

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kupczaka pt. "Rekonstrukcja historycznych (V wiek p.n.e. - XIX wiek n.e.) metod wytopu metali na terenie Polski".

Poniższa recenzja została opracowana w związku z uchwałą Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego z dnia 14 stycznia 2025 roku.

Forma pracy doktorskiej

Praca doktorska została wykonana w Instytucie Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego pod opieką naukową prof. dr hab. Aleksandry Gawędy. Promotorem pomocniczym był dr Rafał Warchulski, prof. UŚ.

Rozprawa oparta została o zbiór siedmiu spójnych tematycznie artykułów w języku angielskim, we współautorstwie, w wysokoimpaktowych czasopismach o światowym zasięgu takich jak: Archeometry (3 artykuły), Heritage Science (2 artykuły), Minerals (2 artykuły) z czego doktorant był wiodącym autorem w pięciu z nich.

Dodatkowo wśród otrzymanych dokumentów znalazły się deklaracje Doktoranta oraz współautorów dotyczące zakresu ich wkładu w publikacje, w formie opisowej. Wynika z nich, że wkład merytoryczny Doktoranta był dominujący.

Struktura pracy

Przedstawiona do recenzji praca składa się z listy prac będących podstawą rozprawy doktorskiej, streszczenia w języku angielskim a także komentarza wprowadzającego w tematykę rozprawy. We wstępie przedstawiono znaczenie hutnictwa w rozwoju cywilizacyjnym, podkreślając jego wpływ na postęp technologiczny i gospodarczy. Rozdział ten omawia tradycje hutnicze w Polsce, uwzględniając eksploatację i przetwarzanie rud różnych metali na przestrzeni wieków. Zwraca także uwagę na ograniczoną dostępność źródeł dotyczących dawnych metod wytopu, wskazując na kluczową rolę badań żużli hutniczych w rekonstrukcji historycznych procesów produkcyjnych. Wstęp podkreśla również rosnące zainteresowanie możliwością ponownego wykorzystania historycznych odpadów hutniczych oraz potrzebę ich szczegółowego opracowania, zanim zostaną bezpowrotnie utracone.

Kolejna część pracy opisuje dotychczasowy stan wiedzy przedstawiając wady i zalety poszczególnych technik odtwarzania historycznych procesów hutniczych, oraz

dotychczasowe badania prowadzone w Polsce nad historycznym hutnictwem. Autor podkreśla fakt, że badania nad historycznym hutnictwem w Polsce sięgają co najmniej XVI wieku, a ich rozwój obejmował zarówno dokumentację stanowisk hutniczych, jak i eksperymentalne rekonstrukcje procesów wytopu. W XX wieku badania skoncentrowano na analizie składu chemicznego żużli oraz rekonstrukcji stosowanych technologii, szczególnie w hutnictwie żelaza w Górach Świętokrzyskich. Współczesne badania skupiają się głównie na aspektach środowiskowych, obejmując analizę składu i testy wmywania metali, jednak nadal brakuje kompleksowych rekonstrukcji niektórych procesów, np. produkcji Cu w Górach Świętokrzyskich.

Kolejny rozdział to Metodyka, gdzie Doktorant przedstawił metodykę badań nad żużłami hutniczymi, obejmującą prace kameralne, terenowe oraz analizy laboratoryjne.

Doktorant na podstawie przeglądu literatury wybrał lokalizacje poboru próbek. Pobranie objęło hałdy, profile glebowe i składowiska. Materiał selekcjonował makroskopowo. Żużle dymarkowe dostarczyło Muzeum w Starachowicach. Preparatyka obejmowała kruszenie, mielenie oraz przygotowanie szlifów i zgładów.

Przeprowadzone zostały analizy mikroskopowe (optyczne, SEM), chemiczne (EPMA, XRF, ICP-MS/OES) oraz fazowe (XRD, analiza Rietvelde). Datowanie AMS określiło wiek żużli na podstawie resztek węgla drzewnego.

Temperatura procesów określona została na podstawie eksperymentów, diagramów fazowych i symulacji MELTS-Rhyolite. Lepkość, doktorant modelował matematycznie. Warunki redox analizował termodynamicznie, a prędkość chłodzenia oszacowana była na podstawie morfologii oliwinów.

Do opracowania wyników wykorzystane było oprogramowanie CorelDRAW, QGIS, Adobe, AutoCAD oraz aplikację SLAG (Python) do obliczeń numerycznych.

