	 3 6	940 816 520 218	
45	Gwóźdź nr 1		ferryt ferryt	3 6	312 265	189
46	Gwóźdź nr 2		ferryt perlit	7 8	185 353	160
47	Gwóźdź nr 3		ferryt ferryt	2 5	272 130	160
48	Gwóźdź nr 4		ferryt perlit	6 6	160 350	161

nijęj 0,001 mm, określane w pracach autora jako faza B. Jest to najprawdopodobniej związek żelaza z azotem $\alpha''\text{-Fe}_{16}\text{N}_2$, tak bowiem zidentyfikowano podobne wydzielienia we współczesnej stali¹².

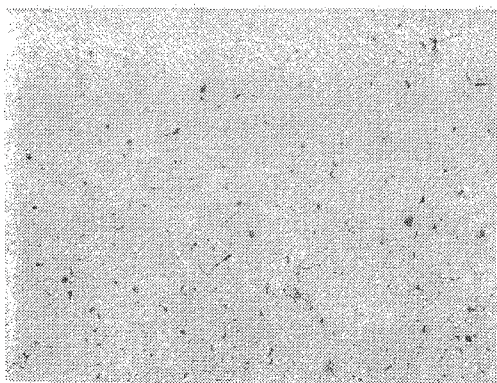
Wtrącenia żużla wykazały strukturę bardzo różnorodną. Obok wtrąceń zawierających zaokrąglone wydzielienia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B i D1) występowały wtrącenia jasne (typ C) oraz w mniejszych ilościach wtrącenia o jednolitym ciemnym zabarwieniu (typ A).

6.4. BRZEWÓWKA

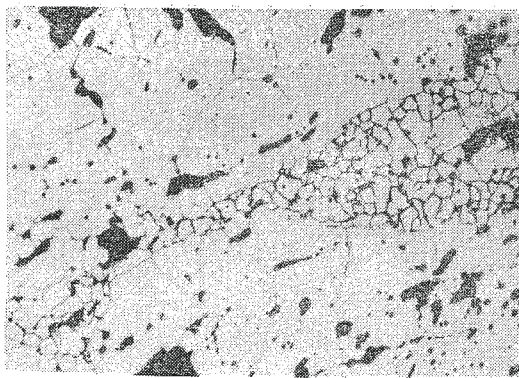
Strzemię z przekopu przez wał (nr inw. 128), datowane na okres X—XII w. (do XIV w. ?) było silnie skorodowane. Było ono prawdopodobnie zgrzewane z części żelaznej i z części stalowej (o zawartości ok. 0,3 proc. C) — tab. VII d.

Trawienie odczynnikami Oberhoffera ujawniło nierównomierne rozłożenie fosforu.

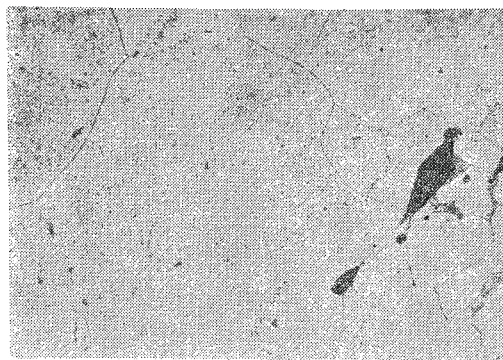
Wtrącenia żużla były na ogół drobne, posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).



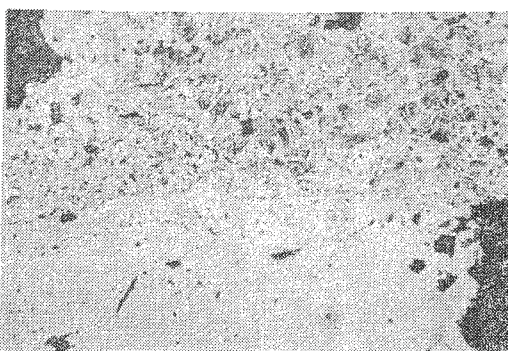
a



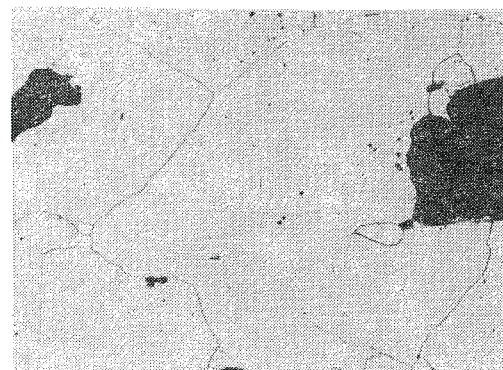
b



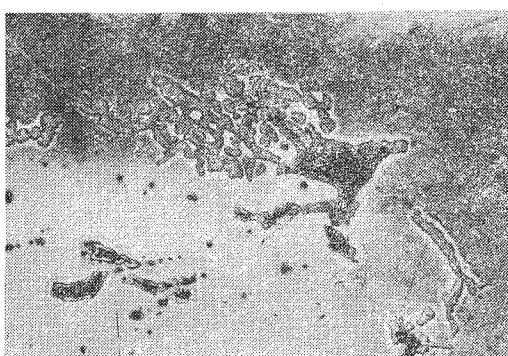
c



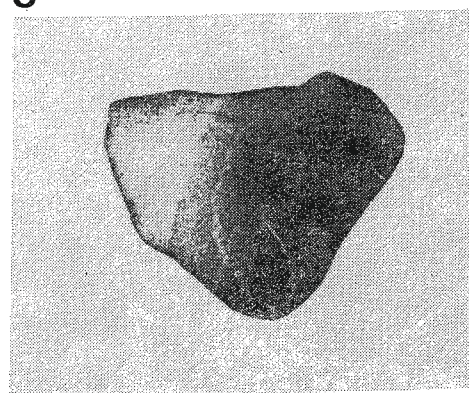
d



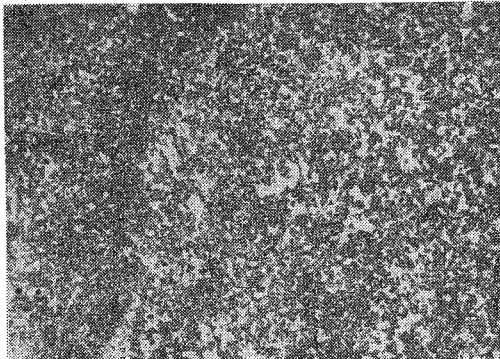
e



f



g



h

TAB. VII. Czarnorzeki — łańcuch: (a) struktura, pow. 100 x. Sobień — grot strzały: (b) struktura, pow. 100 x. Wróblík Szlachecki — grot strzały: (c) struktura, pow. 100 x. Brzezówka — strzemię: (d) struktura, pow. 100 x. Sanok—Biała Góra — grot beltu nr 1: (e) struktura, pow. 100 x, grot beltu nr 2 — (f) rozłożenie fosforu w metalu, pow. 100 x, grot strzały: (g) makrostruktura na poprzecznym przekroju, pow. 10 x, (h) struktura, pow. 100 x; a, b, c, d, e, g, h — traw. azotalem, (f) — traw. odczynnikiem Oberhoffera

Grot bełtu nr 1 (nr inw. 536) z grodziska z XIII—XIV w. wykuty został z żelaza wysokofosforowego o strukturze ferrytycznej przy czym obok ziarn dużych (klasa 1 — tab. VII e) występowały ziarna drobne (klasa 7); w miejscach tych występowały śladowe ilości perlitu świadczące o lokalnym nawęgleniu (pierwotnym).

Wtrącenia żużla posiadały czarne zabarwienie (typ A). W paru dużych wtrąceniach zaobserwowano wydzielenia jasnej fazy w postaci dendrytów na ciemnym tle (typ D32).

Grot bełtu nr 2 z tego grodziska (nr inw. 536) wykazał gruboziarnistą strukturę ferrytyczną wysokofosforowego żelaza. Rozłożenie fosforu w metalu przedstawia tab. VII f.

Wtrącenia żużla posiadały czarne zabarwienie (typ A), jednak w niektórych wtrąceniach zabarwienie nie było równomierne (typ D21).

Grot strzały (nr inw. 541) był zgrzewany z kawałka żelaza i stali, przy czym nastąpiła głęboka dyfuzja węgla z części stalowej do części żelaznej (tab. VII g).

W części nawęglonej wystąpiła struktura sorbityczna, co świadczyło o zastosowaniu obróbki cieplnej (tab. VII h).

Obok wtrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały nieliczne wtrącenia jasne (typ C) oraz wtrącenia zawierające zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B).

6.6. MYMON

Grot bełtu z grodziska z XIV w. (nr inw. 129) wykuty został z niskofosforowego żelaza o nierównomiernym nawęgleniu (od śladów do 0,6 proc. C) o strukturze perlityczno-ferrytycznej (tab. VIII a). Obok wtrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały duże wtrącenia, w których obserwowano zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na popielato-ciemnym tle (typ E) — tab. VIII b.

Ostroga z tegoż grodziska (nr inw. 131) wykazała ferrytyczną strukturę żelaza przy czym obok ziarn dość drobnych (klasa 6) występowały ziarna bardzo drobne (klasa 8).

