

PAWEŁ KUCYPERA, ANDRZEJ PYDYN, MATEUSZ POPEK, KONRAD LEWEK

Technologia wykonania miecza i czekana odnalezionych w reliktach mostu prowadzącego na wyspę Ledniczkę na jeziorze Lednica w świetle badań archeometalurgicznych

Abstrakt: Dwa egzemplarze wczesnośredniowiecznej broni odnalezione w reliktach mostu wiodącego na wyspę Ledniczkę na jeziorze Lednica zostały poddane nieinwazyjnym badaniom archeometalurgicznym. Przeprowadzone analizy pozwoliły na ustalenie metod fabrykacji oręża oraz określenie materiałów, które wykorzystano do jego wykonania. Oba przedmioty są wyrobami kompozytowymi odkutymi ze stopów żelaza o różnych właściwościach. Zarówno miecz, jak i czekan były bogato zdobione metalami żelaznymi i nieżelaznymi. Wykonane badania pozwoliły w większości na odtworzenie pierwotnego wyglądu tych ornamentów.

Słowa kluczowe: miecz, czekan, archeometalurgia, Ostrów Lednicki, wczesne średniowiecze

Abstract: Two early medieval weapons discovered within the relics of the Ledniczka bridge on Lake Lednica were subjected to non-invasive archaeometallurgical investigations. The conducted analyses allowed to determine the methods of their manufacture, as well as the characteristics of materials that were used in their making. Each specimen was a composite product forged from iron alloys of varying properties. Both the sword and the hammer axe were richly decorated with ferrous and non-ferrous metals. The research allowed in most parts to recreate the original appearance of these ornaments.

Keywords: sword, hammer axe, archaeometallurgy, Ostrów Lednicki, Early Middle Ages

Wstęp

Wczesnośredniowieczny kompleks osadniczy jeziora Lednica wraz z ośrodkiem rezydencjonalnym pierwszych Piastów na Ostrowie Lednickim jest jednym z najważniejszych i najbardziej wielopłaszczyznowo przebadanych stanowisk archeologicznych w Polsce. Rezultatem trwających blisko 40 lat penetracji podwodnych są gruntowne studia poświęcone trzem przeprawom mostowym [Kurnatowska

(red.) 2000; Kola, Wilke (red.) 2014; Kola et al. 2016; Pydyn, Poppek 2020] oraz największa w Europie Środkowej kolekcja wczesnośredniowiecznych militariów [Wyrwa et al. (red.) 2011; Sankiewicz, Wyrwa (red.) 2013, 2018], które na przestrzeni lat poddane zostały wyczerpującym analizom materiałoznawczym, w tym archeometalurgicznym [Biborski et al. 2011; Kucypera, Pudło 2011; Więcek et al. 2011; Kucypera, Rybka 2013, 2018; Radek 2013; Stępnik 2011, 2013, 2018].

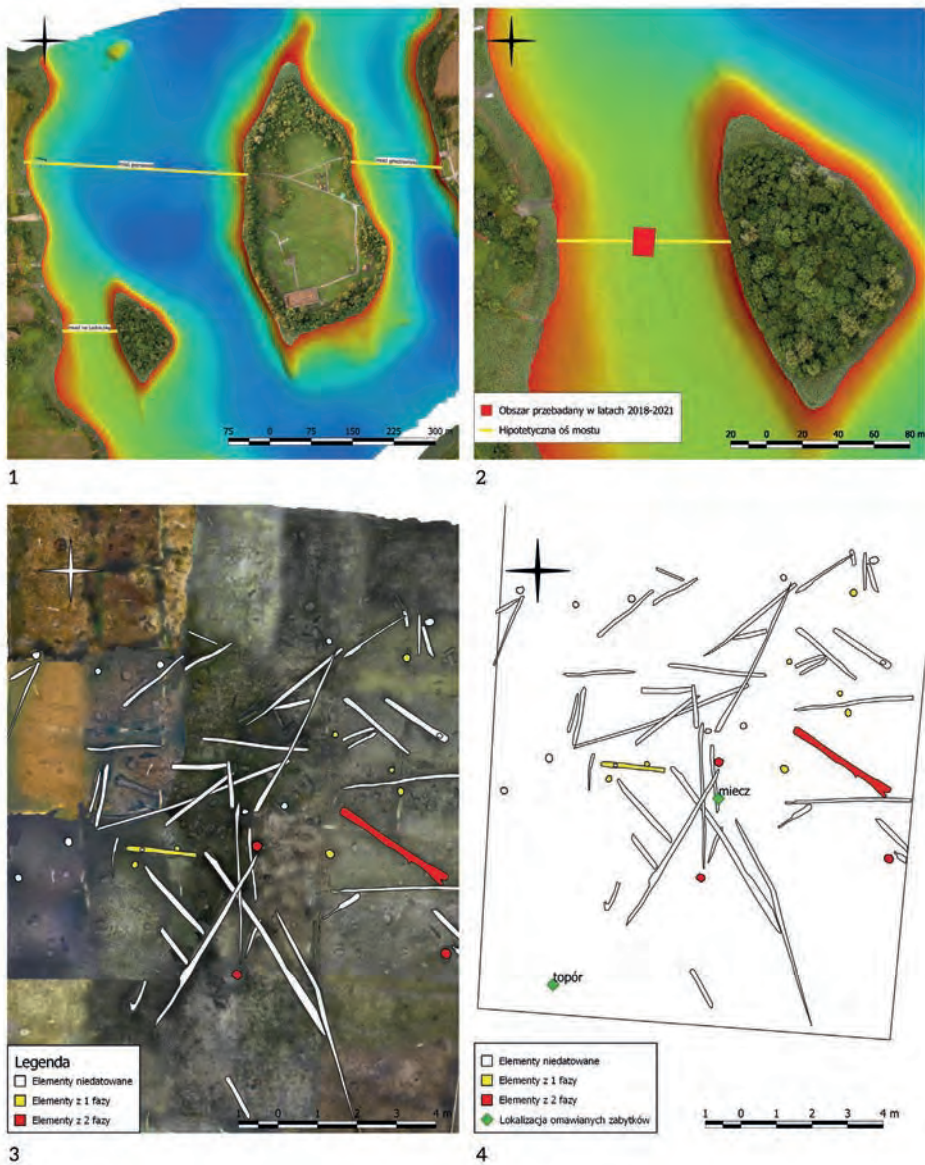
Relikty mostu wiodącego z łądu na Ledniczkę, drugą co do wielkości wyspę jeziora Lednica, zidentyfikowano dzięki analizie mapy batymetrycznej oraz rekonesansowi przeprowadzonemu w 2017 roku (ryc. 1.2, 1.3). Badania wykopaliskowe przeprawy rozpoczęto w 2018 roku i są one kontynuowane do dzisiaj [Pydyn, Poppek 2020: 454-460]. W warstwach archeologicznych związanych z mostem na Ledniczkę odkryto przedmioty metalowe oraz wykonane z materiałów organicznych. Wśród tych pierwszych dominują militaria związane z dwoma horyzontami chronologicznymi: wczesnym średniowieczem (2. poł. IX-1. poł. XI wieku) oraz późnym średniowieczem (XIII-XIV wiek). Wśród zabytków o metryce wczesnośredniowiecznej wyjątkowymi egzemplarzami są miecz (nr inw. W1/2020) i czekan (nr inw. W18/2020), odkryte podczas badań prowadzonych w roku 2020 (ryc. 1.4).

Kontekst znalezienia i analiza typochronologiczna

Pierwszy z zabytków odnaleziony został w centralnej części rumowiska, wbity częścią sztychową głowni skośnie w dno jeziora. Oręż znajdował się w miejscu, wokół którego spoczywały elementy konstrukcyjne z dwóch faz funkcjonowania mostu, a w jego sąsiedztwie występowały przedmioty, których datowanie przypada głównie na fazę młodszą, późnośredniowieczną (ryc. 1.4). Żeleźce czekana odnaleziono na południowym krańcu zasięgu mostu. Na tej samej działce zlokalizowano również inne militaria, wszystkie związane z drugą fazą funkcjonowania przeprawy. W bezpośredniej okolicy znalezienia broni nie stwierdzono obecności elementów konstrukcyjnych (ryc. 1.4).

