

Dr hab. inż. Marian Niesler
Sieć Badawcza Łukasiewicz -
Górnośląski Instytut Technologiczny
44 – 100 Gliwice
ul. K. Miarki 12 – 14
tel. 32 2345 291
marian.niesler@git.lukasiewicz.gov.pl

Gliwice, 03.03.2025 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kupczaka

**„Rekonstrukcja historycznych (V wiek p.n.e. - XIX wiek n.e) metod
wytopu metali na terenie Polski”**

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z dnia 14 stycznia 2025 r. Rozprawę przeprowadzono pod kierunkiem prof. dr hab. Aleksandry Gawędy. Promotorem pomocniczym był dr Rafał Warchulski, prof. UŚ.

Dysertacja oparta o siedem angielskojęzycznych publikacji, poprzedzona jest streszczeniem w języku angielskim oraz: Komentarzem wprowadzającym w tematykę rozprawy doktorskiej. Na Komentarz składa się: Wstęp, Dotychczasowy stan wiedzy, Metodyka, Oprogramowanie, Wyniki, Podsumowanie i Literatura. Praca zakończona jest oświadczeniami o wkładzie w autorstwo publikacji.

Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej:

1. Warchulski, R., Szczuka, M., **Kupczak, K.** 2020. Reconstruction of 16th–17th century lead smelting processes on the basis of slag properties: A case study from Sławków, Poland. *Minerals*, 10(11), 1039. DOI: 10.3390/min10111039. 100 pkt MNiSW.
2. **Kupczak, K.**, Warchulski, R., Gawęda, A. 2023. Reconstruction of smelting conditions during 16th-to 18th-century copper ore processing in the Kielce region (Old Polish Industrial District) based on slags from Miedziana Góra, Poland. *Archaeometry*, 65(3), 547-569. DOI: 10.1111/arc.12837. 200 pkt MNiSW.
3. Warchulski, R., **Kupczak, K.**, Gawęda, A., Sitko, R. 2022. Complete reconstruction of the process and conditions during gold smelting in the 15th–17th centuries in Złoty Stok based on metallurgical slags. *Archaeometry*, 64(4), 916-934. DOI: 10.1111/arc.12752. 200 pkt MNiSW.
4. **Kupczak, K.**, Warchulski, R., Gawęda, A., Janiec, J. 2024. Bloomery iron production in the Holy Cross Mountains (Poland) area during the Roman period: conditions during the metallurgical process and their uniformity between locations. *Heritage Science*, 12(1), 147. DOI: 10.1186/s40494-024-01266-6. 140 pkt MNiSW.
5. **Kupczak, K.**, Warchulski, R., Gawęda, A., Słęczak, M., Migas, P. 2024. The use of predominance area diagrams (PAD) to determine the oxygen and sulfur fugacities prevailing during historical metallurgical processes: the case of fifteenth to

seventeenth century copper slags from Polichno (Old Polish industrial district). *Heritage Science*, 12(1), 49. DOI: 10.1186/s40494-024-01171-y. 140 pkt MNiSW.

6. **Kupczak, K.**, Warchulski, R., Dulski, M., Śródek, D. 2020. Chemical and phase reactions on the contact between refractory materials and slags, a case from the 19th century Zn-Pb smelter in Ruda Śląska, Poland. *Minerals*, 10(11), 1006. DOI: 10.3390/min10111006. 100 pkt MNiSW.
7. **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. 200 pkt MNiSW.

Artykuły stanowiące rozprawę doktorską zostały opublikowane w języku angielskim i ukazały się w renomowanych czasopismach międzynarodowych takich jak: 3 artykuły w *Archaeometry* – 200 pkt MNiSW, 2 artykuły w *Heritage Science* – 140 pkt MNiSW oraz 2 artykuły w *Minerals* – 100 pkt MNiSW.

Wszystkie publikacje mają po kilku autorów. W pięciu publikacjach mgr inż. Krzysztof Kupczyk jest pierwszym autorem. W jednej publikacji jest drugim autorem i w jednej, trzecim.