W rozdziale wnioski doktorant przedstawia wyniki rekonstrukcji uzyskane dla poszczególnych lokalizacji na podstawie opublikowanych artykułów. W tym kontekście zawarto także dodatkowy podrozdział, stanowiący streszczenie manuskryptu dotyczącego autorskiego oprogramowania SLAG 1.0, stworzonego w języku Python z wykorzystaniem graficznego interfejsu, którego celem jest ułatwienie rekonstrukcji historycznych procesów hutniczych. Narzędzie to umożliwia określenie kluczowych parametrów wytopu, takich jak temperatura likwidusu, lepkość stopu oraz lotność tlenu i siarki. Intencją autora było stworzenie rozwiązania dostępnego dla osób bez zaawansowanej wiedzy z zakresu termodynamiki i reologii. W celu zweryfikowania użyteczności oprogramowania przeprowadzono analizy składu chemicznego i fazowego żużli pochodzących z historycznej produkcji Cu i Pb. Wyniki wskazują, że przy odpowiednim doborze modeli SLAG 1.0 może być skutecznie stosowany w rekonstrukcji procesów hutniczych, choć jego stosowalność w zakresie temperatury

likwidusu i lepkości jest ograniczona do zakresów chemicznych, dla których modele zostały opracowane. Takie ograniczenia nie występują natomiast przy określaniu lotności tlenu i siarki.

Ostatnim rozdziałem jest Podsumowanie, które podkreśla najważniejsze osiągnięcia dysertacji.

Komentarz wprowadzający do pracy to 26 stronicowe opracowanie stworzone na podstawie siedmiu przedstawionych manuskryptów, które stanowią główny człon pracy; dodatkowo w pracy znalazł się spis literatury, oraz wspomniane powyżej oświadczeń Doktoranta i współautorów.

Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem ocenianej rozprawy doktorskiej jest analiza historycznych procesów hutniczych w oparciu o badania składu chemicznego i fazowego żużli oraz modelowanie parametrów wytopu przy użyciu nowoczesnych narzędzi obliczeniowych. Autor w sposób kompleksowy podszedł do problematyki, łącząc klasyczne metody analityczne, diagramy fazowe i eksperymenty wysokotemperaturowe, z nowoczesnymi technikami modelowania, w tym oprogramowaniem MELTS-Rhyolite i własnym, autorskim narzędziem SLAG 1.0.

Publikacje składające się na rozprawę doktorską dotyczą rekonstrukcji procesów wytopu metali na podstawie badań żużli metalurgicznych. Obejmują one analizy procesów przetwarzania rud ołowiu, miedzi, żelaza, cynku i złota w różnych okresach historycznych oraz w różnych lokalizacjach na terenie Polski. Prace te dostarczają cennych informacji na temat warunków technologicznych stosowanych w przeszłości, co ma istotne znaczenie zarówno dla badań archeologicznych, jak i dla zrozumienia ewolucji technik metalurgicznych.

Jednym z najbardziej nowatorskich aspektów rozprawy jest stworzenie autorskiego oprogramowania SLAG 1.0, które w prosty i intuicyjny sposób pozwala określić kluczowe parametry wytopu, ułatwiając rekonstrukcję dawnych procesów hutniczych. Jest to istotne osiągnięcie, które nie tylko upraszcza analizę, ale także czyni ją dostępną dla badaczy niezaznajomionych z zaawansowaną termodynamiką i reologią. Praca wskazuje na skuteczność tego narzędzia w analizie żużli historycznych oraz podkreśla jego ograniczenia wynikające z zakresu stosowalności poszczególnych modeli.

Pod względem merytorycznym i metodologicznym praca charakteryzuje się wysokim poziomem naukowym. Ilość artykułów, które się na nią składają jest imponująca. Autor wykazał się umiejętnością integracji różnych metod badawczych, krytycznym podejściem do wyników oraz dbałością o ich interpretację w kontekście historycznym i technologicznym. Na uwagę zasługuje rzetelne przedstawienie ograniczeń funkcjonalności aplikacji SLAG 1.0. Przedstawione wyniki są dobrze udokumentowane, a ich analiza opiera się na solidnych podstawach naukowych. Styl pracy jest klarowny i precyzyjny, a struktura logicznie uporządkowana.

Uwagi merytoryczne i dyskusyjne

Trudne jest dyskutowanie o uchybieniach pracy, która powstała jako podsumowanie wyników badań w postaci siedmiu artykułów w prestiżowych czasopiśmie. Wierzę, że recenzenci tych prac zwrócili uwagę na wszystkie ewentualne niedociągnięcia pierwotnych manuskryptów. Trudno dostrzec istotne słabe strony pracy stanowiącej dojrzałe i kompletne studium badań nad rekonstrukcją metod wytopu metali. Poniżej przedstawiam jednak uwagi, które nasunęły mi się podczas studiowania pracy a także zagadnienia do dyskusji.

Uwagi szczegółowe

- str. 8 w komentarzu - termin "szeroki zakres rud" jest nieprecyzyjny, gdyż sugeruje przedział wartości liczbowych, co w kontekście rud metali nie brzmi naturalnie. Wskazane jest użycie bardziej adekwatnego określenia.

- Rys. 1 - O ile figury przedstawione w manuskryptach są bardzo dobrej jakości to jakość ryciny 1 w komentarzu do rozprawy jest niska. Brakuje oznaczenia lokalizacji poboru próbek i odnośników lokalizacji do konkretnych procesów hutniczych.

- W kontekście dodawania topników warto byłoby odnieść te informacje do współcześnie stosowanych.