W świetle analizy typologiczno-chronologicznej¹ miecz o szerokiej, niemal płasko ciągniętej głowni (część sztychowa uległa złamaniu, zachował się jej wierzchołek), sztabkowatym jelcu oraz półokrągłej głowicy sklasyfikowano jako należący do starszego wariantu typu X wg J. Petersena [1919: 158-167], o czym świadczą kształt prostokątnego w przekroju i krótkiego jelca, płaskiej, prostokątnej w przekroju głowicy z podstawą zaznaczoną rytą linią oraz proporcje brzeszczotu. Broń datować można na 2. poł. IX wieku [Kucypera et al. 2011: 75-77, ryc. 1; Hošek, Košta 2014: 249-251] (ryc. 2). Czekan zalicza się do tzw. typu Lunow,

¹ Szczegółowe opracowanie typologiczno-chronologiczne badanych militariów opublikowane zostanie w oddzielnym artykule.



RYC. 1. Lokalizacja militariów w reliktach mostu łączącego wyspę Ledniczkę z lądem: 1 – średniowieczne przeprawy mostowe na jeziorze Lednica, 2 – obszar objęty badaniami podwodnymi w latach 2018-2021, 3 – elementy konstrukcyjne mostu na Ledniczkę, 4 – miejsce odnalezienia miecza i czekana. Oprac. i rys. M. Popek

FIG. 1. Location of weapons within the relics of the bridge connecting the island of Ledniczka with the mainland: 1 – medieval bridge crossings of Lake Lednica, 2 – range of area excavated during the years 2018-2021, 3 – construction elements of the Ledniczka bridge, 4 – sword and hammer axe finding place. Ed. and drawing by M. Popek

nazwanego tak od znaleziska opublikowanego przez P. Paulsena [1939: 135-138]. Smukłe proporcje, szerokie, asymetryczne ostrze (dolna część nie zachowała się) z zadartym „nosem”, wydatne wąsy po obu stronach osady oraz wyodrębniony młotek każą sklasyfikować ten okaz jako wariant IIIB.5.30 wg P.N. Kotowicza [2018: 110]. Żeleźce pokrywają pozostałości po bogatych zdobieniach metalami nieżelaznymi. Datowanie przedmiotu można określić na 2. poł. X-1. poł. XI wieku [por. Michalak, Kotowicz 2014: 111-112, 114] (ryc. 3).

Wymiary miecza: długość całkowita 76,5 cm, długość głowni 64 cm, szerokość głowni przy jelcu 5,5 cm, grubość głowni przy jelcu 0,6 cm, długość rękojeści 13,4 cm, długość jelca 11,7 cm, wysokość jelca 1,1 cm, grubość jelca 2,1 cm, długość trzpienia 8,9 cm, szerokość trzpienia przy jelcu 3 cm, szerokość trzpienia przy głowicy 2 cm, grubość trzpienia 0,6 cm, szerokość głowicy 5,3 cm, wysokość głowicy 3,4 cm, grubość głowicy 1,2 cm.

Wymiary żeleźca czekana: długość całkowita 16,6 cm, długość młotka 1,2 cm, wysokość młotka 2,4 cm, wysokość osady z wąsami 6,1 cm, wysokość osady bez wąsów 1,8 cm, szerokość osady 3,5 cm, minimalna wysokość szyjki 1,6 cm, wysokość ostrza 10,9 cm, światło osady 3,8 x 2,4 cm.

Metody badawcze

Badane przedmioty poddano analizom nieniszczącym: oględzinom makro- i mikroskopowym, obrazowaniu radiograficznemu oraz spektralnym fluorescencji rentgenowskiej. Ograniczenie stosowanych metod do procedur nieinwazyjnych podyktowane zostało polityką dysponenta przedmiotów, który zalecił nieingerowanie w pierwotną substancję obiektów zabytkowych. Taki wybór instrumentarium analitycznego przekreślił możliwość skorzystania z inwazyjnej metalografii, a co za tym idzie, uniemożliwił szczegółową deskrypcję materiałową badanych przedmiotów, w tym określenie heterogeniczności ich części żelaznych, m.in. pod kątem dystrybucji i wysycenia stopów węglem i fosforem. W związku z powyższym, umieszczona w tekście charakterystyka ma charakter ogólny i opiera się na pozostałych przesłankach analitycznych lub wynika z konstatacji czynionych *per analogiam*.

Techniki wykonania przedmiotów ustalono w oparciu o obserwacje makro- i mikroskopowe oraz radiografię cyfrową wyróżników korozyjnych, które powstają w metalu w trakcie jego degradacji w warunkach podepozycyjnych. W celu ich uwidocznienia w pierwszej metodzie zastosowano zabiegi mechaniczne². Prześwietlenia wykonano techniką radiografii cyfrowej DR. W trakcie stosowania tej

² Obiekty spreparowano, korzystając z mikrowiertarki Urawa miniTor UC500 z zestawem szlifiersko-polskich głowic trzpieniowych. Zabiegi przeprowadził mgr Krzysztof Rybka z Instytutu Archeologii UMK. Obserwacje wykonano za pomocą optycznego mikroskopu stereoskopowego Zeiss SteREO Discovery.V8. Badania przeprowadził Paweł Kucypera.



Ryc. 2. Dziekanowice, gm. Łubowo, pow. gnieźnieński. Miecz typu X odnaleziony w reliktach mostu łączącego wyspę Ledniczkę z lądem. Fot. W. Ochotny

FIG. 2. Dziekanowice, Łubowo Comm., Gniezno Distr. X-type sword found in the relics of the bridge connecting the island of Ledniczka with the mainland. Photo by W. Ochotny



Ryc. 3. Dziekanowice, gm. Łubowo, pow. gnieźnieński. Detale miecza wydobytego z relikwów mostu łączącego wyspę Ledniczka z lądem: 1 – rękojeść, 2 – część zastawna głowni, 3 – środkowa część głowni, 4 – pozostałości wierzchołka sztychu, 5 – część zastawna głowni, przeciwna strona. Skala różna. Fot. W. Ochotny

FIG. 3. Dziekanowice, Łubowo Comm., Gniezno Distr. Details of the sword from the relics of the bridge connecting Ledniczka with the mainland: 1 – hilt, 2 – blade near the lower guard, 3 – central part of the blade, 4 – remains of the tip, 5 – blade near the lower guard, opposite side. The scale varies. Photo by W. Ochotny

techniki dwuwymiarowy obraz rejestrowany jest podczas naświetlania wiązką promieniowania rentgenowskiego badanego obiektu. W metodzie bezpośredniej cyfrowej DR rejestratorem tego promieniowania jest cyfrowy detektor pozwalający na uzyskanie wysokoczułego obrazowania przy krótkim czasie ekspozycji³.

Spektralne metody XRF wykorzystano w celu ustalenia jakościowego oraz ilościowego składu chemicznego elementów konstrukcyjnych militariów ze stopów żelaza oraz detali zdobniczych wykonanych z metali nieżelaznych. Metoda fluorescencji rentgenowskiej polega na wzniesieniu widma charakterystycznego dla danego materiału poprzez jego bombardowanie wysokoenergetyczną wiązką promieniowania rentgenowskiego. Dostarczona energia pobudza elektrony przeskakujące między powłokami – energia tych przejść jest ściśle określona i stanowi cechę diagnostyczną dla każdego pierwiastka. Zmiany rejestrowane przez detektor przedstawiane są w widmie w postaci linii, których intensywność stanowi ilustrację względnej zawartości elementu w próbce⁴.

