AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE

BIOGRAFIA BRĄZU
ARCHEOMETALURGICZNE STUDIUM ODLEWNICTWA Z PÓŹNEJ EPOKI BRĄZU I WCZESNEJ EPOKI ŻELAZA W WIELKOPOLSCE

Pod redakcją
ALDONY GARBACZ-KLEMPKI
MARTY WARDAS-LASOŃ
KAROLA DZIĘGIELEWSKIEGO

KRAKÓW 2026

Recenzenci:
dr hab. inż. Edward Czekaj, prof. KIT
dr hab. Jacek Gackowski, prof. UMK

ISBN 978-83-69090-00-9

PROFIL ARCHEO



Wydawnictwo Naukowe „Akapit", Kraków
tel. 608 024 572; www.akapit.krakow.pl
e-mail: wn@akapit.krakow.pl

Finansowanie NCN 2017/26/E/HS3/00656

SPIS TREŚCI

I. Wprowadzenie

1. Koncepcja badań 5
2. Archeometalurgia. Stan i potrzeby badań 10
3. Metodyka badań archeometalurgicznych 12
4. Literatura do rozdziału I 18

II. Archeologiczne studia nad zabytkami z pracowni odlewniczych, charakterystyka kulturowo-chronologiczna

1. Kontekst archeologiczny 21
2. Literatura do rozdziału II 27

III. Analiza rozwoju odlewnictwa w kontekście stosowanych tworzyw i ich własności

1. Początki metalurgii i odlewnictwa miedzi oraz stopów miedzi 30
2. Charakterystyka stopów miedzi 34
   - 2.1. Główne grupy miedzi i stopów miedzi 34
   - 2.2. Krystalizacja stopów miedzi 34
   - 2.3. Układy równowagi cieplno-fazowej stopów miedzi 35
   - 2.4. Wpływ dodatków stopowych na właściwości stopów miedzi 40
   - 2.5. Analiza właściwości brązów cynowych w odniesieniu do stopów z epoki brązu na podstawie wytopów eksperymentalnych 43
3. Wyroby ze stopów miedzi w późnej epoce brązu Hallstatt A-B 52
4. Wyroby ze stopów miedzi na przełomie epoki brązu i wczesnej epoki żelaza: Hallstatt B3/C1 87
5. Wyroby ze stopów miedzi we wczesnej epoce żelaza: Hallstatt C1-D1 159
6. Wyroby ze stopów miedzi we wczesnej epoce żelaza Hallstatt D1-D2 220
7. Pochodzenie surowca wybranych wyrobów z miedzi i stopów miedzi w świetle badań izotopowych 267
8. Literatura do rozdziału III 273

IV. Analiza stanu zaawansowania technologii odlewnictwa pod względem technologii formy, rozróżnienia pod względem stosowanego surowca i konstrukcji formy

1. Technologia i formy odlewnicze późnej epoki brązu i wczesnej epoki żelaza 276
   - 1.1. Formy dzielone trwałe kamienne, gliniane i metalowe 277
   - 1.2. Formy jednorazowe gliniane 279
   - 1.3. Badania technologii i form odlewniczych 280
2. Metodyka badawcza 280
3. Formy odlewnicze w późnej epoce brązu Hallstatt A-B 286
4. Formy odlewnicze na przełomie epoki brązu i wczesnej epoki żelaza: Hallstatt B3/C1 358
5. Formy odlewnicze we wczesnej epoce żelaza: Hallstatt C1-D1 371
6. Formy odlewnicze we wczesnej epoce żelaza Hallstatt D1-D2 415
7. Literatura do rozdziału IV 428

V. Analiza możliwości rekonstrukcji technik wytwórczości brązowniczej (odlewniczej) z wykorzystaniem narzędzi i metod eksperymentalnych i cyfrowych