Oświadczenie Doktoranta o własnym wkładzie w powstanie poszczególnych publikacji:

W publikacji 1, gdzie Doktorant był trzecim autorem, ten wkład polegał na studium literaturowym, przygotowaniu prób do analiz, interpretacji wyników analiz XRD, rekonstrukcji pieca w programie AutoCAD oraz mniejszościowym autorstwie tekstu publikacji.

W publikacji 2, gdzie Doktorant był pierwszym autorem, ten wkład polegał na poborze prób, studium literaturowym, przygotowaniu prób do analiz, wykonaniu obserwacji mikroskopowych, analizie i interpretacji danych XRD, XRF, ICP-MS, EPMA, współprowadzeniu eksperymentów wysokotemperaturowych, większościowym autorstwie tekstu publikacji oraz przygotowaniu rysunków i tabel.

W publikacji 3, gdzie Doktorant był drugim autorem, ten wkład polegał na poborze prób, studium literaturowym, przygotowaniu prób do analiz, interpretacji danych EPMA, mniejszościowym autorstwie tekstu publikacji, oraz współautorstwie grafik.

W publikacji 4, gdzie Doktorant był pierwszym autorem, ten wkład polegał na studium literaturowym, przygotowaniu prób do analiz, wykonaniu obserwacji mikroskopowych, analizie i interpretacji danych HRD, XRF oraz EPMA, współprowadzeniu eksperymentów wysokotemperaturowych w piecu laboratoryjnym, większościowym autorstwie tekstu publikacji oraz przygotowaniu rysunków i tabel.

W publikacji 5, gdzie Doktorant był pierwszym autorem, ten wkład polegał na poborze prób, studium literaturowym, przygotowaniu prób do analiz, wykonaniu obserwacji mikroskopowych, analizie i interpretacji danych XRF oraz EPMA, współprowadzeniu eksperymentów wysokotemperaturowych w piecu laboratoryjnym, większościowym autorstwie tekstu publikacji oraz przygotowaniu rysunków i tabel.

W publikacji 6, gdzie Doktorant był pierwszym autorem, ten wkład polegał na poborze prób, studium literaturowym, przygotowaniu prób do analiz, wykonaniu obserwacji mikroskopowych, analizie i interpretacji danych XRD, XRF, ICP-MS, EPMA, większościowym autorstwie tekstu publikacji oraz przygotowaniu rysunków i tabel.

W publikacji 7, gdzie Doktorant był pierwszym autorem, ten wkład polegał na studium literaturowym, przygotowaniu kodu w języku Python, testowaniu oprogramowania, większościowym autorstwie tekstu publikacji oraz przygotowaniu rysunków i tabel.

Generalnie wkład Doktoranta w w/w publikacjach polegał na: studium literaturowym, poborze prób, przygotowaniu prób do analiz, wykonaniu obserwacji mikroskopowych, analizie i interpretacji wyników analiz XRD, XRF, ICP-MS, EPMA, współprowadzeniu eksperymentów wysokotemperaturowych, rekonstrukcji pieca w programie AutoCAD, przygotowaniu kodu w języku Python, testowaniu oprogramowania.

Hutnictwo od wieków odgrywa kluczową rolę w rozwoju cywilizacji. Produkcja metali była tak ważna dla rozwoju ludzkości, że podział prehistorii na epoki został dokonany właśnie na podstawie przełomów w metalurgii: epoka miedzi, brązu, żelaza. Na ziemiach polskich występowało wiele rud wykorzystywanych w przeszłości do produkcji metali takich jak żelazo, ołów, miedź, cynk, srebro oraz złoto. Jednak w większości przypadków informacje o warunkach panujących podczas produkcji metali w czasach historycznych są słabo dostępne. Przeważnie jedynymi pozostałościami po dawnych procesach hutniczych są żużle, które są składowane w pobliżu hut. Żużle te są wykorzystane np. jako materiał budowlany i intensywnie eksploatowane. Istnieje ryzyko, że z biegiem lat pozostałości po dawnych procesach hutniczych zostaną utracone. W związku z tym przeprowadzenie badań dotyczących metod produkcji metali staje się pilnym problemem.