Miecz (ryc. 2, 3, 6, 7, 9, tab. 1.1-5)

Okaz charakteryzuje nierównomierna, szerokopłaszczyznowa i wżerowa korozja, której najintensywniejsze ogniska zaobserwowano w sztychowej partii głowni. Doszło w tym miejscu do przerwania ciągłości metalicznego rdzenia obiektu. Brak także fragmentu części sztychowej brzeszczotu, poza całkowicie zmineralizowanym ułamkiem jego wierzchołka. Znacznie lepszy jest stan zachowania głowni w partii zastawy (rdzeń w stanie dobrym, o nieprzerwanej ciągłości) oraz żelaznych elementów rękojeści (jelec, głowica). Bezpośrednio po wydobyciu przedmiot pokrywała nierównomierna warstwa luźnych utworów mineralnych.

Zdecydowaną różnicę w stanie zachowania różnych części obiektu przypisać trzeba warunkom podepozycyjnym, w których znajdował się oręż. Sztychowa część głowni, zdekompletowana i mocno zniszczona przez korozję, zalegała w namulisku jeziora, gdzie procesy dekompozycyjne przebiegały bardziej agresywnie niż w przypadku reszty przedmiotu swobodnie omywanej przez wody jeziora. Mniejsza odporność korozyjna mogła wynikać też z selektywnej obróbki

³ Radiografię wykonano, wykorzystując system oparty na źródle promieniowania w postaci lampy Yxlon Smart Evo 200D (wielkość plamki ogniskowej 1 mm) oraz detektorze mobilnym z matrycą z krzemu amorficznego (a-Si) Novo 15W (rozmiar piksela 148 μm) i stację roboczą Novo Discovery 4K System. Prześwietlenia wykonane zostały przez insp. Szymona Magnowskiego z laboratorium firmy Navitest w Gdańsku.

⁴ Pomiar punktowy XRF wykonano spektrometrem Bruker M6 JetStream (katoda: rodowa Rh z optyką polikapilarną, 50kV/0.6 mA, bez filtru, okno Zr, detektor: SSD z oknem Ba, detekcja w powietrzu, czas pomiarów 300-600 s) w Interdyscyplinarnym Centrum Nowoczesnych Technologii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Pomiarów oraz opracowania wyników dokonał prof. dr hab. Piotr Targowski z Instytutu Fizyki UMK. Powierzchnie wytypowane do badania spreparowano, oczyszczając je z produktów korozji i powłok konserwatorskich.

termicznej głowni, która być może została ograniczona do sztychu. Na najlepszy stan zachowania jelca i głowicy wpływ miały zastosowane materiały (stop niskowęglowy), ale przede wszystkim ich większa grubość w porównaniu z elementami głowni. Na trzpieniu stwierdzono zmineralizowane pozostałości drewnianych okładzin uchwytu rękojeści. Na brzeszczocie nie odnotowano resztek pochwy.

Głownia miecza odkuta została z trzech elementów. Jej rdzeń wykonano najprawdopodobniej z jednokęсового płaskownika miękkiego, w miarę homogenicznego materiału niskowęglowego. Po obu stronach rdzenia dosztukowano prostopadle kilkuelementowe nakładki ostrzowe, za częścią zastawną zachodzące na trzpień i zgrzane wzdłuż jego krawędzi z rdzeniem, a na przeciwnym końcu zbiegające się ku wierzchołkowi wzdłuż nieznacznie zwężającego się sztychu, gdzie połączone zostały czytelnym, prostopadłym szwem [por. Zabiński et al. 2014: 143, 289]. Same nakładki ostrzowe miecza noszą z każdej strony wyraźne ślady warstewkowania, co może świadczyć o ich kilkakrotnym uprzednim pakietowaniu (rafinacja, homogenizacja) lub – co bardziej prawdopodobne – wielowarstwowej konstrukcji, co musiało wynikać z oszczędnego wykorzystywania wysokogatunkowej, twardej (hartownej) stali, którą ograniczono wyłącznie do samych krawędzi tnących. Nie był to jednak w czasie powstania omawianego oręża często stosowany zabieg, pospoliciej spotyka się go w starszych egzemplarzach [Tylecote, Gilmour 1986: 244-250]. Czytelny układ warstw partii ostrzowych pozwala stwierdzić, że niezależnie od ich ścieniania w kierunku krawędzi przez młotkowanie, w nadaniu im ich ostatecznego profilu decydujące znaczenie miały zabiegi szlifierskie.

Przebieg zgrzein spajających nakładki ostrzowe z rdzeniem mniej więcej pokrywa się z przebiegiem krawędzi płytkiego zbrocza. Odslonięty w niektórych miejscach rdzeń środkowej partii głowni ma strukturę włóknistą, co świadczy o jego starannej rafinacji przez wielokrotne przekucie, które doprowadziło do ujednorodnienia metalu oraz wyciśnięcia z materiału części zanieczyszczeń i elongacji pozostałych wtrąceń żużla (ich obecność wynikała z zastosowanego procesu hutniczego, w oparciu o który otrzymano materiał). Głownia mogła zostać poddana selektywnemu hartowaniu, które objęło część sztychową. Zastosowanie takiego zabiegu mogło wpłynąć na obniżoną odporność korozyjną partii brzeszczotu obrobionej termicznie [Sudhakar et al. 2018]. Stosowanie metody hartowania głowni na części jej długości stwierdzone zostało w przypadku podobnych egzemplarzy [Hošek, Košta 2014: 277-279].

Na obu płazach miecza znajdują się pozostałości po inkrustacjach wykonanych żelaznym drutem. Z jednej strony przyjmują one postać umieszczonej między krawędziami zbrocza plecionki obecnej na około 70% długości brzeszczotu. Plecionka ta składała się z wielokrotnie krzyżujących się linii tworzących strefy połączonych rombów i trójkątów oddzielonych poprzeczkami. Ze względu na stan obiektu nie było możliwe odtworzenie jej wyglądu na całej długości. Po przeciwnej stronie umieszczono ciąg znaków: dwa symbole Ω zwrócone ramionami ku

mosiężnemu krzyżowi, a dalej w kierunku sztychu kompozycji czterech kropek oraz trzech esownic⁵. Cała ta kompozycja zajmuje ponad 50% długości głowni. Charakter śladów zaobserwowanych na powierzchni miecza wskazuje na przy mocowanie inkrustacji poprzez wkucie na gorąco znaków w nabity w powierzchni brzeszczotu zarys, ewentualnie w powierzchnię niespreparowaną [Moilanen 2015: 218-224]. Sam materiał zdobienia zachował się w formie szczątkowej, jednak obserwacje mikroskopowe pozwoliły na ustalenie, że wykonano je drutem z żelaza fosforowego oraz (w większości) nieskręcanym dziwerowanym drutem, który w przekroju tworzył 5-warstwowy laminat nisko- i wysokofosforowy [Kucypera 2019a: 425-427]. Wspomniany znak krzyża laskowanego w żółtym kolorze, zaobserwowany na jednym z płazów w zastawnej części głowni, wykonano, wciskając drut mosiężny w uprzednio podcięte w jaskółczy ogon rowki (tab. 1.5) [por. Hošek, Košta 2014: 281-282].

Sztabkowaty jelec miecza jest odkuwką jednokęsovą, w której przebito otwór do zamocowania go na głowni. Otwór ten z jednej strony jest tak poszerzony, że chowają się wewnątrz niego końce ostrzy broni. Cechuje go włóknisty pokrój, który świadczy o wykorzystaniu homogenizowanego wskutek wielokrotnego przekuwania materiału dobrej jakości. Jednodzielna, lita głowica, zaopatrzona została w zwężający się ku górze centralny otwór, w który wpuszczona została dystalna część trzpienia. Jej wierzchołek zakuto na górnej powierzchni głowicy, tworząc proste i solidne połączenie między elementami. Głowica nie nosi śladów włóknistości, co świadczy o wykorzystaniu do jej odkucia pośledniejszego materiału, który nie został poddany starannemu oczyszczeniu i ujednorodnieniu [Kucypera 2019b: 313; Hošek, Košta 2014: 285].

Elementy konstrukcyjne poddane analizie składu chemicznego charakteryzują się różnymi zestawami pierwiastków śladowych. W niektórych przypadkach zróżnicowana jest też ich koncentracja w stopie. Na tej podstawie można wnioskować, że do wykonania poszczególnych części miecza oraz samej głowni posłużyły materiały pochodzącymi z różnych złóż żelazonośnych, możliwe że z różnych ośrodków hutniczych⁶. Nie są to jednak informacje wystarczające, aby potwierdzić lub wykluczyć możliwość powstania elementów oprawy rękojeści w innym miejscu niż głownia oraz aby te ośrodki scharakteryzować.