Str. 19 – O ile w przedstawionych artykułach nie zauważyłam tego problemu w komentarzu wprowadzającym do rozprawy analiza fazowa mogłaby zostać bardziej szczegółowo omówiona. Mikroskopia optyczna i SEM umożliwiają wstępną identyfikację faz, jednak pełna analiza wymaga zastosowania dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD).

Opis metod analitycznych powinien jasno rozróżniać metody punktowej analizy składu faz, takie jak EPMA, od metod określających całkowity skład chemiczny, takich jak XRF czy ICP-MS/OES.

W analizie chemicznej żużli warto byłoby wspomnieć o roli pierwiastków śladowych.

Str. 30 - W rozdziale tym zabrakło informacji o wieku żużli Polichna, który znacznie odbiega od pozostałych analizowanych materiałów

W tekście występują liczne wiszące litery, a także liczne literówki, na przykład w zdaniu „ze proces wytopu prowadzony” (str. 28)

Kwestie do wyjaśnienia przez doktoranta w trakcie dyskusji na obronie:

1. Czy autor mógłby krótko wyjaśnić funkcjonalność aplikacji SLAG 1.0 oraz zakresu stosowanych w niej metod statystycznych. Czy pozwala ona na większą precyzję? Czy planowane jest rozwijanie aplikacji? Czy można „nakarmić” ją innymi danymi chemicznymi i zwiększyć funkcjonalność? Jaki jest zakres błędu (było to opisane

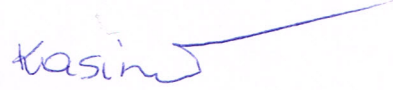
w artykule Kupczak, K., Warchulski, R. 2024. SLAG—software for reconstruction of historical smelting processes based on slag properties. *Archaeometry*. 66(4), 803- 823. DOI: 10.1111/arc.12940), ale może nie każdy miał okazję się z nim zapoznać

2. Czy wyniki uzyskane przy użyciu aplikacji SLAG 1.0 były albo czy uzasadnionym by było, żeby zweryfikować na podstawie danych ze współczesnych procesów przeróbki rud i „świeżych” żużli, czy zakres błędu można szacować w odniesieniu do współczesnych materiałów.
3. W jakim zakresie można rekonstruować procesy geologiczne?
4. Czy analizy XRF również były przeprowadzane w BVC? Czy było to uzasadnione w kontekście przeprowadzenia szczegółowych analiz ICP-MS/OES?
5. Z czego wynikał dobór próbek materiału do analiz? Z dostępności materiału? Pytam, ponieważ rozpiętość czasowa była ogromna. Czy nie lepszym rozwiązaniem było by np. rekonstruować proces na podstawie jednego, dwóch rodzajów rud ale w różnym okresie czasu?

Wniosek końcowy

Przedstawione powyżej nieliczne uwagi nie zmieniają mojej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kupczaka pt. "Rekonstrukcja historycznych (V wiek p.n.e. - XIX wiek n.e.) metod wytopu metali na terenie Polski". Doktorant wykazał się dużą znajomością tematu oraz umiejętnością wykorzystania nowoczesnych narzędzi badawczych umiejętnością stawiania i rozwiązywania problemów badawczych, posiadał zaawansowany warsztat naukowy i zdolność pisania publikacji. Praca, pomimo drobnych niedociągnięć, stanowi oryginalne rozwiązanie skomplikowanego problemu badawczego i świadczy o wysokim poziomie naukowym autora. Rozprawa całkowicie spełnia warunki merytoryczne i formalne stawiane rozprawom doktorskim, określone w Art. 187 Ustawy z 20 lipca 2018 r. (z późniejszymi zmianami) *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. Wniosuję o dopuszczenie Pan mgr inż. Krzysztofa Kupczaka do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim. Jednocześnie stwierdzam, że praca zasługuje na wyróżnienie.

Dr hab. Monika Kasina



Uzasadnienie wyróżnienia recenzowanej rozprawy doktorskiej

Rozprawa mgr inż. Krzysztofa Kupczaka zasługuje na wyróżnienie ze względu na wyjątkową ilość, ale także jakość publikacji składających się na dysertację. Siedem artykułów opublikowanych w wysoko impaktowych czasopismach międzynarodowych, dodatkowo wysoko punktowanych na liście ministerialnej, w tym pięć z doktorantem jako pierwszym autorem, świadczy o jego znaczącym wkładzie w rozwój badań nad historycznym hutnictwem.

Dodatkowym dowodem dojrzałości naukowej doktoranta jest stworzenie autorskiego oprogramowania SLAG 1.0, które stanowi nowatorskie narzędzie do rekonstrukcji procesów hutniczych. Szczególnie wartościowe jest to, że autor nie tylko opracował narzędzie, ale także przeanalizował zakres stosowalności i ograniczenia oprogramowania, co świadczy o jego krytycznym podejściu do wyników własnych badań i wysokim poziomie metodologicznym.

Tak kompleksowe i rzetelne podejście do badań oraz ich udokumentowanie w cenionych czasopismach jednoznacznie potwierdzają, że rozprawa w pełni zasługuje na wyróżnienie.

Dr hab. Monika Kasina



Kasina