1. Metodyka badawcza 438
2. Technologia odlewnictwa w późnej epoce brązu Hallstatt A-B 446
3. Technologia odlewnictwa na przełomie epoki brązu i wczesnej epoki żelaza: Hallstatt B3/C1.....471
4. Technologia odlewnictwa we wczesnej epoce żelaza: Hallstatt C1-D1 487
5. Technologia odlewnictwa we wczesnej epoce żelaza Hallstatt D1-D2 511
6. Literatura do rozdziału V.....526

VI. Człowiek i brąz

1. Metodyka badawcza 528
2. Analiza antropologiczna przepalonych szczątków odlewców z grobów kultury łużyckiej 530
3. Analiza fizyko-chemiczna kości 536
4. Literatura do rozdziału VI.....548

VII. Podsumowanie

1. Podsumowanie.....549

VIII. KATALOG

1. Wyroby metalowe.....568
2. Formy odlewnicze 631
3. Kości.....684

I. WPROWADZENIE

1. KONCEPCJA BADAŃ

Aldona Garbacz-Klempka, Patrycja Silska, Marta Wardas-Lasoń

Brąz był pierwszym użytecznym praktycznie stopem. Rozwinięcie technik odlewniczych stopów miedzi z cyną było jednym z elementów stymulujących szereg ważnych przemian społeczno–ekonomicznych, jakie miały miejsce w Europie na przestrzeni III i II tysiąclecia p.n.e. Pierwsze procesy otrzymywania miedzi i tworzenia stopów o właściwościach szczególnie przydatnych dla człowieka wynikały ze stopniowo nabywanych i rozwijanych umiejętności w zakresie metalurgii i odlewnictwa. Miedź i jej składniki stopowe dobierane były bardziej lub mniej świadomie ze względu na właściwości użytkowe, eksploatacyjne, technologiczne, odporność na korozję oraz estetyczne jak kolor i połysk (Garbacz-Klempka 2018). Okres odpowiadający upowszechnieniu się znajomości obróbki tych metali określono mianem epoki brązu.

Przejście do gospodarki wytwórczej w pradziejach, zmiana użytkowania surowców do produkcji narzędzi, broni i ozdób, związana też była ze zmianami w kulturze materialnej. Społeczeństwa pradziejowe po raz pierwszy zbliżają się do świata cywilizacji o cechach ogólnoeuropejskich (Gediga 2012).

Surowiec miedziany był jednym z najważniejszych przedmiotów dalekosiężnej wymiany handlowej w epoce brązu. Rozwój metalurgii wymagał rozbudowanej sieci kontaktów, aby zapewnić stały dopływ surowców miedzi i cyny. Na drodze wymiany docierały wówczas na tereny dzisiejszej Polski wyroby z nowego surowca wraz ze znajomością ówczesnych technik odlewnictwa brązu. Społeczności zasiedlające dorzecze Odry i Wisły dzięki kontaktom handlowym z południową strefą Europy, otrzymywały szereg przedmiotów wykonanych z brązu, które dzięki swoim właściwościom fizycznym i wartościom symbolicznym stały się uznanym miernikiem wartości. Z aspektem wartości materialnej i symbolicznej wiązane jest również zjawisko tezauryzacji wyrobów metalowych w skarbach (Dzieduszycki, 1995).

Umiejętność obróbki metalu, zwłaszcza odlewnictwa brązu, przyjęła się najwcześniej w zachodniej strefie ziem polskich. Z tego okresu znane są już formy odlewnicze trwałe kamienne i gliniane. Znano też metodę wytapianych modeli i formy gliniane niszczone. Produkowano szereg przedmiotów brązowych, m.in.: brązowe siekierki, sztylety, berła sztyletowe, bransolety i naszyjniki.