Trawienie próbki odczynnikami Oberhoffera wykazało dość równomierne rozłożenie fosforu.

Obok wytrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały zaokrąglone wydzielenia jaśniejszej fazy na ciemnym tle (typ D12) oraz wtrącenia jasne (typ C).

Kowadełko z grodziska (nr inw. 133) wykonane było z żelaza o nierównomiernym nawęgleniu i na powierzchni posiadało cienką (gru-

bość 1—2 mm) nakładkę stalową (tab. VIII f). W nakładce zawartość fosforu była niższa, rozłożenie tej domieszki w części żelaznej było nierównomierne (tab. VIII e).

W części żelaznej kowadełka zawartość miedzi — jak wykazała mikroanaliza rentgenowska — była większa aniżeli w części stalowej (rys. 10).

W nakładce stalowej struktura była martenzytyczna.

Z części stalowej do części żelaznej nastąpiła dość głęboka (ok. 1 mm) dyfuzja węgla: struktura w miejscu zgrzania przedstawia tab. VIII f. W części słabiej nawęglonej struktura była ferrytyczna (tab. VIII g).

Obok wtrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające dość liczne zaokrąglone wydzielenia jasnej (popielatej?) fazy na ciemnym tle (typ D21 lub D1).

Kowadełko było poddane obróbce cieplnej prawdopodobnie hartowaniu zwyklemu w wodzie.

Gwóźdź nr 1 (nr inw. 140) wykuty został z wysokofosforowego żelaza o gruboziarnistej ferrytycznej strukturze.

Wtrącenia żużla posiadały ciemne zabarwienie (typ A), w niektórych występowały zaokrąglone wydzielenia na ciemnym tle (typ D21).

Gwóźdź nr 2 (nr inw. 143) wykazał strukturę pasmową. Obok drobnoziarnistych pasm ferrytycznych występowały pasma nawęglone (o zawartości ok. 0,2 proc. C) o strukturze ferrytyczno-perlitycznej.

Wtrącenia żużla posiadały czarne zabarwienie (typ A).

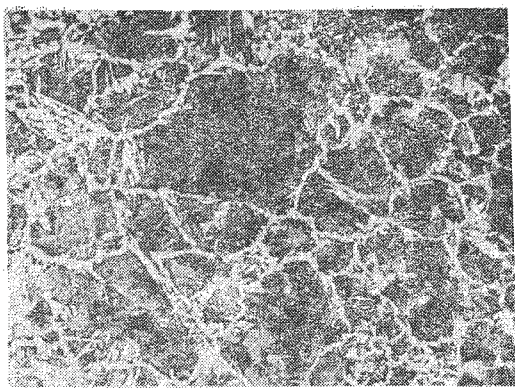
Gwóźdź nr 3 z grodziska (nr inw. 151) wykazał gruboziarnistą strukturę ferrytyczną wysokofosforowego żużla (tab. VIII h).

W metalu wystąpiły w niewielkich ilościach wydzielenia drobnej fazy B o wymiarach poniżej 0,0005 mm, będącej prawdopodobnie związkiem α' -Fe₁₆N₂.

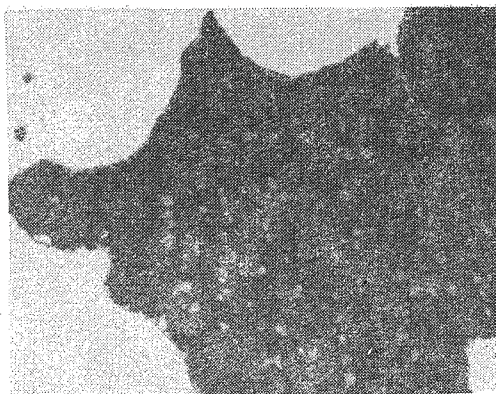
Obok wtrąceń żużla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) występowały wtrącenia zawierające zaokrąglone wydzielenia jasnej fazy na ciemnym tle (typ B i D1), w niektórych wtrąceniach wydzielenia te przyjmowały postać dendrytów (typ D32).

Gwóźdź nr 4 (nr inw. 177) wykuty został z niskofosforowej stali o nierównomiernym nawęgleniu, sięgającym 0,3 proc. Struktura metalu była ferrytyczno-perlityczna.

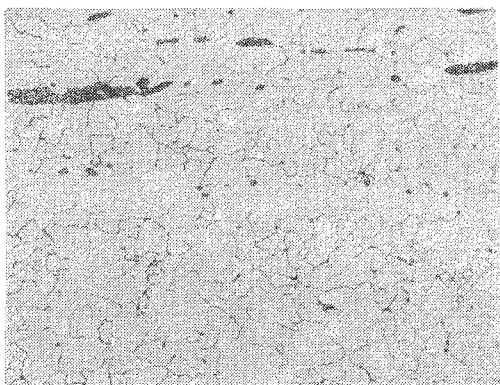
Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A).