Pan mgr inż. Krzysztof Kupczak w swojej pracy doktorskiej, jako cel rozprawy, podjął się próby odtworzenia historycznych metod wytopu metali na terenie obecnej Polski poprzez:

- odtworzenie schematu przebiegu procesu hutniczego oraz stosowanych technik wytopu,
- określenie podstawowych parametrów wytopu (temperaturę likwidusu i solidusu, lepkość stopu hutniczego, lotność tlenu, prędkość chłodzenia stopu),
- opracowanie graficznych rekonstrukcji urządzeń wykorzystywanych w przeszłości.

Dodatkowym celem pracy było określenie reakcji zachodzących w piecu hutniczym podczas produkcji Zn oraz opracowanie nowych rozwiązań metodycznych, ułatwiających prowadzenie rekonstrukcji historycznych procesów hutniczych w przyszłości.

Cel ten został osiągnięty poprzez:

- określenie reakcji chemicznych i fazowych zachodzących pomiędzy stopem a materiałami ogniotrwałymi,
- udoskonalenie metody określania lotności tlenu oraz zaproponowanie metody określania lotności siarki podczas wytopu,
- stworzenie oprogramowania, które umożliwi określenie podstawowych parametrów wytopu na podstawie obliczeń termodynamicznych oraz tworzonych diagramów.

Lokalizacje objęte badaniami zostały dobrane przez Doktoranta tak, aby uwzględniały maksymalne zróżnicowanie czasowe (zakres wieków) oraz rodzaj produkowanego metalu. Przeanalizował on żużle z następujących lokalizacji:

- Góry Świętokrzyskie - hutnictwo żelaza od II w. p.n.e do IV w. n.e.,
- Złoty Stok - hutnictwo złota prowadzone od XV do XVII wieku,
- Miedziana Góra oraz Polichno - hutnictwo miedzi XV-XVIII wiek,
- Sławków - hutnictwo ołowiu w okresie od XVI do XVII wieku,
- Ruda Śląska - hutnictwo cynku w XIX wieku.

Publikacją otwierającą cały cykl jest publikacja (1): *Warchulski, R., Szczuka, M., Kupczak, K. 2020. Reconstruction of 16th–17th century lead smelting processes on the basis of slag properties: A case study from Sławków*, która ze względu na brak szczegółowych informacji o procesach produkcyjnych, koncentruje się na rekonstrukcji procesu technologicznego w XVI-XVII-wiecznej hucie ołowiu w Sławkowie. Podstawą tej rekonstrukcji są analizy chemiczne i petrograficzne żużli. Obecnie na tym terenie nie ma śladów po hutach. Ich lokalizację Autor zidentyfikował jedynie po wzniesieniach terenu i pojawiających się na powierzchni żużlach. Autor pobrał z powierzchni oraz z wykopów na historycznym składowisku czterdzieści dwie próbki żużli i jednaście próbek cegieł. Na podstawie zróżnicowania makroskopowego oraz stopnia zwietrzenia wyróżnił trzy główne typy żużli, które poddał preparatyce oraz analizom geochemicznym i petrologicznym. Stwierdził, że na składowisku występują trzy główne rodzaje materiału: szklisty, krystaliczny i zwietrzały. Analizy chemiczne potwierdziły, że huta wykorzystywała prażone rudy siarczkowe. Podstawowym topnikiem wsadu był piasek kwarcowy. Dodatek SiO₂ pozwolił na związanie zanieczyszczeń, a niska temperatura topnienia i lepkość stopu umożliwiła skuteczne oddzielenie ciekłego ołowiu od żużla.

Doktorant na podstawie różnych opisów i danych podjął ciekawą próbę rekonstrukcji konstrukcji huty w Sławkowie. Stwierdził, że wytop odbywał się w warunkach redukcyjnych, w piecu szybowym wyłożonych cegłami, co potwierdzają pobrane próbki cegieł pokrytych szklistym żużlem. Żużel ten zdaniem Recenzenta, to tzw. „garnisaż”, który dodatkowo chronił obmurze pieca przed wpływem temperatury i agresywnego żużla.