W okresie epoki brązu nastąpiło także szereg przemian w sferze wierzeń, które łączone są ze wzrostem znaczenia kultów solarnych, a do nowego postrzegania świata przyczyniła się rola ognia jako wysłannika słońca, wykorzystywanego w metalurgii i odlewnictwie. Prace przy wytopie i obróbce metali zyskały miano czynności magicznych, a sam zawód, jeden z pierwszych w historii cywilizacji ściśle techniczny, uznany został za rezultat powołania lub dziedziczenia innowacyjnych sekretów (Eliade 2007). Produkcja przedmiotów z brązu wymagała wysokich kwalifikacji, łączyła bowiem procesy odlewania i kucia brązu. Otaczała je atmosfera tajemniczości, a zapewne i sacrum. Osoby posiadające te umiejętności cieszyły się szczególnym szacunkiem społecznym. Metalurgia i odlewnictwo zyskiwały coraz większe znaczenie (Garbacz-Klempka 2018).

W przypadku początkowego okresu dziejów metalurgii oraz obszarów leżących poza strefą oddziaływania starożytnych centrów cywilizacyjnych, które wykształciły się w III tysiącleciu p.n.e., podstawowym i jedynym źródłem wiedzy o obróbce miedzi i jej stopów są materiały archeologiczne. Badania dawnych procesów odlewniczych są możliwe z uwagi na odkrycia pozostałości produkcji, na które składają się: surowce, półprodukty metalurgiczne, żużle i wyroby. Dotychczas analizowano głównie gotowe wyroby metalowe, rozpatrywane pod względem ich formy i funkcji, którą spełniały w rozwoju gospodarki i kultury społeczności pradziejowych. Dla poznania rozwoju technologii i wprowadzanych innowacji znaczenie ma nie tylko społeczny, ale i technologiczny wymiar występowania przedmiotów metalowych.

Ślady materialne dawnej aktywności wytwórczej stanowią ogromny zasób wiedzy na temat tworzyw i technik odlewniczych i tym samym potencjał dla wieloaspektowych, kompleksowych badań materiałoznawczych

i technologicznych. Istotne są tu informacje zachowane w odpadach produkcyjnych, złomie brązowym, narzędziach, tyglach i formach odlewniczych (Ottaway 2001).

Program badań opiera się na próbie poznania i opanowania technologii obróbki brązu przez człowieka. Praca z surowcem jest analizowana z perspektywy człowieka, jego umiejętności opanowania i zrozumienia procesu, pozyskania surowców i narzędzi. W badaniach istotne jest pytanie o świadomą umiejętność kształtowania właściwości stopów czy dobierania tworzyw do konkretnej technologii. Podstawą tego rozumowania jest potraktowanie każdego artefaktu osobno i podkreślenie jego odmienności jako wyniku koncepcji i działań jednostki. W czasie badań niejednokrotnie pojawiało się pytanie o poziom wiedzy technicznej, prowadzące do wytworzenia danego przedmiotu, ale także o jego prestiżowe lub mityczne znaczenie. Biegłość technologiczna rozwijała się w wyniku naśladownictwa i z chęci posiadania, była też efektem wielu w różnym stopniu udanym eksperymentów w obszarze tworzenia i wykorzystania stopów czy technologii.

W niniejszej pracy podjęto zagadnienia rozwoju odlewnictwa z punktu widzenia metaloznawczej analizy tworzyw i technologii odlewniczych, rozpatrywanych jako innowacyjne na danym etapie rozwoju cywilizacyjnego i kulturowego. Jej celem jest wykazanie, że wykorzystanie danych empirycznych, uzyskanych z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych, w połączeniu z archeologiczną interpretacją i eksperymentem, może zapewnić najbardziej całościowy obraz rekonstrukcji dawnej technologii odlewniczej.