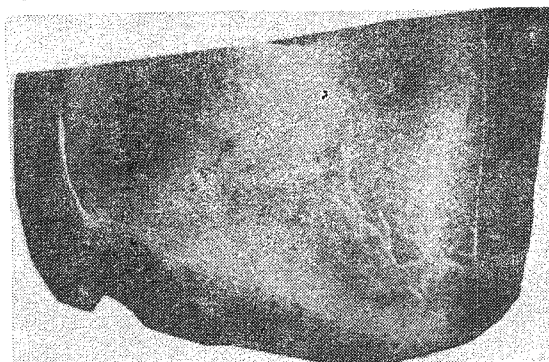
a



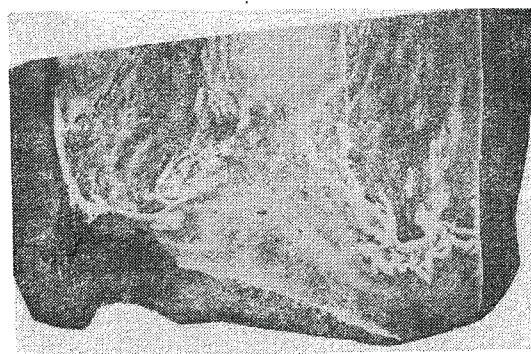
b



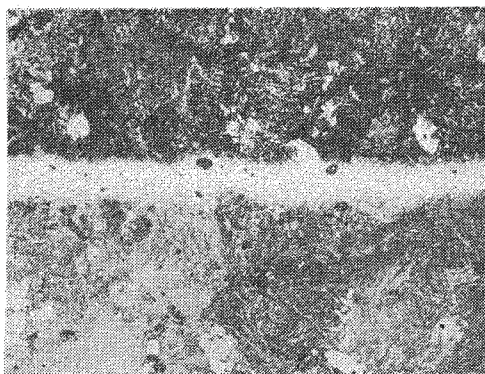
c



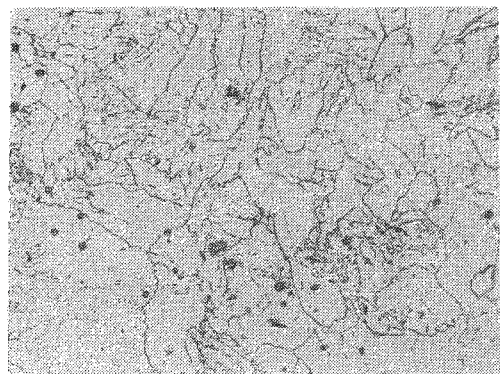
d



e



f

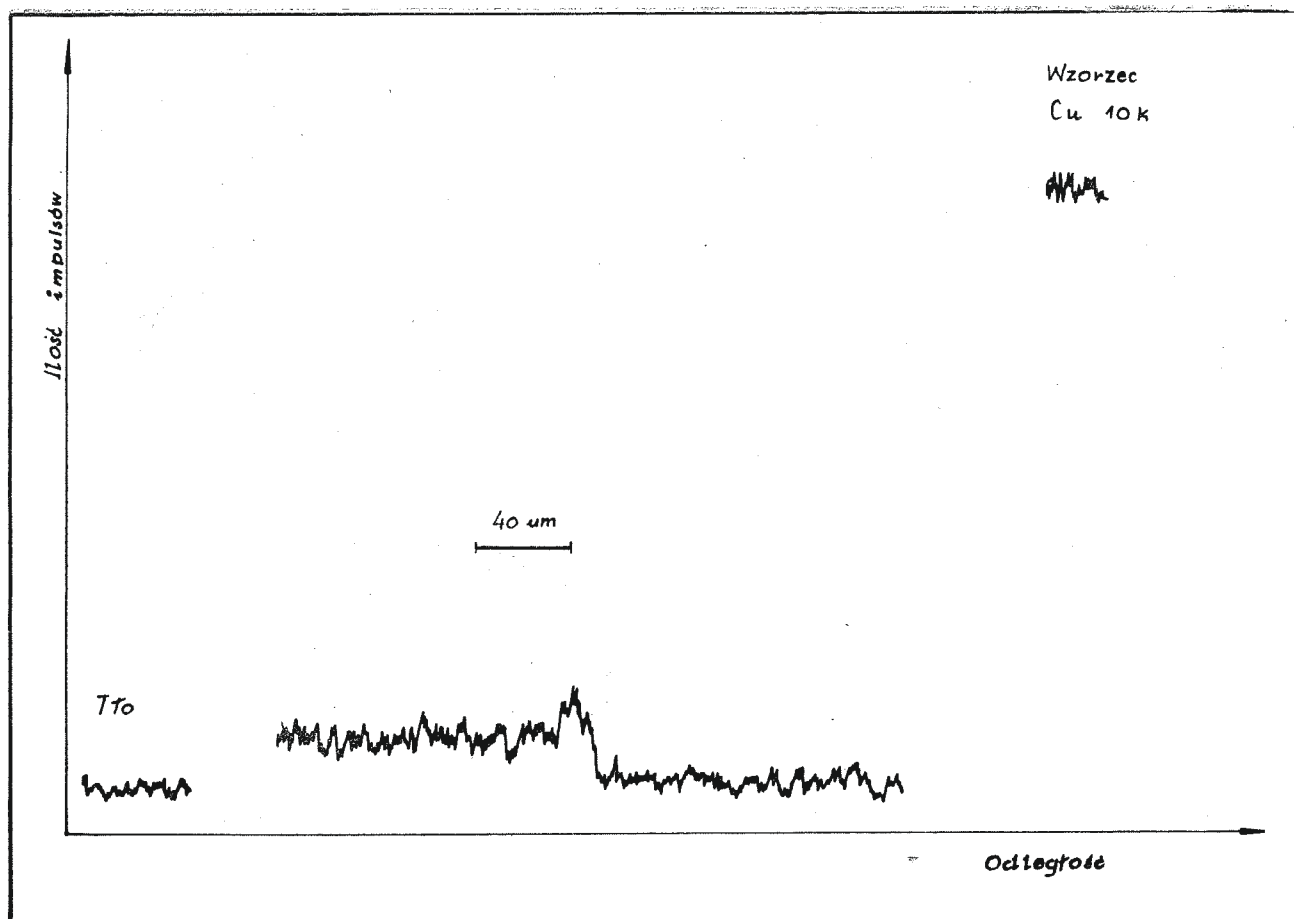


g



h

TAB. VIII. Mymoń — grot beltu: (a) struktura części silniej nawęglonej pow. 100 x, (b) wtrącenie żużla, pow. 500 x, ostroga: (c) struktura, pow. 100 x, kowadełko: (d) makrostruktura na poprzecznym przekroju, pow. 5 x, (e) rozłożenie fosforu na poprzecznym przekroju, pow. 5 x, (f) struktura w miejscu zgrzania, pow. 100 x, (g) struktura części żelaznej, pow. 100 x, gwóźdź nr 3: (h) struktura, pow. 100 x, a, c, d, f, g, h — traw. azotalem, b — nietraw. e — traw. odczynnikiem Oberhofera

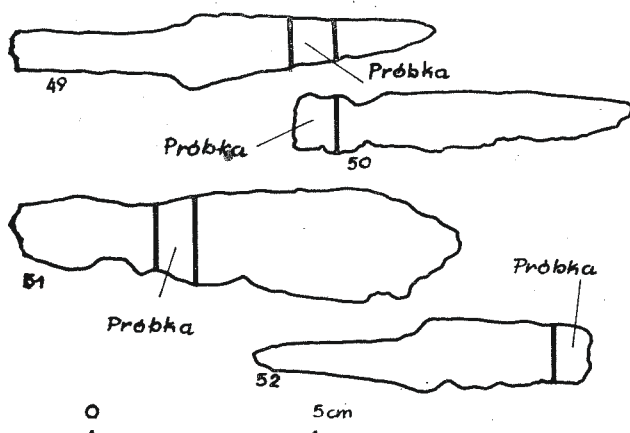


Ryc. 10. Mikroanaliza rentgenowska (liniowa) zawartości miedzi w kowadélku z Mymonia

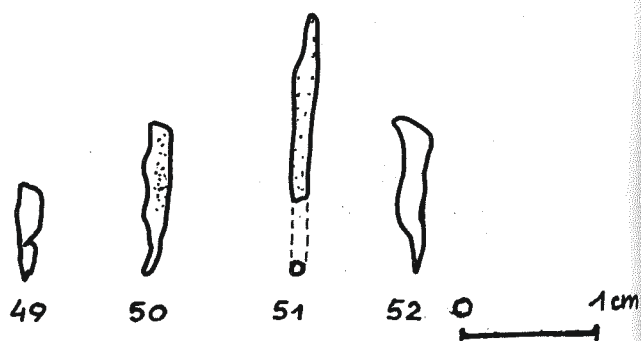
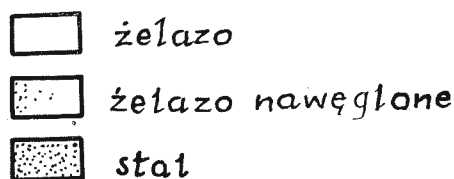
7. SERIA V: PRZEDMIOTY ŻELAZNE Z BACHÓRZA

Szkice zbadanych przedmiotów żelaznych z Bachórza (wraz z miejscem wycięcia próbek) przedstawiono na ryc. 11, a technologię ich wykonania — na ryc. 12.

Zestawienie tych przedmiotów i wyniki ilościowej analizy chemicznej podano w tablicy 9, a wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości składników strukturalnych i twardości metalu — w tablicy 10.



Ryc. 11. Szkice zbadanych przedmiotów żelaznych V serii: 49 — nóż nr 1, 50 — nóż nr 2, 51 — nóż nr 3, 52 — nóż nr 4 z Bachórza



Ryc. 12. Technologia zbadanych przedmiotów żelaznych V serii: 49 — nóż nr 1, 50 — nóż nr 2, 51 — nóż nr 3, 52 — nóż nr 4 z Bachórza

Badania metalograficzne dały następujące wyniki:

7.1. BACHÓRZ

Nóż nr 1 z wykopu II (nr inw. 15) znaleziony w wypalenisku obiektu 9, będącym przypuszczalnie zagłębieniem części budowli mieszkal-

Tablica 9

Zestawienie i wyniki ilościowej analizy chemicznej przedmiotów żelaznych z Bachórze

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Lokalizacja	Nr inw.	Masa g	Zawartość, %		
						P	Ni	Cu
49	Nóż nr 1	Bachórze	st.15, wykop II, wypełnisko obiektu 9	15	8,0	0,22	0,046	0,012
50	Nóż nr 2		st. 16, wykop XXIV, głęb. 40 cm, 390-NW, 200-SW	580	6,4	0,38	0,018	0,010
51	Nóż nr 3		st. 16, wykop XXIV, głęb. 85 cm, 250-SW, 360-NW	581	21,5	0,01	0,022	0,069
52	Nóż nr 4		wykop XXII, głęb. 90 cm, /poza obiektami w usuwisku skarpy/	578	9,1	0,30	0,004	0,013

Tablica 10

Wyniki obserwacji metalograficznych oraz pomiarów mikrotwardości i twardości przedmiotów żelaznych z Bachórze

Lp.	Nazwa przedmiotu	Stanowisko	Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Mikrotwardość kg/mm^2	Twardość H_V
49	Nóż nr 1	Bachórze	ferryt	4	200	210
			ferryt	9	170	
50	Nóż nr 2		ferryt	4	230	264
			perlit		314	
			bainit		350	
51	Nóż nr 3		ferryt	9	208	225
			perlit	6	261	
52	Nóż nr 4		ferryt	4	236	206
			ferryt	8	164	

nej, datowanej na podstawie ceramiki na okres VII—IX w. wykuty był z żelaza dymarskiego, przy czym obok drobnych ziarn ferrytu (klasa 9) występowały ziarna dość duże (klasa 4) — tab. IX a o rozłożeniu pasmowym. Budowa pasmowa wystąpiła wyraźniej po wytrawieniu próbki odczynnikami Oberhoffera, gdyż w warstwach drobnoziarnistych zawartość fosforu jest niższa i na fotografii makrostruktury są one ciemniejsze.

Wtrącenia żużla posiadały jednolite czarne zabarwienie (typ A), jednak w niektórych wtrąceniach występowały liczne, zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na popielatowo-ciemnym tle (typ E) — tab. I f.

Nóż nr 2, pochodzący z wypaleniska obiektu 25 (nr inw. 580), stanowiącego przypuszczalnie pozostałości paleniska datowanego ceramiką

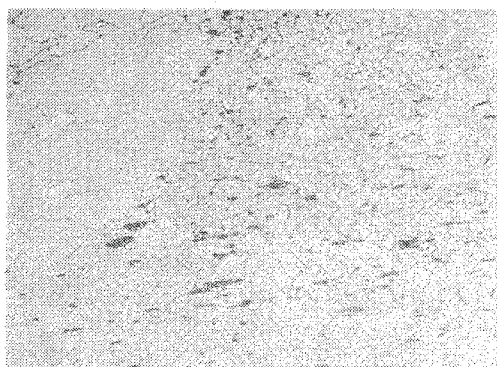
również na okres VII—IX w. wykonany został z wysokofosforowej stali nierównomiernie nawęglonej. Nóż wykazał strukturę bainityczno-ferrytyczną (tab. IX b).