⁵ Za cenne ustalenia poczynione w toku trwających jeszcze w czasie oddania artykułu do druku prac konserwatorskich dziękujemy mgr. inż. Łukaszowi Brońskiemu z Pracowni Konserwacji Zabytków Archeologicznych MPP na Lednicy.

⁶ Oznaczenie wapnia związane jest z procesami korozyjnymi badanych przedmiotów. Pierwiastek ten nie jest obecny w składzie badanych stopów żelaznych i nieżelaznych. Obecność wolframu w pomiarach jest w całości niepewna.

Czekan (ryc. 4, 5, 8, 10, tab. 1.6-10)

Żeleźce czekana cechują równomierne, powierzchniowe oraz wżerowe zmiany korozyjne. Po wydobyciu z jeziora pokrywały go także zróżnicowane nawarstwienia mineralne powstałe w wyniku oddziaływania metalu ze środowiskiem wodnym, w którym przedmiot zalegał. Rdzeń metaliczny jest w średnim stanie, do przerwania jego ciągłości doszło w najcieńszej partii broni, tj. na ostrzu. Żeleźce zachowało się w miarę kompletne, odnotowano tylko jeden większy ubytek. Brak jest ułamanej dolnej części ostrza, która pierwotnie była zdecydowanie dłuższa [por. Kotowicz 2018: 110]. Bogaty ornament wykonany metalami nieżelaznymi jest zdekompletowany, znacznie lepiej zachowały się starannie wycięte bruzdy, w które wklepane były pierwotnie druty srebrne i miedziane, i które pozwalają na dość kompletną rekonstrukcję dekoracji zdobiącej powierzchnię okazu. Oręż zaopatrzony był w toporzysko, którego szczątkowe pozostałości wraz z resztkami zmineralizowanej skóry odnaleziono wewnątrz osady.

Exemplarz wykuty został z trzech kęsów metalu. Dwa fragmenty budujące szyjkę żeleźca zgrzane są wzdłuż szyjki i skośnie w miejscu jej przejścia w ostrze. Całe szerokie ostrze uformowano z jednego kęsa żelaza przez jego wachlarzowate, asymetryczne rozkucie. Trzeci kawałek metalu zawinięto wokół szyjki, formując w ten sposób osadę wraz z obuchem. Z tej samej masy metalu wyciągnięto wąsy oraz ukształtowano słabo wyodrębniony młotek. Pozostałe zaobserwowane zgrzeiny mają pochodzenie materiałowe i powstały w wyniku kilkakrotnego przekuwania metalu. Z powodu degradacji korozyjnej ostrza oraz braku jego dolnej partii nie można ocenić, czy na samą krawędź tnącą wykorzystano twardszą stal. Jeśli ostrze żeleźca miało pierwotnie taką nakładkę, musiała być ona wykonana z płaskownika niewielkiej szerokości, dogrzonej ukośnie, ewentualnie obejmująco lub w formie klina [Kucypera, Rybka 2013: 308-309, tabl. IV; Kotowicz 2018: 23-28].

Materiał wykorzystany do wykonania ostrza wyraźnie różni się pod względem kompozycji pierwiastków śladowych od pozostałych dwóch fragmentów, z których odkuto żeleźce. Pomiary dla osady i szyjki czekana charakteryzują tożsame zestawienia pierwiastków śladowych, jednak pewne różnice w koncentracji części z nich (arsen, nikiel)⁷ utrudniają jednoznaczną ocenę co do wspólnego pochodzenia stopów żelaza użytych do ich wykonania.

Oba lica żeleźca pokrywa sieć podciętych bruzd układających się w równoległe pasma. Chociaż nacięcia te wykonane zostały z ogromną starannością, miały one wyłącznie technologiczne zastosowanie. Sreparowaną w ten sposób po-

⁷ Mangan to pierwiastek pospolicie obecny w rudach żelaza eksploatowanych we wczesnym średniowieczu. Jego wyższa koncentracja jest bardzo pożądana w hutnictwie dymarskim, ale do samego metalu przenikał on w procesie redukcji w stopniu znikomym, stanowiąc poniżej 0,05% składu stopu [Żabiński et al. 2016: 117]. Jego większa zawartość w materiale osady topora oznacza, że pomiar objął wtrącenie żużla lub że doszło do częściowego przejścia metalu przez fazę ciekłą.

wierzchnię nabijano na zimno drutami z metali nieżelaznych, prawdopodobnie wyżarzano w celu zmiękczenia metalu utwardzonego przez zgniot, a następnie zagładzano, uzyskując pola całkowicie lub częściowo przykryte warstwą plate-runku. Omawiana metoda stanowi rzadszy z dwóch wariantów techniki nazywanej damaskiną lub tauszowaniem [Breiding 2003].

Na obie powierzchnie naniesiono drut srebrny uzupełniony aplikacjami z drutu miedzianego. Oba lica żelźca zaopatrzone zostały w lustrzanie odbite ornamenty podzielone na trzy strefy: dwie ze znakami geometrycznymi i zgeometryzowanymi, tj. pole osady z młotkiem i wężami z centralnie umieszczonym wizerunkiem przypominającym ptaka lub węzeł (po obu stronach częściowo zatarty)⁸ i dużym ornamentem schodkowym na młotku oraz trójkątne pole na szyjce z kółkami z kropką w środku, a także pole na ostrzu z przedstawieniem zoomorficznym w postaci jelenia z łbem zwróconym ku tułowiowi. Ze względu na stan zachowania ostrza nie sposób powiedzieć, czy obok zwierzęcia znajdował się jeszcze jakiś wizerunek lub znak. Otaczające jelenia tło pozostawiono niewypełnione. Ponadto w dolnej części ostrza stwierdzono ślady po ornamentach krzyżujących się linii odciętych liniami poprzecznymi. Odrębność każdej ze stref zaznaczona została bordiurą.

Drut srebrny nabity został przede wszystkim w ściśle przylegających do siebie rzędach dla uzyskania powierzchni czy pasm jednolicie srebrnych. W kilku miejscach wykorzystany został do zaznaczenia obrysów lub wypełnień znaków geometrycznych (znaki na osadzie, kółka z kropką w środku) oraz jeleni. Towarzystwo mu drut miedziany, wypełniający puste przestrzenie wewnątrz i wokół znaków, pomiędzy nimi oraz wewnątrz figur. Z drutu miedzianego wykonano także poprzeczne pasma i ornament schodkowy na młotku czekana. Do zaznaczenia zewnętrznych i wewnętrznych granic bordiur wykorzystano skrętkę drutu srebrnego i miedzianego.

Obecność rtęci w pomiarze wykonanym na srebrnej części tauszunku może sugerować pozaeuropejskie pochodzenie przynajmniej części wsadu odlewniczego, z którego produktu otrzymano drut. Ślady rtęci oznaczać mogą bowiem zastosowanie amalgamacji przy produkcji srebra, która była wykorzystywana w świecie arabskim [Hensel 2013: 144; Levey 1968: 7-8]. Czyste srebro jest zbyt miękkie do zastosowania w omawianych technikach zdobniczych, stąd stosowanie kilkuprocentowego dodatku miedzi, która poprawia własności mechaniczne stopu. Podwyższona zawartość srebra w pomiarze dla miedzi wynika natomiast ze szczątkowego zachowania jej powłoki oraz bezpośredniego sąsiedztwa srebrnego tauszunku (ze srebrem wiązać też należy śladowy odczyt złota).

⁸ Ze względu na stan zachowania przedmiotu oraz na rozbieżności między uzyskanym obrazem radiograficznym a obserwacjami mikroskopowymi symbol umieszczony na obu ściankach osady można interpretować na różne sposoby. Autorzy opracowania skłaniają się ku figurze ptakopodobnej lub węzłowi, przedstawionym na ryc. 10.