Kolejna publikacja wchodząca w skład rozprawy doktorskiej (2): *Kupczak, K., Warchulski, R., Gawęda, A. 2023. Reconstruction of smelting conditions during 16th-to 18th-century copper ore processing in the Kielce region (Old Polish Industrial District) based on slags from Miedziana Góra*, skupia się na rekonstrukcji warunków wytopu miedzi w XVI-XVIII-wiecznych hutach w Miedzianej Górze w Górach Świętokrzyskich, które bazowały na siarczkowych złożach lokalnych. Doktorant stwierdził, że do najważniejszych pierwotnych minerałów miedziowych występujących w złożu Miedziana Góra należą chalkopiryt (CuFeS₂), chalkozyn, bornit oraz tetraedryt. W strefie mineralizacji wtórnej dodatkowo występują malachit, azuryt oraz chryzokola.

Podobnie jak w przypadku Sławkowa, ze względu na brak szczegółowych informacji procesowych, Autor podjął się kompleksowej rekonstrukcji wytapiania miedzi, na podstawie analizy geochemicznej i mineralogicznej historycznych żużli. Określił ich skład

chemiczny/fazowy oraz podstawowe parametry wytopu (temperaturę, lepkość stopu, lotność tlenu). Wyodrębnił sześć typów żużli różniących się cechami makroskopowymi, takimi jak barwa i stopień krystaliczności. Pod względem składu chemicznego analizowane żużle zawierały głównie SiO_2 , CaO , FeO oraz Al_2O_3 . Stwierdził również obecność Pb oraz Cu . Analiza składu fazowego wykazała, że żużle zbudowane były głównie ze szkła z rozproszonymi polimorfami SiO_2 , metaliczną miedzią, tlenkami ołowiu (PbO), klinopiroksenami oraz siarczkami/arsenkami Cu oraz metalicznym Pb .

Przeprowadzona przez Doktoranta rekonstrukcja metod stosowanych podczas wytopu w Miedzianej Górze również opierała się na źródłach historycznych. Autor stwierdził, że proces produkcji w Miedzianej Górze był dwuetapowy. W trakcie badań wyodrębnił żużle powstałe w pierwszym oraz drugim etapie procesu hutniczego. W Miedzianej Górze siarczkowa ruda nie była poddawana prażeniu, gdyż celem pierwszego etapu procesu (proces redukcyjny) było uzyskanie stopu siarczkowego lub siarczkowo-arsenkowego. W drugim etapie stop siarczkowy/arsenkowy był ponownie przetapiany, tym razem w atmosferze utleniającej. Celem tego etapu było usunięcie ze stopu zanieczyszczeń, pozostawiając jedynie metaliczną miedź. Czysty metal uzyskiwano dzięki dodawaniu do pieca materiałów, które wiązały utlenione żelazo i ołów, tworząc żużel usuwany podczas procesu.

Głównym celem publikacji trzeciej (3): *Warchulski, R., Kupczak, K., Gawęda, A., Sitko, R. 2022. Complete reconstruction of the process and conditions during gold smelting in the 15th–17th centuries in Złoty Stok based on metallurgical slags*, była rekonstrukcja produkcji złota w Złotym Stoku. Temperatura wytopu i krzepnięcia, lepkość stopu, lotność tlenu zostały obliczone przez Doktoranta z wykorzystaniem żużli metalurgicznych. Badane przez Autora żużle charakteryzowały się składem chemicznym zdominowanym przez SiO_2 , MgO , CaO oraz FeO . W składzie fazowym żużli zaobserwował oliwin, piroksen, szkło, siarczki oraz arsenki Fe . Na podstawie analizy składu chemicznego, fazowego oraz danych literaturowych Doktorant zweryfikował proces produkcji złota w Złotym Stoku, opisany w literaturze jako czteroetapowy. Wykazał, że etap prażenia, wcześniej uznawany za drugi etap wytopu, nie był częścią procesu produkcji. Stwierdził, że proces wytopu złota w Złotym Stoku obejmował jedynie trzy etapy. Pierwszy etap miał na celu stworzenie tzw. speiss/matte, drugi stop Pb-Au , a trzeci oddzielenie Pb od Au . W pierwszym etapie do wzbogaconego złoża dodawano łupki, gnejsy oraz produkty powstałe w kolejnych etapach, takie jak speiss/matte oraz część żużli. Łupki i gnejsy obniżały temperaturę wytopu, natomiast speiss/matte zapewniały odpowiednio wysoką lotność arsenu i siarki, co umożliwiała uzyskanie odpowiedniej ilości stopu siarczkowoarsenkowego. Powtórne przetapianie żużli, zawierających niewielkie ilości złota, zwiększało efektywność procesu hutniczego. Uzyskane wyniki pozwoliły Doktorantowi na korektę dotychczasowych opisów procesu wytopu w Złotym Stoku. Przeprowadzone badania są pierwszą rekonstrukcją metalurgii złota w oparciu o żużel hutniczy i wskazują na duży potencjał w wykorzystaniu tego typu materiału do odtworzenia wszystkich parametrów historycznych procesów metalurgicznych.