Rozłożenie fosforu było nierównomierne, często w postaci pasm przy czym w miejscach słabiej nawęglonych (skupienia ferrytu), zawartość fosforu była wyższa.

Wtrącenia żużla miały bądź jednolite czarne zabarwienie (typ A), bądź zawierały liczne, zaokrąglone wydzielania jasnej fazy na ciemnym tle (typ D1), podobnie jak w nożu nr 1.

Nóż nr 2 poddany był obróbce cieplnej.

Nóż nr 3 znaleziony w wypalenisku obiektu 26 (nr inw. 581), prawdopodobnie stanowiącego pozostałości zagłębionej chaty mieszkalnej z wczesnego okresu wpływów rzymskich wykazał ferrytyczno-perlityczną strukturę żelaza o nierów-



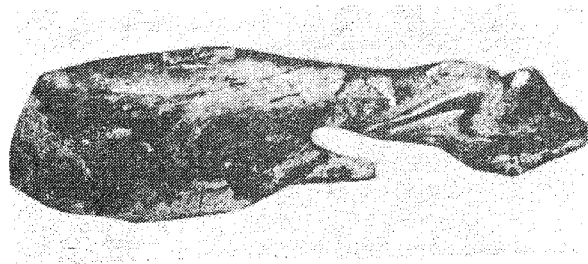
a



b



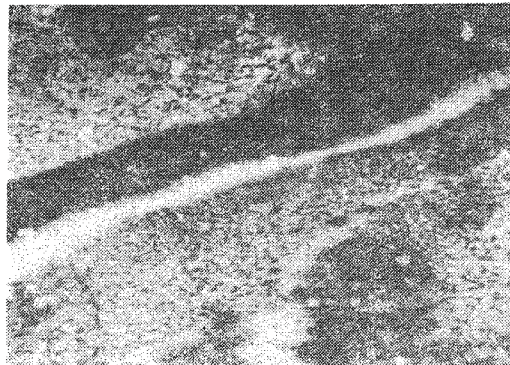
c



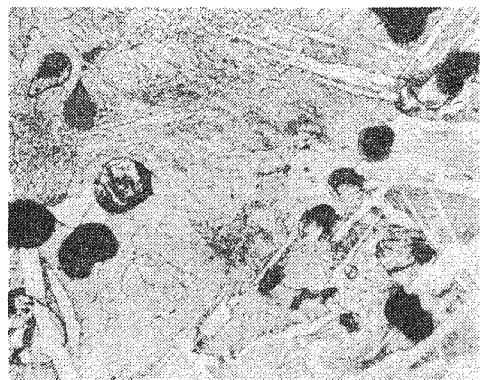
d



e



f



g



h

TAB. IX. Bachórz — nóż nr 1: (a) struktura, pow. 100 x, nóż nr 2: (b) struktura, pow. 100 x, nóż nr 3 (c) struktura, pow. 100 x, nóż nr 4: (d) rozłożenie fosforu na poprzecznym przekroju, pow. 11 x, (e) struktura, pow. 100 x, (f) rozłożenie fosforu w metalu, pow. 100 x, Koziarnia — fragment łupki: (g) struktura w miejscu silniej nawęglonym, pow. 100 x, (h) struktura w miejscu słabiej nawęglonym, pow. 100 x; a, b, c, e, g, h — traw. azotalem, d, f — traw. odczynnikiem Oberhoffera

nomiernym nawęgleniu od śladów do 0,3 proc. (tab. IX c), w niektórych częściach o bardzo drobnym ziarnie (klasa 9).

Obok wtrąceń o jednolitym czarnym zabarwieniu, obserwowano kilka wtrąceń jasnych (typ C) oraz wtrąceń zawierających nieliczne, zaokrąglone wydzielienia jasnej fazy (typ B).

Nóż nr 4 z wykopu XXII (nr inw. 578) znaleziony poza obiektami, w osuwisku w sąsiedztwie kilku obiektów wczesnośredniowiecznych z VII—IX/X w. (nie występują tam obiekty z poza X w.) wykazał strukturę pasmową, wyraźnie widoczną po wytrawieniu próbki odczynnikami Oberhoffera (tab. IX d), podobnie jak w nożu nr 1. W nożu zaobserwowano pasma drobnych (klasa 8) i dość dużych (klasa 4) ziarn ferrytu (tab. IX e); w częściach drobnoziarnistych zawartość fosforu była mniejsza niż w gruboziarnistych (tab. IX f). W nożu tym również, jak i pozostałych nożach wykonanych z żelaza wysokofosforowego o strukturze pasmowej (noże nr 1, 2) nie stwierdzono pomiędzy warstwami metalu o różnej wielkości ziarna żadnych charakterystycznych śladów zgrzewania (np. łańcuchy drobnych wtrąceń żużla).

8. SERIA VI: BADANIA PRÓBEK ŻUŻLA DYMARSKIEGO

Dotychczas nie analizowano jeszcze starożytnego i wczesnośredniowiecznego żużla dymar-

skiego z południowo-wschodnich ziem Polski. Z danych geologicznych wynika, że na terenie Podkarpacia mogą występować, obok wysokofosforowych rud darniowych i bagiennych, pospolitych na ziemiach Polski także nieliczne złoża sferosyderytów, a więc rudy o niskiej zawartości fosforu. Takie złoża w starożytności mogły dostarczać niewielkich ilości żelaza, nie wiadomo wszakże, czy były one eksploatowane.

W tablicy 11 zestawiono wyniki ilościowej analizy chemicznej 16 próbek żużla z 7 stanowisk archeologicznych na południowo-wschodnich ziemiach Polski.

Po wyeliminowaniu wyników próbek, które zawierały — jak można przypuszczać — w znacznej części nadtopione obmurze (wysoka zawartość SiO_2) można zauważyć, że w większości żużel pochodził z przetopu rud darniowych lub bagiennych zawierających znaczną ilość fosforu (wynik wyżej 0,75 proc. P_2O_5).

Należą tu żużle z osad kultury przeworskiej (Otałęż, Wietrzo-Bania, Baranów Sandomierski, Lesko) oraz — prawdopodobnie z wczesnośredniowiecznego grodziska w Sanoku-Białej Górze; z tegoż ostatniego stanowiska zbadano jednak tylko jedną próbkę i analizy należy kontynuować.

Żużle te — według klasyfikacji autora¹³ — należy zaliczyć do grupy żużli o wysokiej zawartości P_2O_5 , natomiast o niskiej zawartości Mn i Al_2O_3 .

Tablica 11
Wyniki ilościowej analizy chemicznej próbek żużla żelaznego z Wietrzo-Bad /lp.1-2/, Kozłarnia /lp.3-5/, Otałęży /lp.6-8/, Baranowa Sandomierskiego /lp.9-10/, Leska /lp.11-12/, Osarnoszek /lp.13-15/, Sanoka-Białej Góry /lp.16/

Lp.	Określenie próbki	Lokalizacja	Nr inw.	Zawartość, %											
				Fe ^x	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	MgO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	TiO ₂	S	
1	Żużel nr 1	osada, ar 2	177/59	37,36	30,67	19,20	28,10	2,42	0,15	0,78	1,56	5,67	0,30	0,03	
2	Żużel nr 2	osada ar 2, chata 1	1978/59	34,25	37,25	8,45	32,80	3,43	0,16	1,15	1,08	5,42	0,28	0,06	
3	Żużel nr 3	st.1, ar IV, ów.C, dz.C, głęb.25, jama 1	2506	40,42	47,27	5,07	41,29	1,54	0,37	0,49	0,51	2,77	0,15	0,01	
4	Żużel nr 4	—		42,24	41,22	14,41	36,45	1,42	0,08	0,37	0,56	2,33	0,16	0,01	
5	Żużel nr 5	z osadki osad żużla nr 4		19,11	14,29	11,37	62,78	1,93	0,12	0,57	0,55	4,47	0,28	0,01	
6	Żużel nr 6	st.1, ar 66, ów.B, dz.C, głęb.20-40 cm, warstwa II	2439	32,56	33,47	9,22	34,01	5,47	0,15	1,03	1,49	2,97	0,21	0,09	
7	Żużel nr 7	st.1, ar 66, ów.D, dz.C, głęb.40-60 cm, warstwa III	2439	25,83	18,14	9,54	52,13	4,66	0,18	1,03	1,53	4,28	0,27	0,01	
8	Żużel nr 8	st.1, ar 67, ów.C, dz.C, głęb.60-80 cm, warstwa IV	2439	49,23	3,95	65,93	7,38	0,76	0,31	0,08	3,12	0,59	0,05	0,02	
9	Żużel nr 9	ar XI poszerzony w kier. O, głęb. 25-35 /pole parafinowe/	90/74	34,02	42,63	1,10	29,50	1,57	3,68	0,60	2,97	3,36	0,16	0,02	
10	Żużel nr 10	—	—	34,88	43,73	1,10	28,80	1,34	3,23	0,70	3,05	3,05	0,13	0,04	
11	Żużel nr 2	st.1, ar LIII, ów.D, głęb.20-40 cm	2342	51,99	57,42	10,28	15,48	2,44	0,51	0,32	1,88	0,96	0,11	0,03	
12	Żużel nr 3	st.1, ar LIV, ów.C, głęb.120 cm /jama 10/	2342	57,29	61,23	13,61	11,01	1,52	0,32	0,45	1,05	0,87	0,10	0,05	
13	Żużel nr 14	kurhan 10/3/74, ów.A		31,89	4,70	40,32	33,80	0,63	0,31	0,20	0,16	3,60	0,57	0,21	
14	Żużel nr 15	—		45,72	51,02	0,45	25,70	0,84	0,09	0,40	0,57	2,90	0,25	0,06	
15	Żużel nr 16	kurhan 2/75 wykop przy ów.D		37,52	38,50	10,75	34,70	1,16	0,10	0,35	0,59	3,63	0,43	0,10	
16	Żużel nr 17	z grodziska	536	63,26	54,15	30,03	8,70	0,95	0,12	0,30	0,76	0,55	0,02	0,05	

x/ obliczono na podstawie zawartości FeO i Fe₂ i Fe₂O₃

Niektóre żuźle wykazały jednak i niską zawartość fosforu, a mianowicie żuźel z osady kultury przeworskiej w Koziarni i z wczesnośredniowiecznego cmentarzyska kurhanowego w Czarńskich.