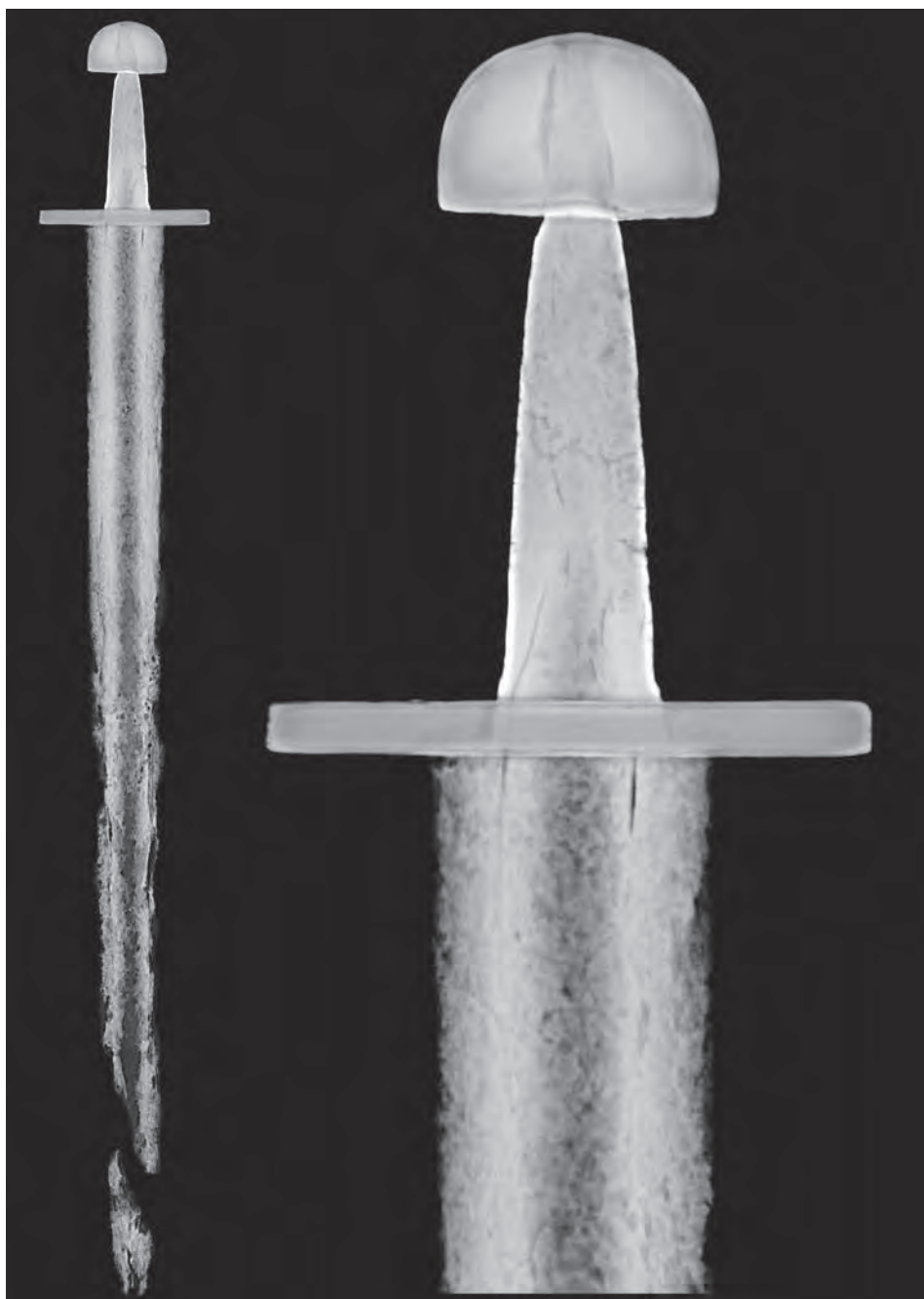
Ryc. 4. Dziekanowice, gm. Łubowo, pow. gnieźnieński. Żelężce czekana „typu Lunow” odnalezione w relikwach mostu łączącego wyspę Ledniczkę z lądem. Fot. W. Ochotny

FIG. 4. Dziekanowice, Łubowo Comm., Gniezno Distr. “Lunow type” hammer axe head found within the relics of the bridge connecting the island of Ledniczka with the mainland. Photo by W. Ochotny



RYC. 5. Dziekanowice, gm. Łubowo, pow. gnieźnieński. Detale żelźca czekana wydobytego z relik-
tów mostu łączącego wyspę Ledniczkę z łądem: 1 – spód, odcinek między osadą a ostrzem, 2 – lico
prawe, osada z szyjką, 3 – lico prawe, ostrze, 4 – lico lewe, osada i fragment szyjki, 5 – lico lewe,
ostrze i fragment szyjki. Skala różna. Fot. W. Ochotny

FIG. 5. Dziekanowice, Łubowo Comm., Gniezno Distr. Details of the hammer axe head from the relics
of the bridge connecting Ledniczka with the mainland: 1 – bottom side – section between the socket
and the blade, 2 – right side – socket and neck, 3 – right side – blade, 4 – left side – socket and neck,
5 – left side – socket and a fragment of the neck. The scale varies. Photo by W. Ochotny



RYC. 6. Rentgenogram miecza wydobytego z reliktywów mostu wiodącego na wyspę Ledniczkę na jeziorze Lednica. Od lewej: cały miecz, rękojeść. Fot. S. Magnowski, oprac. P. Kucypera

FIG. 6. Radiograph of the sword discovered within the relics of the Ledniczka bridge on Lake Lednica. From left: whole sword, hilt. Photo by S. Magnowski, Ed. by P. Kucypera



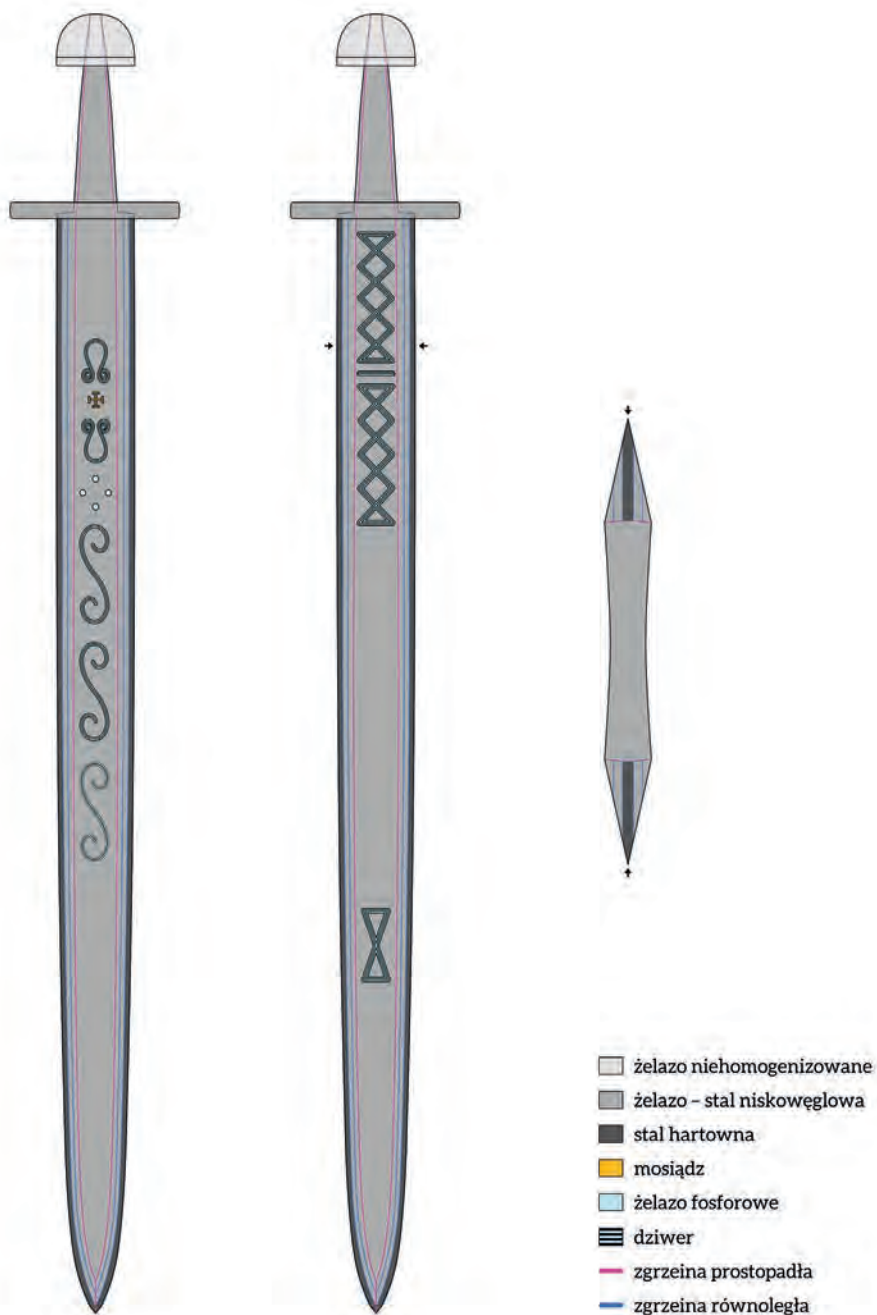
RYC. 7. Rentgenogram miecza wydobytego z reliktyw mostu wiodącego na wyspę Ledniczkę na jeziorze Lednica. Od lewej: zastawa, środkowa część głowni, sztych. Fot. S. Magnowski, oprac. P. Kucypera