W pracy opisano i scharakteryzowano różnorodne, wykorzystywane w wytwórczości metalowej epoki brązu, stopy miedzi, pochodzące z pracowni odlewniczych funkcjonujących na terenach obecnych ziem polskich. Położono nacisk na analizę technologii topienia i odlewania miedzi i stopów miedzi w epoce brązu i wczesnej epoce żelaza. W dotychczasowych badaniach koncentrowano się na określeniu składu chemicznego przedmiotu, tymczasem równie ważna dla interpretacji śladów dawnej produkcji odlewniczej jest charakterystyka i właściwości surowca oraz analiza zastosowanych technik wytwarzania. Procesy te powinny być rozpatrywane w ujęciu kompleksowym uwzględniającym zarówno aspekt surowcowy, jak i relacje pomiędzy gotowymi wyrobami, a odpadami procesu technologicznego oraz ich kontekstem archeologicznym. Istotne jest tu szczególnie rozpoznanie technik odlewniczych na podstawie pozostałości produkcji w postaci: form, tygli, żużli, złomu brązowego oraz narzędzi. Realizacja tak określonego zadania wymagała dokumentacji i analizy źródeł z wykorzystaniem nowoczesnych analitycznych technik instrumentalnych, metod wspomagana komputerowego oraz eksperymentu naukowego.

W celu dokonania pełniejszej charakterystyki dawnych stopów odtworzono stopy charakterystyczne dla analizowanych pracowni i nazwano je stopami modelowymi, reprezentującymi dany stop lub daną grupę stopów. W tym rozumieniu model stanowi przedmiot badań, a ze względu na podobiznę do oryginału, jego badanie pozwoli otrzymywać informacje na temat rzeczywistego stopu.

Stopy modelowe, według założenia przyjętego w pracy, zastępują w szczegółowych badaniach niszczących, głównie badaniach właściwości fizycznych i mechanicznych oraz badaniach przebiegu krystalizacji stopu stopy oryginalne (historyczne), które ze względu na wartość zabytkową, nie mogą być poddane tego rodzaju badaniom. W wyborze charakterystycznych stopów do modelowania zastosowano metody statystyczne jak metoda klasteryzacji, która pozwoliła wskazać grupy tworzyw wg charakterystycznego składu chemicznego. Dokonano także wyboru stopu na podstawie zachowanych bezpośrednich dowodów miejscowej produkcji odlewniczej jakimi były zachowane układy wlewowe. I tak odmienne tworzywa na bazie miedzi wykonano dla odtworzenia produkcji odlewniczej z późnej epoki brązu i wczesnej epoki żelaza. Funkcjonowanie omawianych lokalnych ośrodków odlewniczych dzieli 600 lat doświadczeń w odlewnictwie miedzi i stopów miedzi. Do analiz wybrano najbardziej charakterystyczne materiały omawianego okresu, najczęściej powtarzające się w odlewnictwie pradziejowym: brąz z naturalnymi zanieczyszczeniami, brąz o niskiej, średniej i wysokiej zawartości cyny, brąz ołowiowy, brąz cynowo-ołowiowy.

Podjęte badania pracowni odlewniczych wraz z wykorzystywanym w nich surowcem oraz stosowaną technologią mają znaczenie nie tylko z punktu widzenia historii rozwoju cywilizacyjnego w sferze działalności metalurgiczno-odlewniczej, ale także ze względu na możliwość aplikacji ich wyników w konserwacji zabytków archeologicznych oraz aspekt poznawczy i edukacyjny. Badania artefaktów materiałowych i śledzenie ich procesu życia, uściślają dotychczasowe procesy dedukcyjne odnoszące się do rozwoju cywilizacyjnego i kultury materialnej.

Projekt badawczy przygotowany we współpracy z Muzeum Archeologicznym w Poznaniu miał na celu wieloaspektową i multidyscyplinarną analizę praktyk i strategii obróbki brązu stosowanych na historycznych terenach

Wielkopolski przez społeczności późnej epoki brązu i wczesnej epoki żelaza. Na omawianym obszarze, obejmującym zachodnią część Niziny Polskiej rozciągającą się między dolinami środkowej Wisły i Odry, pomimo znacznych różnic fizjograficznych, po połowie II tysiąclecia p.n.e. ukształtował się stabilny wzorzec powiązanych ze sobą, regionalnie zróżnicowanych stref osadniczych. Ponadto, dzięki rozwiniętej sieci wodnej i korzystnemu układowi rzek, region ten sprzyjał przemieszczaniu się zarówno wzdłuż osi podłużnych, jak i poprzecznych, co ułatwiało wymianę surowców, gotowych wyrobów oraz idei (Kaczmarek 2012, Kurnatowski 2008; Ostoja–Zagórski 2008; Szamałek 2009).