Ta ostatnia grupa próbek żuźla zalicza się do żuźla o niskiej zawartości fosforu oraz MnO i Al_2O_3 .

Kształt zbadanych przedmiotów żuźli z południowo-wschodnich ziem Polski, reprezentujący typ Ia według klasyfikacji autora¹⁴, świadczy, że prawdopodobnie — przynajmniej w starożytności, a — być może i we wczesnym średniowieczu — wytapiano tam żelazo w prymitywnych ogniskach¹⁵.

We fragmencie żuźla nr 4 z Koziarni znaleziono ułamek zredukowanego żelaza (łupki). Badania metalograficzne wykazały, że metal był nierównomiernie nawęglony, od śladów do około 0,8 proc. C. Struktura metalu była ferrytyczno-sorbityczna, co świadczy o dość szybkim stygnięciu ułamka.

Strukturę w miejscu silniej nawęglonym przedstawia tab. XI g, a strukturę w miejscu słabiej nawęglonym — tab. IX h.

W tablicy 12 podano wyniki badań fragmentu zredukowanego żelaza (łupki) z Koziarni.

9. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Najdawniejsze ze zbadanych przedmiotów żelaznych z południowo-wschodnich ziem Polski (8 szt) pochodzą z okresu halsztackiego, ze czterech stanowisk grupy tarnobrzesckiej kultury łużyckiej.

Przedmioty te wykonano z żelaza niskofosforowego o różnym, zwykle nierównomiernym nawęgleniu pierwotnym. Ogółem z 8 zbadanych przedmiotów 7 okazów (87,5 proc.) zawierało 0,1 proc. P, a wszystkie (100 proc.) — poniżej 0,2 proc. P.

Chociaż ilość analiz jest bardzo mała, jednak widoczne jest, że pokrywają się one z wynikami badań przedmiotów żelaznych z okresu halsztackiego i wczesnolateńskiego z pozostałych ziem Polski, gdzie 62,2 proc. przedmiotów zawierało poniżej 0,1 proc. P, a 91,4 proc. — poniżej 0,2 proc. P¹⁶.

Wśród wyrobów z żelaza niskofosforowego o różnym nawęgleniu można wyróżnić grupę przedmiotów wykazujących cechy starożytnego żelaza „świętokrzyskiego”¹⁷. Należą do niej obie szpile z Zarzecza, noże nr 1 i 2, a prawdopodobnie i szpila z Kłyżowa oraz grot włóczni z Kopek.

W okazach tych zawartości fosforu mieści się

w granicach 0,01—0,126 proc. P, niklu — w granicach 0,002—0,034 proc. Ni, miedzi — w granicach 0,006—0,041 proc. Cu.

Przedmioty te zawierają — obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) — niewielkie ilości wtrąceń żuźla o innej strukturze, a mianowicie typy B (udział 16,7 proc.) i D1 (16,7 proc.).

Udział wyrobów „świętokrzyskich” w grupie zbadanych przedmiotów żelaznych z okresu halsztackiego wynosi 75 proc., co jest zjawiskiem charakterystycznym dla zbadanych wyrobów żelaznych ze stanowisk kultury łużyckiej na innych ziemiach Polski¹⁸, w tym także z cmentarzyska tej kultury w Sokolnikach koło Sandomierza¹⁹.

Pozostałe dwa przedmioty z Krzemienicy (wykute z żelaza niskofosforowego) zawierały więcej miedzi niż to stwierdzono dotychczas w wyrobach „świętokrzyskich”: wędzidło — 0,097 proc. Cu i skręt — aż 0,26 proc. Cu. Dlatego oba te okazy nie mogą być w chwili obecnej włączone do grupy wyrobów „świętokrzyskich”. Mogą one pochodzić z terenów Czechosłowacji, gdzie miedź (a także nikiel) występuje w wyrobach żelaznych²⁰.

Zbadane przedmioty żelazne z południowo-wschodnich ziem Polski z okresu wpływów rzymskich (17 przedmiotów z 8 stanowisk archeologicznych) wykazują również identyczne cechy, jak okazy ze stanowisk kultury przeworskiej na innych terenach naszego kraju²¹.

Występują tu więc także przede wszystkim wyroby z żelaza niskofosforowego o różnym, zwykle nierównomiernym nawęgleniu pierwotnym; udział okazów o zawartości fosforu poniżej 0,1 proc. P wynosi 43,7 proc., a poniżej 0,2 proc. P — 62,4 proc. Wielkości te również są nieco niższe aniżeli dla stanowisk kultury przeworskiej na pozostałych ziemiach Polski, gdzie poniżej 0,1 proc. P występuje w 68,9 proc. zbadanych przedmiotów, a zawartość poniżej 0,2 proc. P — 83,8 proc. — okazów. Wielkości te są wyraźnie niższe niż dla wyrobów żelaznych kultury łużyckiej, co jest wynikiem powstania w późnym okresie przedrzymskim licznych drobnych ośrodków hutniczych, w których eksploatowano wysokofosforowe rudy darniowe.

Również udział wyrobów „świętokrzyskich” w zbadanych przedmiotach żelaznych kultury przeworskiej z południowo-wschodnich ziem Polski jest niższy aniżeli na pozostałych terenach zasiedlonych przez ludność tej kultury, wynosi bowiem 41,2 proc. Do grupy tych wyrobów należą mianowicie: noże nr 2 i 3 oraz grot włóczni z Zakrzowa-Tarnobrzega, ostroga z Krzemie-

nicy (st. 2), radlica z Leska, grot włóczni z Pysznicy i sztabka z Wietrzo-Bani.

Okazy te zawierały 0,01—0,128 proc. P, 0,006—0,050 proc. Ni i 0,011—0,034 proc. Cu. W okazach tych występowały — obok wtrąceń żuźla o jednolitym czarnym zabarwieniu (typ A) — niewielkie ilości żuźla o innej strukturze, a mianowicie typ B (udział 28,6 proc.), D 1 (14,3 proc.) i C (14,3 proc.). Uwzględniając małe ilości okazów wyniki te pokrywają się z charakterystyką wyrobów „świętokrzyskich” z okresu halasztackiego z południowo-wschodnich ziem Polski oraz dla okazów kultury przeworskiej z pozostałych części kraju.

Możliwe, że do wyrobów „świętokrzyskich” należałoby włączyć okucie z Leska (choć wystąpiły w nim prawie wyłącznie wtrącenia żuźla typu C) oraz fragment z tegoż stanowiska, zawierający 0,064 proc. Cu; górna granica zawartości miedzi w wyrobach „świętokrzyskich” jest bliska tej wielkości. Wówczas udział tych wyrobów w zbadanych materiałach kultury przeworskiej uległby powiększeniu (do 52,9 proc.).

Podobnie wśród zbadanych przedmiotów z cmentarzyska kultury przeworskiej w Błoniu koło Sandomierza obok 3 wyrobów z żelaza „świętokrzyskiego” wystąpił tylko jeden okaz wykuty z żelaza o podwyższonej zawartości fosforu (grot strzały)²².

Trudno natomiast określić pochodzenie czerpaka z Leska, zawierającego znaczną domieszkę miedzi — 0,152 proc. Cu (import spoza Karpat?).

Nie udało się też ustalić pochodzenia grotu włóczni z Piwnicznej ze względu na obraz strukturalny; możliwe, że jest to import spoza ziem Polski.

Podobne cechy wykazał łańcuch z wczesnośredniowiecznego cmentarzyska w Czarnorzekach, możliwe, że pochodzenie obu okazów — jeśli chodzi o miejsce wytopu (rodzaj użytej rudy) — jest jednakowe. W chwili obecnej należy jednak wstrzymać się z wnioskami aż do zidentyfikowania dalszych okazów o takiej strukturze.