FIG. 7. Radiograph of the sword discovered within the relics of the Ledniczka bridge on Lake Lednica. From left: blade near the lower guard, central part of the blade, blade near the tip. Photo by S. Magnowski, Ed. by P. Kucypera



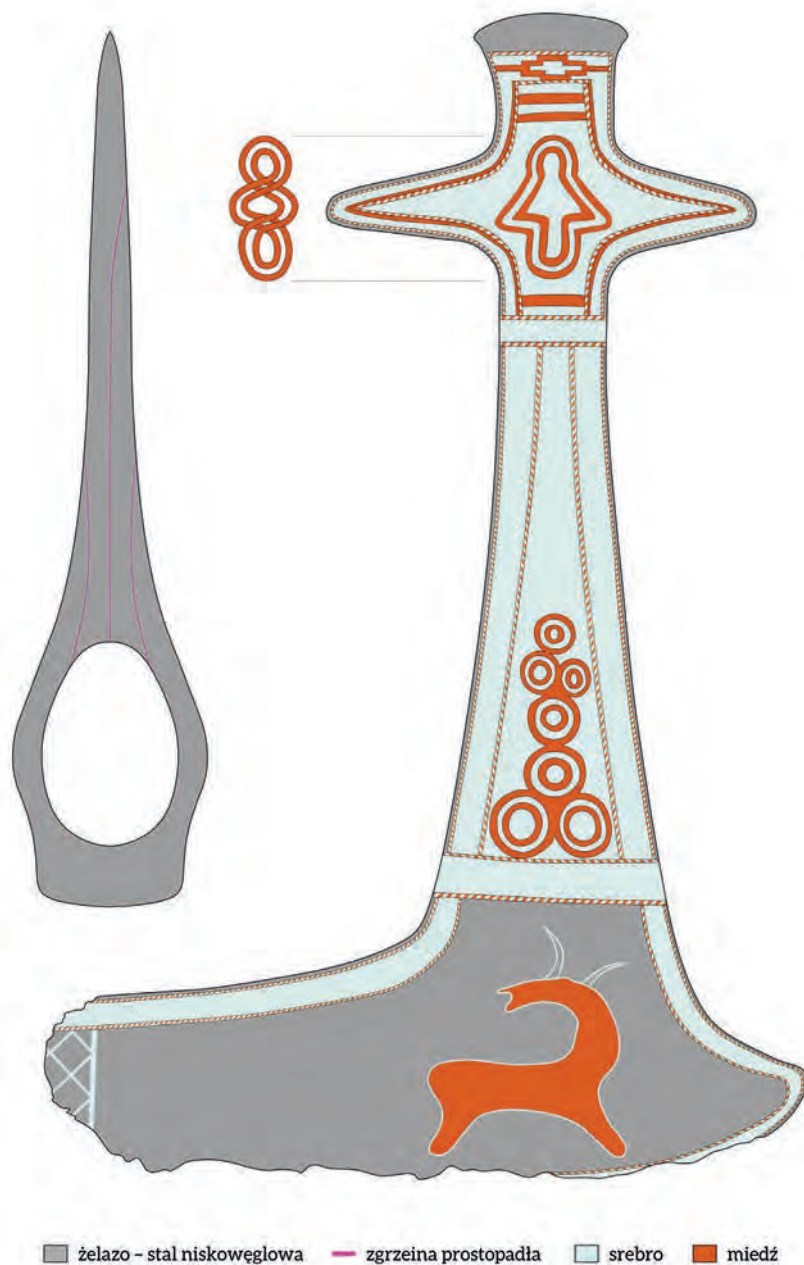
Ryc. 8. Rentgenogram żelźca czekana wydobytego z reliktyw mostu wiodącego na wyspę Ledniczkę na jeziorze Lednica. Od lewej: rzut z góry, prawe lico. Fot. S. Magnowski, oprac. P. Kucypera

FIG. 8. Radiograph of the axe discovered within the relics of the Ledniczka bridge on Lake Lednica. From left: view from the top, right side. Photo by S. Magnowski, Ed. by P. Kucypera



Ryc. 9. Schemat konstrukcji i zdobień miecza wydobytego z przestrzeni reliktyw mostu wiodącego na wyspę Ledniczkę na jeziorze Lednica. Rys. P. Kucypera

FIG. 9. Construction and decoration scheme of the sword discovered within the relics of the Ledniczka bridge on Lake Lednica. Drawing by P. Kucypera



RYC. 10. Schemat konstrukcji żelęzca czekana z reliktywów mostu wodącego na wyspę Ledniczkkę na jeziorze Lednica oraz rekonstrukcja zdobienia na licach żelęzca. Rys. P. Kucypera

FIG. 10. Construction scheme of the hammer axe head discovered within the relics of the Ledniczka bridge and the reconstruction of non-ferrous decorations on the axe head's sides. Drawing by P. Kucypera

TABELA 1. Zestawienie wyników analizy składu chemicznego wybranych części żelaznych i nieżelaznych badanych przedmiotów (udział procentowy). Oprac. P. Targowski, P. Kucypera

TABLE 1. Results of the analysis of the chemical composition of selected ferrous and non-ferrous parts of the investigated objects (in percent). Elaboration by P. Targowski, P. Kucypera

Lp.	Pomiar	Fe	Ca	W	Pb	Mn	Cr	As	Cu	Ni	Zn	Ag	Pt	Hg	Bi	Au	Co
1.	miecz ostrze	99,200	0,440	0,020	0,010	0,020	0,020	0,180	0,020	0,090							
2.	miecz rdzeń	99,070	0,790	0,020	0,020	0,040	0,020		0,010	0,030							
3.	miecz jelec	99,465	0,447	0,024	0,021	0,017	0,014	0,009	0,003								
4.	miecz głowica	98,590	1,281	0,016	0,010	0,010	0,013	0,049	0,015	0,012	0,004						
5.	miecz krzyż	10,250	1,030		0,050	0,010		0,250	68,740	0,010	19,660						
6.	czekan osada	99,200	0,333	0,029	0,020	0,291	0,012	0,084	0,020	0,011							
7.	czekan szyjka	99,842	0,067	0,035	0,009	0,022	0,014	0,005	0,005	0,002							
8.	czekan ostrze	99,827	0,083	0,034	0,011		0,015	0,026	0,005								
9.	czekan tauschunek srebrny	1,537			0,190	0,002			4,499			93,421	0,058	0,008	0,129	0,069	0,087
10.	czekan tauschunek miedziany	1,115	1,392		0,100	0,003			91,914		0,009	5,402			0,042	0,022	