Ramy chronologiczne projektu objęły okres od XIII do VII wieku p.n.e., czas charakteryzujący się zauważalną unifikacją kulturową w kręgu kultur pól urnowych, rozwojem społecznym i gospodarczym, stabilną organizacją społeczności lokalnych oraz rozwojem lokalnych ośrodków produkcji brązu. Dlatego był to okres szczególnie dogodny do badań archeometalurgicznych, ponieważ pozwolił na analizę szeregu procesów związanych z produkcją i dystrybucją artefaktów metalowych na omawianym obszarze. Ostatni etap tego okresu miał szczególne znaczenie dla postulowanych badań ze względu na wprowadzenie kolejnego metalu – żelaza – charakteryzującego się odmienną technologią obróbki i właściwościami. Możliwość obserwacji relacji między dwiema różnymi technikami obróbki okazała się kluczowa dla dalszych badań nad początkami technologii obróbki żelaza oraz powstaniem zawodów odlewnika i kowala (Dąbrowski 1977).

Wiarygodną bazę źródłową dla proponowanych badań stanowił szeroki zakres materiałów pochodzących z omawianego okresu. Objęły one znaleziska pochodzące z systematycznych badań archeologicznych, a także liczne i bogate zbiory artefaktów z brązu pochodzących z odkryć dokonanych w Wielkopolsce od końca XIX wieku (Blajer 2001; Durczewski, Śmigielski 1965; 1966; Kaczmarek 2002; 2012; Szamałek 2009). W ramach projektu przeprowadzono następujące analizy:

- analizę rozwoju odlewnictwa w kontekście jakości wyrobów; polegała ona na badaniu artefaktów metalowych jako przedmiotów wykonanych z nowatorskich, innowacyjnych materiałów, a także na określeniu ich potencjalnych właściwości użytkowych, składu chemicznego i funkcji;

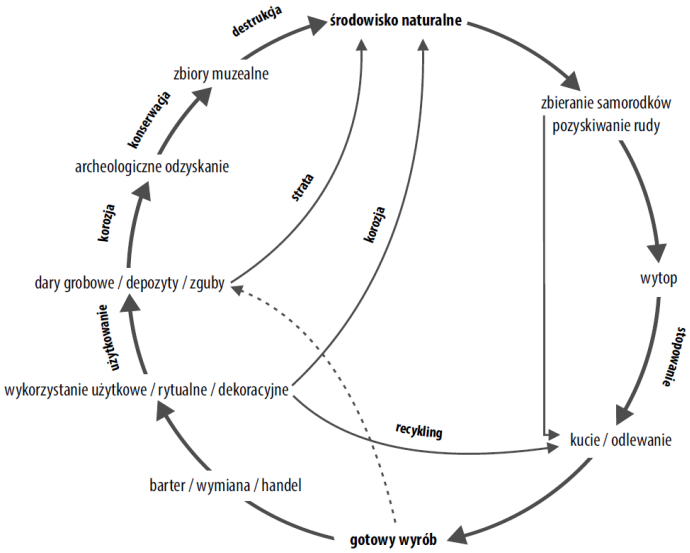
- analizę zmienności i stopnia zaawansowania technologii odlewniczych obserwowanych przez pryzmat stosowanych obróbek metali, widocznych w konstrukcji i stopniu dopracowania form odlewniczych, w tym w konstrukcji układu wlewowego;

- analizę możliwości rekonstrukcji praktyk obróbki brązu poprzez badanie półproduktów, żużlu oraz stopów modelowych odtworzonych w warunkach laboratoryjnych zbliżonych do ówczesnych;

- analizę możliwości rekonstrukcji technik obróbki brązu z wykorzystaniem narzędzi i metod cyfrowych, w tym komputerowo wspomaganych metod procesów technologicznych.