Mniejszy udział przedmiotów z żelaza niskofosforowego (m. in. wyrobów „świętokrzyskich”), jaki wykazały analizy okazów z południowo-wschodnich ziem Polski, aniżeli dla pozostałych ziem kraju zasiedlonych przez ludność kultury przeworskiej — o ile nie jest przypadkowym wynikiem spowodowanym niewielką ilością analiz — może być skutkiem małego udziału części uzbrojenia (wykonywanego zwykle z wysokojakościowego metalu niskofosforowego), a także dość znaczącego rozwoju lokalnego hutnictwa, wykorzystującego wysokofosforowe rudy darniowe i bagienne.

Do wyrobów z żelaza wysokofosforowego należy zaliczyć nóż nr 2 i grot włóczni z Zakrzowa-Tarnobrzega, krój z Leska, umbo z Pysznicy i grot włóczni z Grodziska Dolnego (5 okazów tj. 28,8 proc.). Żelazo takie wytapiane było na ziemiach Polski w wielu, na ogół drobnych ośrodkach hutniczych w okresie wpływów rzymskich.

Zawartość fosforu w tych okazach mieściła się w granicach 0,31—0,66 proc. P, zawartość niklu — w granicach 0,015—0,025 proc. Cu; wtrącenia żuźla miały przeważnie strukturę złożoną.

Pewnego komentarza wymagają znalezione poza warstwą kulturową krój i radlica z Leska. Otóż radlica wykazuje typowe cechy żelaza „świętokrzyskiego” i przynależność jej do materiałów kultury przeworskiej nie budzi wątpliwości (taki sam typ metalu wykazała radlica z Igołomi-Zofipola)²³.

Natomiast przy wyrobie kroja zastosowano zgrzewanie nakładki stalowej, a technika taka — pospolita we wczesnym średniowieczu — występuje w przedmiotach żelaznych kultury przeworskiej niezwykle rzadko. Poza dziwerowanymi mieczami (które należy uznać raczej za rzymskie) zidentyfikowano dotąd zgrzewanie tylko przy wyrobie nożyc z Zadowic koło Kalisza²⁴ oraz kluczyka z Korytnicy i nożyka z Pilicy²⁵. Pochodzenie tych przedmiotów nie zostało dotychczas ustalone.

Konieczne jest także specjalne omówienie wystąpienia wśród analizowanych żużli — fragmentów o dość niskiej zawartości fosforu.

Przed wszystkim uzyskany wynik należałoby jeszcze potwierdzić większą ilością analiz dla sprawdzenia czy istotnie badania próbek żuźla z Koziarni i Czarnorzek świadczą o wykorzystywaniu rudy niskofosforowej, czy też uzyskane wyniki analiz mają charakter przypadkowy. Wiadomo, że rudy (a więc i żuźle) wysokofosforowe wykazują znaczne wahania zawartości fosforu, można więc — przypadkowo — natrafić na próbki o niewielkiej zawartości tej domieszki.

Jeśli uzyskane wyniki analiz są tylko przypadkowe, wówczas problem fosforowego żelaza, wytapianego na południowo-wschodnich ziemiach Polski nie istnieje, nie wymaga więc komentarza.

Jeśli natomiast wyniki badań potwierdzają się, wówczas należy przyjąć, że na niektórych — niewielkich — stanowiskach hutniczych na południowo-wschodnich ziemiach Polski wytapiane było żelazo niskofosforowe. Wówczas powstaje problem cech tego lokalnego metalu i określenie jego stosunku do starożytnego żelaza „świętokrzyskiego”.

Tablica 12

Wyniki badań fragmentu zredukowanego żelaza /łupki/ z Koziarni

Lp.	Nazwa przedmiotu	Zawartość, %			Składniki struktury	Klasa wielkości ziarna	Klasa twardości kG/mm ²	Twardość HV
		P	Ni	Cu				
1	Fragment łupki z żużla nr 3				ferryt perlit	5 5	137 196	

O cechach niskofosforowego żelaza z Koziarni, ewentualnie Czarnorzek (czy Sanoka-Białej Góry?) — o ile takie istotnie było regularnie uzyskiwane — trudno jeszcze coś powiedzieć. Jeden mały fragment łupki z Koziarni nie dostarcza jeszcze dostatecznych danych. Z badań starożytnych fragmentów łupek z ośrodka hutniczego w Górach Świętokrzyskich wynika, że takie drobne fragmenty mogą być znacznie silniej nawęglone niż przeciętnie wytapiany metal²⁶. Stąd nawęglenie zbadanego ułamka łupki z Koziarni nie dowodzi, że wytapiano tam regularnie niskofosforowe żelazo o różnym (nierównomiernym?) nawęgleniu.

Jednak — nawet gdyby okazało się, że na niektórych stanowiskach hutniczych w południowo-wschodniej Polsce wytapiane było niskofosforowe żelazo o nierównomiernym nawęgleniu, które trudno byłoby odróżnić od żelaza „świętokrzyskiego”, wówczas i tak nie wpłynie to na zmianę dotychczasowych stwierdzeń.

Z ilości znalezisk żużla na stanowiskach hutniczych południowo-wschodniej Polski wynika, że była to dorywcza produkcja o bardzo ograniczonych rozmiarach. Stąd udział tej produkcji — w porównaniu z wydajnością piecowisk w Górach Świętokrzyskich — stanowi nieznaczny ułamek w masie starożytnych wyrobów z żelaza niskofosforowego.

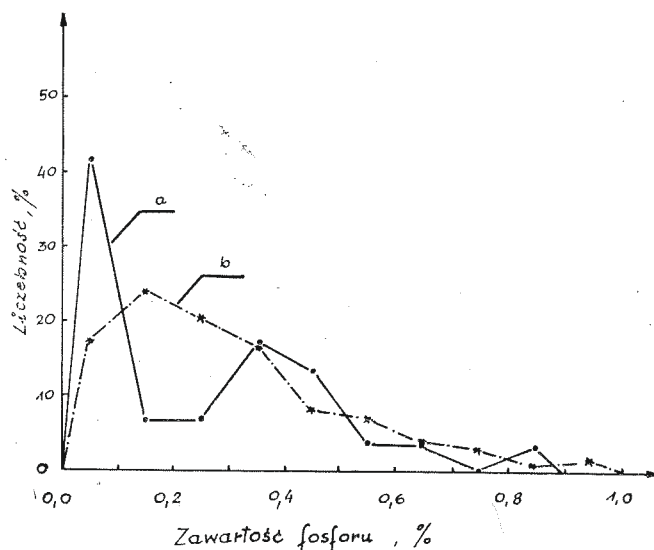
W sumie więc — jeśli uzyskane wyniki analiz potwierdzą się — wówczas można przewidywać, że co najwyżej niektóre nieliczne z przedmiotów zaliczanych tu do grupy, reprezentującej cechy starożytnego żelaza „świętokrzyskiego” pochodzą z drobnych lokalnych stanowisk hutniczych, gdzie wytapiano w niewielkich ilościach żelazo niskofosforowe, być może o dość silnym i nierównomiernym nawęgleniu.

Badania wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych z południowo-wschodnich ziem Polski dały również wyniki w zasadzie pokrywające się z analizami materiałów z pozostałych terenów naszego kraju²⁷, stwierdzono jednak pewne różnice. Należy tu jednak zaznaczyć, że chociaż ilość zbadanych okazów była dość du-

ża (28 sztuk) z 9 stanowisk archeologicznych, jednak stosunkowo mało było wśród nich narzędzi tnących, których technologia najlepiej charakteryzuje umiejętności ówczesnych kowali (kuźników).

Poza tym zbadane materiały wczesnośredniowieczne pochodziły dopiero z XI—XIV w., a z wcześniejszej fazy (VII—IX w.) zbadano jedynie trzy noże z Bachorza; ten okres ma szczególne znaczenie dla historii kształtowania się technologii w wiekach późniejszych.

Zastrzegając więc, że w zbadanych dotąd przedmiotach żelaznych z południowo-wschodnich ziem Polski istnieją pewne luki — można podsumowując przeprowadzone analizy zauważyć, że udział wyrobów z żelaza wysokofosforowego nie uległ po okresie wędrówek ludów takiemu zwiększeniu, jak na innych obszarach naszego kraju (ryc. 13).



Ryc. 13. Wielobok rozkładu zawartości fosforu we wczesnośredniowiecznych przedmiotach żelaznych: a — z południowo-wschodnich ziem Polski (na podstawie 29 analiz), b — z pozostałych terenów naszego kraju (na podstawie 474 analiz)

Udział przedmiotów żelaznych o zawartości powyżej 0,1 proc. P wynosił 57,3 proc, a udział okazów zawierających powyżej 0,2 proc. — 50,2 proc. Natomiast dla pozostałych ziem Polski

udział wyrobów o zawartości 0,1 proc. P wynosi aż 83,5 proc., a powyżej 0,2 proc. — 59,9 proc.²⁸

Wśród zbadanych wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych z południowo-wschodnich ziem Polski można więc wyróżnić dwie grupy wyrobów, a mianowicie okazy z żelaza lub stali o niskiej zawartości fosforu oraz przedmioty z metalu wysokofosforowego.