Podsumowanie

Przeprowadzone badania archeometalurgiczne pozwoliły na poczynienie szeregu ustaleń dotyczących technologii wykonania omawianych militariów. Miecz jest wyrobem kompozytowym, odkutym ze stopów żelaza o różnych własnościach mechanicznych oraz chemicznych. Żelazne elementy oprawy rękojeści są odkuwkami jednokęsowymi, natomiast głównie wykonano z trzech części konstrukcyjnych: żelaznego rdzenia oraz laminowanych nakładek ostrzy. Wszystkie wykorzystane do jego produkcji metale są dobrej jakości, poddane homogenizacji i oczyszczeniu metodą wielokrotnego przekuwania (wyłączając głowicę). Obecność wielowarstwowych prętów ostrzowych (zakładając słuszność tej interpretacji) wskazuje na oszczędność w wykorzystaniu wysokogatunkowej, hartowanej stali. Metoda ta spotykana była częściej w egzemplarzach o starszej metryce. Głownia na obu płazach była bogato dekorowana dziwerowanym drutem żelaznym oraz drutem mosiężnym, z którego wykonano zdobienia w postaci krzyża laskowanego otoczonego symbolami Ω , kropek i esownic oraz ornamentu plecionkowego. Zdobienia te naniesiono, stosując dwie różne techniki inkrustacji.

Żeleźce czekana, również kompozytowe, powstało przez zawinięcie płaskownika tulei wokół dwukęsowej szyjki. Młotkowaty obuch oraz wydatne wąsy wyciągnięte zostały z masy osady, nie dosztukowano ich osobno. Jeden z kęsów szyjki przechodzi w szerokie, asymetryczne ostrze. Nie stwierdzono obecności stalowej nakładki krawędzi tnącej. Wszystkie stopy żelaza, które wykorzystano do wykucia broni, poddane zostały homogenizacji i rafinacji za pomocą pakietowania. Oba lica żeleźca pokrywał bogaty ornament w postaci tauszowania srebrnym i miedzianym drutem, uporządkowany w trzy pola otoczone bordiurami, zdobione motywami geometrycznymi oraz zwierzęcymi.

Miecz, przy stosunkowo dobrych walorach użytkowych, musiał przede wszystkim pełnić rolę legitymizującą wysoce elitarny status jego posiadacza. Zważywszy na przyporządkowanie typologiczne oręża wolno przypuszczać, że pozostawał on w użytku przez wiele lat, zupełnie możliwe, że więcej niż jedno stulecie. Okazały czekan musiał mieć równie wyjątkowy charakter. Ze względu na bogactwo oraz rozmieszczenie zdobień (bordiura biegnąca wzdłuż krawędzi tnącej) dalece wątpliwe jest, aby powstał przede wszystkim z myślą o jego wykorzystaniu w boju. Wykonana z tak niezwykłą kunsztownością broń świadczyła prymarnie o znamienitości jej właściciela. Niebłaha musiała być także powody, dla których oba przedmioty postanowiono zdeponować w wodach jeziora Lednica.

Bibliografia

Literatura

- BIBORSKI M., STĘPIŃSKI J., ŻABIŃSKI G.
 2011 *Badania metaloznawcze sześciu mieczy z Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy*, [w:] *Miecze średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Gieczu*, red. A.M. Wyrwa, P. Sankiewicz, P. Pudło, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 3, Dziekanowice-Lednica, s. 81-120.
- BREIDING D.H.
 2003 *Techniques of Decoration on Arms and Armor*, [w:] *Heilbrunn Timeline of Art History*, New York, http://www.metmuseum.org/toah/hd/dect/hd_dect.htm [10.07.2021].
- HENSEL Z.
 2013 *Analizy metaloznawcze monet i biżuterii z Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy*, [w:] *Monety i biżuteria z Ostrowa Lednickiego i okolicy*, red. A. Tabaka, A.M. Wyrwa, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 5, Lednica, s. 143-174.
- HOŠEK J., KOŠTA J.
 2014 *Early Medieval Swords from Mikulčice*, Spisy archeologického ústavu AV ČR Brno, t. 42, *Studien zum Burgwall von Mikulčice*, Bd. 10, Brno.
- KOLA A., RADKA K., WILKE G.
 2016 *Mosty traktu „poznáňského” i „gnieźnińskiego” w świetle badań podwodnych (1982-2015)*, [w:] *Ostrów Lednicki. Rezydencjonalno-stołeczny ośrodek pierwszych Piastów*, red. Z. Kurnatowska, A.M. Wyrwa, *Origines Polonorum*, t. 9, Warszawa, s. 107-130.
- KOLA A., WILKE G. (RED.)
 2014 *Wczesnośredniowieczne mosty przy Ostrowie Lednickim*, t. 2: *Mosty traktu poznáňského (wyniki archeologicznych badań podwodnych prowadzonych w latach 1986-2003)*, Kraków.
- KOTOWICZ P.N.
 2018 *Early Medieval Axes from the Territory of Poland*, Moravia Magna, Seria Polona, t. 5, Kraków.
- KUCYPERA P.
 2019a *Pattern-Welding Technique in Early Medieval Sword-Making*, [w:] *Bewaffnung und Reiterausrüstung des 8. bis 10. Jahrhunderts in Mitteleuropa. Waffenform und Waffenbeigaben bei den mährischen Slawen und in den Nachbarländern*, red. L. Poláček, P. Kouřil, Spisy archeologického ústavu AV ČR Brno, t. 50, *Internationale Tagungen in Mikulčice*, Bd. 9, Brno, s. 421-430.
- KUCYPERA P.
 2019b *Żelazne elementy uzbrojenia i oporządzenia jeździeckiego w świetle badań metaloznawczych*, [w:] *Ciepłe. Elitarna nekropola wczesnośredniowieczna na Pomorzu Wschodnim*, red. S. Wadył, Gdańsk, s. 305-342.

KUCYPERA P., PUDEŁO P.

2011 *Badania radiograficzne mieczy ze zbiorów Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy*, [w:] *Miecze średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, red. A.M. Wyrwa, P. Sankiewicz, P. Pudło, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 3, Dziekanowice-Lednica, s. 121-132.

KUCYPERA P., PUDEŁO P., KURASIŃSKI T.

2011 *Problem rozwoju jednolitych głowic mieczowych między połową IX a połową XIII w.*, [w:] *Cum Arma per Aeva. Uzbrojenie indywidualne na przestrzeni dziejów*, red. P. Kucypera, P. Pudło, Toruń, s. 74-90.

KUCYPERA P., RYBKA K.

2013 *Badania materiałowe żelaziec toporów*, [w:] *Topory średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, red. P. Sankiewicz, A.M. Wyrwa, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 2, Lednica, s. 303-350.

KUCYPERA P., RYBKA K.

2018 *Badania archeometalurgiczne grotów broni drzewcowej i elementów uzbrojenia ochronnego*, [w:] *Broń drzewcowa i uzbrojenie ochronne z Ostrowa Lednickiego, Giecza i Grzybowa*, red. P. Sankiewicz, A.M. Wyrwa, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 1, Lednica, s. 269-330.

KURNATOWSKA Z. (RED.)

2000 *Wczesnośredniowieczne mosty przy Ostrowie Lednickim*, t. 1: *Mosty traktu gnieźnieńskiego*, Biblioteka Studiów Lednickich, t. 5, Lednica-Toruń.

LEVEY M.

1967 *Medieval Arabic Minting of Gold and Silver Coins*, „Chymia”, vol. 12, s. 3-14.

MICHALAK A., KOTOWICZ P.N.

2014 *Wczesnośredniowieczne cmentarzysko z okolic Bukowca w powiecie międzyrzeckim, czyli o pewnym odkryciu w archiwum w Wünsdorfie*, „Wielkopolskie Sprawozdania Archeologiczne”, t. 15, s. 107-123.

MOILANEN M.

2015 *Marks of Fire, Value and Faith. Swords with Ferrous Inlays in Finland during the Late Iron Age (ca. 700-1200 AD)*, „Archaeologia Medii Aevi Finlandiae”, vol. 21, Turku.