Badania archeometalurgiczne połączyły dane empiryczne z ich interpretacją kulturową oraz eksperymentami naukowymi, co stało się możliwe wyłącznie dzięki ścisłej współpracy między archeologami, a przedstawicielami nauk ścisłych. Zastosowanie analitycznych metod naukowych miało kluczowe znaczenie w podjętej próbie ustalenia źródeł surowca, zidentyfikowania sieci wymiany idei związanych z obróbką metali, dynamiki zmian i transferu technologii, a także trwałości i innowacyjności rozwiązań stosowanych w produkcji metalurgicznej i odlewniczej (Renfrew 1978; Ottaway 2001).

Proponowane transdyscyplinarne podejście do badań nad prehistorycznymi praktykami metalurgicznymi i odlewniczymi objęło badanie obróbki metali poprzez wieloaspektową analizę jej pozostałości: rud i półproduktów metalowych, narzędzi i sprzętu, w tym pieców, tygli, łyżek odlewniczych i form, węgla drzewnego jako paliwa, odpadów produkcyjnych, takich jak żużel, pozostałości systemów wlewowych oraz wadliwych przedmiotów przeznaczonych do ponownego przetopienia (Ottaway 1994; Shimada 2007). Główny nacisk położono jednak na analizę produktu końcowego w postaci gotowego, uszlachetnionego artefaktu. Analiza powierzchni, struktury i składu chemicznego produktu objęła badanie zarówno surowca, jak i procesów obróbki, którym został poddany. Informacje dotyczące technologii uzyskano również poprzez analizę wad i niedoskonałości odlewów (rys. I.1).



Rys. I.1. Cykl produkcji brązu i wyrobów z brązu (Ottaway 1994: rys. 1)

Materiał źródłowy poddano ilościowym i jakościowym analizom chemicznym oraz mikrostrukturalnym. Badane obiekty scharakteryzowano pod względem budowy, struktury i składu chemicznego. Badania objęły między innymi: analizy metalograficzne makro- i mikroskopowe z wykorzystaniem mikroskopii optycznej (OM) i skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), cyfrowe obrazowanie rentgenowskie (DR), tomografię komputerową (CT), analizę składu chemicznego metodami spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (EDS), fluorescencji rentgenowskiej (ED-XRF) oraz dyfrakcji rentgenowskiej (PXRD). Ponadto dla wybranych kategorii artefaktów wykonano odlewy eksperymentalne i zastosowano nowoczesne metody cyfrowe w celu rekonstrukcji rzeczywistej i wirtualnej metod obróbki metali stosowanych w późnej epoce brązu (Bayley, Crossley, Ponting 2008, Garbacz-Klempka 2018).

Szczegółowa analiza objęła zespoły znalezisk z wybranych kontekstów osadniczych, w tym osad otwartych i twierdz typu Biskupin, w przypadku których potwierdzono lokalną produkcję metalurgiczną (np. Komorowo, Smuszewo), a także znaleziska grobowe odpowiadające im chronologicznie i chorologicznie, ze szczególnym uwzględnieniem grobów zawierających elementy wyposażenia warsztatu odlewniczego oraz depozytów artefaktów z brązu i surowców. Tylko takie podejście analityczne pozwoliło na dalszą interpretację uzyskanych wyników w ramach poszczególnych grup funkcjonalnych lub typologicznych artefaktów z brązu. Równolegle z analizami archeometalurgicznymi zbadano kontekst archeologiczny znalezisk z brązu. Dane zweryfikowano, uszczegółowiono i wzbogacono o nowe informacje oparte na badaniach archiwalnych. W przypadku materiałów źródłowych pochodzących z badań archiwalnych kluczowe znaczenie miało również uzyskanie serii dat radiowęglowych, przeprowadzenie analiz antropologicznych – w przypadku znalezisk grobowych – oraz wykonanie pomiarów izotopowych. Rzuciło to nie tylko nowe światło na dotychczasowe ustalenia, ale także rozwiązało wiele niejednoznacznych kwestii interpretacyjnych, które od dziesięcioleci pojawiały się w odpowiedniej literaturze.