Do pierwszej grupy należą fragment nr 3 z Leska, grot włóczni, trzpień sprzączki i nóż nr 1 z Niska, łańcuch z Czarnorzek, grot włóczni z Wróblika Szlacheckiego, grot strzały z Sanoka-Białej Góry, grot bełtu, ostroga, kowadełko i gwoździe nr 2 i 4 z Mymonia. Przedmioty te zawierają 0,03—0,06 proc. P, 0,013—0,025 proc. Ni i 0,034—0,058 proc. Cu z tym, że więcej miedzi i zawiera grot bełtu (0,137 proc. Cu) i kowadełko (średnio 0,154 proc. Cu) z Mymonia.

Do tej grupy należą także wcześniej zbadane noże z Winiar i Trzebiesławic koło Sandomierza.

Natomiast do wyrobów z żelaza wysokofosforowego (o składzie 0,332—0,498 proc. P, 0,004—0,037 proc. Ni i 0,004—0,019 proc. Cu) należą noże nr 1, 2 i 4 z Bachórze, grot strzały z Sobienia, strzemię z Brzeźówki, grot bełtu nr 1 i 2 z Sanoka-Białej Góry, nożyce, kabłak sprzączki, i nóż nr 2 z Niska, gwoździe nr 1 i 3 z Mymonia oraz wszystkie noże nr 1, 2, 3, i 4 z Rzeszowa.

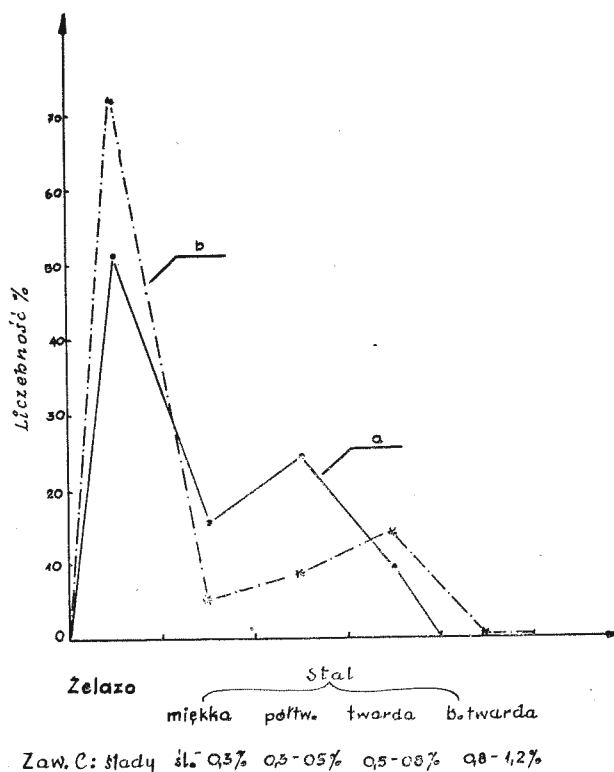
Drugą cechą, charakterystyczną dla wczesnośredniowiecznej technologii żelaza na ziemiach Polski (także południowo-wschodnich) jest świadome odróżnienie przez hutników żelaza od stali (zwykle zawierającej 0,5—0,8 proc. C). Ujawnia się to przeznaczaniu żelaza i stali na odpowiednie wyroby (np. stali — na narzędzia), a przede wszystkim w stosowaniu techniki zgrzewania żelaza ze stalą.

Cechę tę również ilustruje wielobok rozkładu nawęglenia wczesnośredniowiecznych przedmiotów żelaznych, podany na ryc. 14.

Tak więc z żelaza wykuto noże nr 1 i 4 z Bachórze, grot włóczni z Wróblika Szlacheckiego, groty bełtu nr 1 i 2 z Sanoka-Białej Góry, ostrogę i gwoździe nr 1 i 3 z Mymonia.

Natomiast ze stali wykuto nóż nr 2 z Bachórze, nóż nr 1, sprzączkę i grot włóczni z Niska, grot bełtu, gwoździe nr 2 i 4 z Mymonia oraz stalowe nakładki, użyte przy wyrobie kowadełka z Mymonia, grotu strzały z Sanoka-Białej Góry, noży nr 1, 2 i 4 z Rzeszowa oraz nożyc z Niska; możliwe że nakładkę stalową posiadał także nóż nr 2 z Niska.

Stosowanie nakładek stalowych jest wynikiem oszczędnego stosowania stali. Była ona wytapiana wraz z żelazem, ale z wytopu rudy wysokofosforowej ilość uzyskanej stali była ogra-



Ryc. 14. Wielobok rozkładu zawartości węgla w średniowiecznych przedmiotach żelaznych: a — z południowo-wschodnich ziem Polski (na podstawie 33 oznaczeń), b — z pozostałych terenów naszego kraju (na podstawie 491 oznaczeń)

niczona. Ten sposób wytapiania stali — opisany w oddzielnej pracy autora²⁹ był stosowany powszechnie przez plemiona słowiańskie (i bałtyjskie).

Stosowanie nakładek stalowych jest także charakterystyczne dla technologii żelaza na ziemiach Polski we wczesnym średniowieczu. Była ona stosowana przy wyrobie noży już w VI—VIII w. (Szeligi koło Płocka, Czeladź Wielka koło Góry, Łazy koło Kielc). Proste nakładki stalowe, jakie wystąpiły na nożach nr 1, 2 i 4 z Rzeszowa były najczęściej stosowanym na ziemiach Polski sposobem wykonywania noży we wczesnym średniowieczu. Wśród 153 zbadanych noży z tego okresu technikę zgrzewania żelaza i stali reprezentuje 58,1 proc. noży, w czym 36,5 proc. było wykonanych z dwóch prętów tak jak noże nr 1, 2 i 4 z Rzeszowa.

Znacznie rzadziej występują prymitywne noże wykute z żelaza (nieutwardzane) jak nóż nr 3 z Rzeszowa; udział takich noży wynosi 17,0 proc.

Prawie wszystkie wczesnośredniowieczne narzędzia ze stali (lub częściowo ze stali) były poddane prawidłowo przeprowadzonej obróbce cieplnej, najczęściej hartowaniu zwykłemu w wodzie. Stosowanie obróbki cieplnej narzędzi było powszechne na ziemiach Polski we wczesnym średniowieczu.

Reasumując, wyniki badań wskazują, że technologia wyrobów żelaznych na południowo-wschodnich ziemiach Polski na ogół nie różniła się od technologii stosowanej na pozostałych terenach naszego kraju.

Należałoby jednak poddać jeszcze badaniom

pewną ilość starożytnych przedmiotów żelaznych (zwłaszcza części uzbrojenia) oraz wyroby pochodzące z najwcześniejszej fazy wczesnego średniowiecza. Również dla okresu późniejszego (XI—XIV w.) należałoby zbadać więcej narzędzi tnących jak noże, nożyce, sierpy, dłuta itp.

Przypisy

¹ J. Piaskowski, *Badania metaloznawcze wyrobów żelaznych z cmentarzyska kultury łużyckiej w Sokolnikach*, pow. Tarnobrzeg, „Archeologia Polski”, T. IX, 1961, nr 1, s. 7—19.

² J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z cmentarzysk ciepłalnych w Błoniu*, pow. Sandomierz i Chmielowie Piaskowym, pow. Opatów, „Sprawozdania Archeologiczne”, T. XVI, 1964, s. 395—399.

³ J. Piaskowski, *Wyniki badań metaloznawczych pięciu noży z wczesnośredniowiecznych kopców z terenu Małopolski*, „Sprawozdania Archeologiczne”, T. XIX, 1968, s. 477—490.

⁴ J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania żelaznych grotów z Zawady Lanckorońskiej*, pow. Brzesko i Jarosławia, „Acta Archaeologica Carpathica”, T. IX, 1967, nr 1—2, s. 139—145.

⁵ A. Mazur, E. Nosek, *Porównanie technologii wykonania wędzideł z Chełmca*, pow. N. Sącz, Mymonia, pow. Sanok i Nowej Huty-Pleszewa, „Materiały Archeologiczne”, T. VIII, 1967, s. 215—222.

⁶ J. Piaskowski, E. Gąssowska, *Próba datowania żelaznej radlicy z Kamienia Plebańskiego pod Sandomierzem na podstawie danych archeologicznych i metaloznawczych*, „Archeologia Polski”, T. VI, 1961, nr 2, s. 313—324.

⁷ J. Piaskowski, *Badania metaloznawcze w badaniach zabytków archeologicznych*, „Sprawozdania Archeologiczne”, T. VII, 1957, s. 284—298.

⁸ J. Piaskowski, J. Bryniarska, *Application of micro-probe analyser to the examinations of ancient iron objects*, „Organon”, T. XIV, s. 283—307.

⁹ J. Piaskowski, *Kryteria określania technologii wyrobów z żelaza dymarskiego*, „Archeologia Polski”, T. XVII, 1972, nr 1, s. 7—45.

¹⁰ J. Piaskowski, *Klasyfikacja struktury wtrąceń żużla i jej zastosowania dla określenia pochodzenia dawnych przedmiotów żelaznych*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, T. XVII, 1969, nr 2, s. 61—71.

¹¹ G. R. Booker, J. Norbury, A. L. Sutton, *Investigation of nitride precipitation in pure iron and mild steel*, „Journal of the Iron and Steel Institute”, T. 187, 1957, s. 288.