PAULSEN P.

1939 *Axt und Kreuz bei den Nordgermanen*, Deutsches Ahnenerbe, Reihe B: Fachwissenschaftliche Untersuchungen. Abt: Arbeiten zur Ur-, Vor- und Frühgeschichte, Bd 1, Berlin.

PETERSEN J.

1919 *De norske vikingesverd. En typologisk-kronologisk studie over vikingetidens vaaben*, Skrifter utg. av Videnskapsselskapet i Kristiania. Hist.-fil. Klasse, no. 1, Kristiania.

PYDYN A., POPEK M.

2020 *A third medieval bridge on Lake Lednica, Greater Poland*, „Archeologické rozhledy”, t. 72, nr 3, s. 450-469.

- RADEK T.
2013 *Analiza materiałowa skór z toporów średniowiecznych*, [w:] *Topory średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, red. P. Sankiewicz, A.M. Wyrwa, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 2, Lednica, s. 297-302.
- SANKIEWICZ P., WYRWA A.M. (RED.)
2013 *Topory średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 2, Lednica.
- SANKIEWICZ P., WYRWA A.M. (RED.)
2018 *Broń drzewcowa i uzbrojenie ochronne z Ostrowa Lednickiego, Giecza i Grzybowo*, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 1, Lednica.
- STĘPNIK T.
2011 *Drewniane okładziny rękojeści mieczy*, [w:] *Miecze średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, red. A.M. Wyrwa, P. Sankiewicz, P. Pudło, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 3, Dziekanowice-Lednica, s. 71-80.
- STĘPNIK T.
2013 *Drewniane toporzyska w świetle analizy surowcowej*, [w:] *Topory średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, red. P. Sankiewicz, A.M. Wyrwa, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1 2, Lednica, s. 253-268.
- STĘPNIK T.
2018 *Drzewca włócznie w świetle analizy surowcowej*, [w:] *Broń drzewcowa i uzbrojenie ochronne z Ostrowa Lednickiego, Giecza i Grzybowo*, red. P. Sankiewicz, A.M. Wyrwa, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 1, Lednica, s. 269-330.
- SUDHAKAR I., VISHNU VARDHAN Y., SRUTHI P., HARSHIT P.V.S., SANTOSH KUMAR S., VIJAY PRAKASH V.
2018 *Study on Corrosion Behavior of Heat Treated High Carbon Low Alloy Steel*, "Materials Today: Proceedings", vol. 5/2/1, s. 3919-3925, <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.648>.
- TYLECOTE R., GILMOUR B.
1986 *The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons*, BAR British Series, vol. 155, Oxford.
- WIĘCEK B., OLBRYCHT R., PUDEŁO P., ŚWIĄTCZAK T.
2011 *Badania termowizyjne mieczy lednickich*, [w:] *Miecze średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, red. A.M. Wyrwa, P. Sankiewicz, P. Pudło, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 3, Dziekanowice-Lednica, s. 133-140.
- WYRWA A.M., SANKIEWICZ P., PUDEŁO P. (RED.)
2011 *Miecze średniowieczne z Ostrowa Lednickiego i Giecza*, Biblioteka Studiów Lednickich, seria B1, t. 3, Dziekanowice-Lednica.
- ŻABIŃSKI G., RZESZOTARSKA-NOWAKIEWICZ A., NOWAKIEWICZ T., KONTNY B., KUCYPERA P.
2016 *A possible Roman Period sword from Grzybowo (Grzybowen), Masuria, NE Poland. The archaeological and technological context*, "Gladius", vol. 36, s. 97-140.
- ŻABIŃSKI G., STĘPIŃSKI J., BIBORSKI M.
2014 *Technology of Sword Blades from the La Tène Period to the Early Modern Age. The case of what is now Poland*, Oxford.

Manufacture technology of early medieval sword and hammer axe from the relics of the bridge leading to the Ledniczka island on Lake Lednica in the light of archaeometallurgical investigations

S u m m a r y

Within the relics of the recently discovered medieval bridge connecting the island of Ledniczka on Lake Lednica with the mainland, two striking specimens of early medieval arms were discovered during underwater excavations conducted in 2020: a sword and a hammer axe. The sword is characterized by a wide blade with parallel edges and a shallow fuller, bar-shaped lower guard and a semi-circular, flat pommel. It was classified as the older variant of J. Petersen's type X and dated to the 2nd half of the 9th century, whereas the hammer axe head, which represents the so-called Lunow type introduced by P. Paulsen, is distinguished by a broad, asymmetrical blade with a "nose-like" extension in its upper part and a socket with prominent lugs and a hammer-shaped butt. This axe head belongs to the variant IIIB.5.30 by P.N. Kotowicz and was dated to the 2nd half of the 10th – 1st half of the 11th centuries. Both weapons bear traces of ornamentations with non-ferrous metals. The artefacts were subjected to non-destructive archaeometallurgical analyses comprising macro- and microscopic inspections, radiographic imaging as well as X-ray fluorescence spectroscopy.

The sword is a composite product manufactured from iron alloys characterized by various mechanical and chemical properties. The iron elements of the hilt were forged from single pieces of metal, while the blade was made from three structural parts – an iron core and laminated edge rods. All materials used for its production are of good quality, homogenized and cleaned by means of faggoting (excluding the pommel). The presence of multi-layered edges (assuming the correctness of this interpretation) indicates restraint in the use of high-quality, hardenable steel. This method was much more frequently used in older sword blades. On both flats, the blade was richly decorated with non-twisted pattern-welded iron strips and a brass wire. These decorations were applied using different inlaying techniques – the iron inlay was forged-welded onto the blade's surface, whereas the brass wire was cold-pressed into undercut grooves. On one side the ornament has a form of a woven lattice with vertical lines, while on the other it consists of Ω symbols, dots and S-shaped volutes and a cross potent.

The hammer axe head was also manufactured from several pieces of iron. The socket was created by wrapping a bar around a two-piece neck. The hammer and the lugs were raised from the mass of the socket walls; they were not forge-welded separately. One of the neck pieces was drawn into the broad, asymmetrical blade. A separate steel cutting edge was not identified. All the iron alloys used to forge this weapon had been refined by means of faggoting. Both sides of the head were covered with silver and copper decorations, and organized into three sections with geometric and animal motifs. This colour plating was created using the technique of damascening, which consists of hammering non-ferrous wires into undercut cavities and burnishing them flat with the surface.


The sword, with its relatively good practical values, had to primarily play the role of legitimizing the highly elite status of its holder. Given its typological identification, it may be assumed that it remained in use for many years, quite possibly for more than a century. The sumptuous hammer axe must have had an equally unique character. Due to the richness and arrangement of its decorations (the bordure running along the cutting edge), it is very doubtful that it was created for use in combat. This weapon, made with extraordinary craftsman-


ship, was first and foremost a sign of its owner's eminence. The reasons for the depositing of both of these arms in the waters of Lake Lednica also had to bear an exalted significance.


Translated by Paweł Kucypera

otrzymano (received): 18.08.2021; zrecenzowano (revised): 20.08.2021; zaakceptowano (accepted): 06.12.2021

mgr Paweł Kucypera
Uniwersytet Łódzki
Instytut Archeologii
Narutowicza 65
90-131 Łódź
email: squaredrops@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-1311-0490>

dr hab. Andrzej Pydyn, prof. UMK
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Centrum Archeologii Podwodnej
Szosa Bydgoska 44/48
87-100 Toruń
e-mail: pydyn@umk.pl
 <https://orcid.org/0000-0001-9478-9863>

dr Mateusz Popek
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Centrum Archeologii Podwodnej
Szosa Bydgoska 44/48
87-100 Toruń
e-mail: mpopek@umk.pl
 <https://orcid.org/0000-0002-5490-3585>

mgr Konrad Lewek
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Centrum Archeologii Podwodnej
Szosa Bydgoska 44/48
87-100 Toruń
e-mail: konrad_lewek@op.pl
 <https://orcid.org/0000-0001-7291-2744>