Przyjęto, że najskuteczniejsze podejście do interpretacji uzyskanych wyników powinno polegać na połączeniu analizy socjologicznych uwarunkowań rozwoju społeczeństw z badaniami technologicznymi dotyczącymi wzorców produkcji rzemieślniczej oraz czynników technologicznych jej rozwoju (Miller 2005). Metale, a w szczególności umiejętność obróbki metali, odegrały ważną rolę w procesie kształtowania się złożonych hierarchii społecznych (Thornton, Roberts 2014), modeli gospodarczych oraz systemu kultury symbolicznej.

Obecnie szeroki wachlarz technik analitycznych i badań materiałowych opartych na materiałach uzyskanych w wyniku odlewów eksperymentalnych (Thornton, Roberts 2014) pozwolił nie tylko na szczegółową rekonstrukcję samego procesu technologicznego, ale także na analizę jego zmienności przez pryzmat umiejętności, strategii i tradycji obróbki brązu. Wykorzystanie danych empirycznych w połączeniu z interpretacją archeologiczną miało na celu przedstawienie jak najpełniejszego obrazu prehistorycznej metalurgii w kontekście społecznym i kulturowym.

Projekt badawczy miał na celu udzielenie odpowiedzi na szereg kluczowych pytań dotyczących następujących zagadnień: obiegu i wykorzystania surowca brązowego, poziomu wiedzy technologicznej oraz zasad i praktyk obróbki brązu stosowanych w Wielkopolsce w okresie kultury łużyckiej. Nie dało się przecenić wkładu, jaki dane uzyskane w ramach projektu wniosły do dalszych badań archeometalurgicznych i archeologicznych poświęconych epoce brązu na Nizinie Środkowoeuropejskiej. Miały one szczególne znaczenie dla rozważań dotyczących handlu, wymiany idei/wiedzy i towarów, procesu kształtowania się elit i struktur społecznych, powstawania zawodów oraz innowacyjności działalności metalurgicznej. Realizacja postulowanego programu badawczego pozwoliła na analizę zmian zachodzących na badanym obszarze w epoce brązu, od jej początków aż po pojawienie się nowego metalu – żelaza. Badania mają charakter uniwersalny, dzięki czemu uzyskane wyniki mogą posłużyć jako punkt odniesienia dla dowolnego obszaru geograficznego i okresu chronologicznego.

Projekt zrealizowano dzięki współpracy z instytucjami:
- Muzeum Archeologicznym w Poznaniu
- Muzeum Archeologicznym w Biskupinie
- Instytutem Archeologii Uniwersytetu Jagiellońskiego,
- Instytutem Archeologii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu
- Muzeum Archeologiczne Środkowego Nadodrza w Zielonej Górze z siedzibą w Świdnicy,
- Muzeum Archeologicznym w Krakowie,
- Muzeum w Sierakowie,

oraz
- Wydziałem Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie,
- Wydziałem Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie,
- Wydziałem Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie,
- Wydziałem Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie,
- Wydziałem Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie,
- Wydziałem Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie,
- Krakowskim Instytutem Technologicznym, Siecią Badawczą Łukasiewicz.

Projekt **Biografia brązu. Archeometalurgiczne studium nad technologią odlewnictwa społeczności kultury łużyckiej w Wielkopolsce** został sfinansowany z programu Narodowego Centrum Nauki **2017/26/E/HS3/00656.**