¹² G. R. Booker, J. Norbury, A. L. Sutton, *op. cit.*, s. 211.

¹³ J. Piaskowski, *Klasyfikacja dawnego żużla dymarskiego występującego na ziemiach Polski w świetle statystycznej analizy składu chemicznego*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, T. XIV, 1966, s. 335—356.

¹⁴ J. Piaskowski, *Klasyfikacja postaci znalezisk żużla i innych pozostałości starożytnego i średniowiecznego wytopu żelaza dymarskiego* (w przygotowaniu do druku).

¹⁵ J. Piaskowski, *O wytapianiu żelaza w ogniskach dymarskich na ziemiach Polski*, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, T. XVIII, nr 1, s. 37—52.

¹⁶ J. Piaskowski, *Zagadnienie ciągłości rozwoju hutnictwa żelaza na ziemiach polskich w starożytności i we wczesnym średniowieczu*, „Roczniki dziejów społecznych i gospodarczych”, T. XXXII, 1971, s. 1—29.

¹⁷ 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”, T. VI, 1963, s. 9—85; J. Piaskowski, *Dalsze badania metaloznawcze starożytnych przedmiotów żelaznych z ziemi kieleckiej*, „Rocznik Muzeum Świętokrzyskiego”, T. V, 1968, s. 151—198.

¹⁸ J. Piaskowski, *Technologia przedmiotów żelaznych kultury łużyckiej i pomorskiej na ziemiach Polski*, „Wiadomości Archeologiczne”, T. XXXVII, 1972, s. 72—89.

¹⁹ J. Piaskowski, *Badania metaloznawcze wyrobów żelaznych z cmentarzyska kultury łużyckiej w Sokolnikach...*, s. 12.

²⁰ R. Pleiner, *Die Technologie des Schmiedes in der Grossmährischen Kultur*, „Slovenska Archeologia”, T. XV, 1967, s. 77—188.

²¹ J. Piaskowski, *Cechy materiałowo-technologiczne wyrobów żelaznych jako kryteria kulturowo-chronologiczne*, „Wiadomości Archeologiczne”, T. XXXIV, 1969, nr 3—4, s. 332—354.

²² J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania wyrobów żelaznych z cmentarzysk ciepłalnych w Błoniu...*, s. 405.

²³ J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania zabytków archeologicznych z Wyciąża, Igołomii, Jadownik Mokrych i Piekar*, „Studia z dziejów górnictwa i hutnictwa”, T. II, 1958, s. 7—98.

²⁴ J. Piaskowski, *Metaloznawcze badania przedmiotów żelaznych z cmentarzyska ciepłanego w Zadowicach*, pow. Kalisz, „Prace i Materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi”. Seria Archeologiczna, 1964, nr 13, s. 213—230.

²⁵ J. Piaskowski, *Dalsze badania metaloznawcze starożytnych przedmiotów żelaznych z ziemi kieleckiej*, „Rocznik Muzeum Świętokrzyskiego”, T. V, 1968, s. 151—198.

²⁶ J. Piaskowski, *Sprawozdania z badań rudy, żużla i fragmentów łupków z Podchełmia*, pow. Kielce,

Gardzienic, pow. Lipsko oraz Jeleniowa i Starej Stupi, pow. Opatów, „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej”, T. VIII, 1960, nr 4, s. 573—581.

²⁷ J. Piaskowski, *Untersuchungen der frühmittelalterlichen Eisen- und Stahltechnologie der Slaven in den Gebieten zwischen Weichsel und Oder*, „Archaeologia Polona”, T. XV, 1974, s. 67—96.

²⁸ J. Piaskowski, *Eisen — und Stahltechnologie der Völkerwanderungszeit im Gebiete zwischen Weichsel und Oder*, „Antikvariskt Arkiv”, T. 53, 1973, s. 29—41.

²⁹ J. Piaskowski, *O pierwotnym sposobie otrzymywania stali u średniowiecznych Słowian*, „Hutnik”, T. XXXI, 1964, nr 12, s. 378—383.

METALLKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN VON ANTIKEN UND FRÜHMITTELALTERLICHEN EISENGEGENSTÄNDEN UND SCHLACKE AUS SÜDOSTPOLEN

Resümee

Untersucht wurden 52 antike und frühmittelalterliche Eisengegenstände und ein Schieferbruchstück aus 21 archäologischen Fundstellen in Südostpolen. Es wurden eine quantitative chemische Analyse, metallographische Untersuchungen mit Bestimmung der Korngröße und der Schlackeneinschlüsse, Messungen der Mikrohärtigkeit der Strukturbestandteile mit Hilfe des Hanemann-Apparats und der Metallhärtigkeit im Vickersverfahren durchgeführt.

Außerdem wurde die chemische Zusammensetzung von 17 Schlackenproben aus sieben archäologischen Fundplätzen in dieser Region ermittelt. Alle Eisengegenstände (8 Stück) aus vier Fundstellen der Tarnobrzeggruppe der Lausitzer Kultur wurden aus phosphorhaltigem Eisen (weniger als 0,2% P) mit gleichmäßiger Aufkohlung angefertigt. Die meisten davon (6 Stück) wiesen die Merkmale altweltlicher Erzeugnisse aus dem Świętokrzyskie-Gebirge auf. Zwei Gegenstände: eine Kandare und ein Schmuckstück in Spiralform aus Krzemienica enthielten 0,079% Cu und 0,26% Cu und wurden höchstwahrscheinlich von jenseits der Karpaten bezogen. Diese Ergebnisse decken sich völlig mit den Analysen zahlreicher Eisengegenstände, derer sich die Gebieten bediente.

Auch die Forschungsergebnisse von 17 Gegenständen aus acht Fundorten der Przeworsk-Kultur ähneln denen, die bei Gegenständen dieser Kultur in anderen polnischen Gebieten erzielt wurden, wobei der prozentuale Anteil von Erzeugnissen aus phosphorhaltigem Eisen höher liegt (über 0,1% P bei 56,3% der Ergebnisse gegenüber 31,1% in anderen Landesteilen). Eine große Gruppe (41,2 oder vielleicht sogar 52,9%), stellen Gegenstände mit Merkmalen des Świętokrzyskie-Eisens dar, also etwas weniger als an anderen Fundstätten der Przeworsk-Kultur. Dieser Unterschied kann sich jedoch aus der geringen Zahl von Analysen oder dem geringen Anteil von Eisenteilen für Waffen und Rüstungen im Forschungsmaterial ergeben.

Bei dem Pflugsech aus Lesko wurde Eisen mit Stahl verschweißt, eine sehr seltene Schweißtechnik

für die damalige Zeit. Es ist jedoch ungewiß, aus welcher Zeit der Pflugsech datiert.

Aus phosphorhaltigem Eisen (0,31—0,66% P) wurden fünf Gegenstände (28,8 %) angefertigt, und zwar das Messer Nr. 2 und die Lanzen spitze aus Zakrzów-Tarnobrzeg, das Pflugsech aus Lesko, das Umbo aus Pysznica und die Lanzen spitze aus Grodzisko Dolne.

Die Ergebnisse der besagten Untersuchungen von Eisengegenständen aus dem frühen Mittelalter (28 Gegenstände aus 9 archäologischen Fundorten) wiesen nach, daß auch in den anderen polnischen Gebieten eine ähnliche Technologie verwendet wurde, wobei der Anteil von Erzeugnissen aus phosphorhaltigem Eisen (57,3% mit über 0,1% P) etwas niedriger lag als in den anderen Landesteilen (83,5%). Die Ursache dafür lag höchstwahrscheinlich in der verbreiteten Eisenschmelze aus Erzen mit niedrigem Phosphorgehalt, die im Karpatenvorland auftraten.

Die Analysen von Eisengegenständen aus dem frühen Mittelalter ergeben, daß in Südostpolen neben Eisen auch Stahl geschmolzen und hauptsächlich für die Erzeugung von Werkzeugen verwendet wurde. Kennzeichnend für diesen Zeitraum war, daß Stallblatt, das die Schneide bildete, mit dem geschmiedeten Rückenteil zusammengeschweißt wurden (die Messer Nr. 1, 2 und 4 aus Rzeszów und die Schere aus Nisko). Dieses Schweißverfahren wurde auch bei der Fertigung der Pfeilspitze aus Sanok-Biała Góra, des Handambosses aus Mymoń und — höchstwahrscheinlich — des Messers Nr. 2 aus Nisko eingesetzt.

Fast alle Stahlwerkzeuge wurden der Wärmebehandlung unterzogen.

Einen niedrigen Phosphorgehalt (weniger als 0,75 % P_2O_5) wiesen die Schlacken aus den Fundstellen der Przeworsk-Kultur in Koziarnia und die frühmittelalterliche Schlacke aus Czarnorzeki auf; ein hoher Phosphorgehalt hingegen wurde bei den Schlacken aus den Fundstätten der Przeworsk-Kultur in Wietrzno-Bania, Otałęż, Baranów Sandomierski und Lesko sowie den frühmittelalterlichen Schlacken aus Sanok-Biała Góra ermittelt.