Kolejna publikacja wchodząca w skład rozprawy doktorskiej (4): *Kupczak, K., Warchulski, R., Gawęda, A., Janiec, J. 2024. Bloomery iron production in the Holy Cross Mountains (Poland) area during the Roman period: conditions during the metallurgical*

process and their uniformity between locations, ze względu na szeroką dostępność danych literaturowych dotyczących produkcji żelaza w dymarkach w Górach Świętokrzyskich, koncentruje się na porównaniu warunków wytopu między różnymi lokalizacjami. W tym celu Autor badał żuźle pochodzące z Suchedniowa, Skarżyska-Kamiennej i Starachowic. Analizowane żuźle składały się głównie z FeO (43,97-75,32 % wag.) oraz SiO₂. Żelaziste żuźle z bardzo wysoką zawartością FeO wskazują na bardzo utrudnioną redukcję tlenków żelaza i tworzenie żuźla. Dla porównania współczesne żuźle wielkopiecowe zawierają maksymalnie 1% wag. FeO.

Aby potwierdzić wiek próbek, Doktorant przeanalizował również fragmenty węgla drzewnego znalezione w jednym z żużli. Wyniki datowania izotopowego wskazały na lata 196 p.n.e.–4 n.e., co potwierdziło, że badane żuźle pochodzą z dymarkowej produkcji żelaza opisywanej dotychczas przez archeologów. W trakcie badań Autor zidentyfikował kluczowe parametry procesu hutniczego i nie stwierdził znaczących różnic pomiędzy analizowanymi lokalizacjami.

Celem publikacji (5): **Kupczak, K., Warchulski, R., Gawęda, A., Ślęzak, M., Migas, P. 2024. *The use of predominance area diagrams (PAD) to determine the oxygen and sulfur fugacities prevailing during historical metallurgical processes: the case of fifteenth to seventeenth century copper slags from Polichno (Old Polish industrial district)***, dotyczącej wykorzystania diagramów obszarów przewagi (PAD) do określania lotności składników gazowych było, poza rekonstrukcją warunków panujących podczas historycznego hutnictwa, również zaproponowanie nowych metod, które mogą być stosowane podczas badań archeometrycznych. W tym celu Autor przebadął żuźle z Polichna pod względem składu chemicznego i fazowego oraz zaproponował wykorzystanie danych termodynamicznych do obliczenia lotności tlenu oraz siarki podczas wytopu.

Przeprowadzone badania dowiodły, że diagramy PAD mogą być skutecznie stosowane podczas rekonstrukcji lotności tlenu i siarki podczas historycznych procesów metalurgicznych. Dzięki połączeniu przez Doktoranta eksperymentalnego wytopu i wysokotemperaturowych obserwacji mikroskopowych, możliwe było określenie temperatury likwidusu i solidusu żuźli, które zostały następnie wykorzystane do obliczeń termodynamicznych.

W publikacji (6): **Kupczak, K., Warchulski, R., Dulski, M., Śródek, D. 2020. *Chemical and phase reactions on the contact between refractory materials and slags, a case from the 19th century Zn-Pb smelter in Ruda Śląska***, Autor skupił się na reakcjach chemiczno-fazowych w strefie kontaktu pomiędzy stopem, a materiałem ogniotrwałym retort do wytopu cynku. Przeprowadził analizy chemiczne i petrologiczne materiału ogniotrwałego i żuźla. Wyszczególnił dwa główne rodzaje reakcji zachodzących pomiędzy materiałami ogniotrwałymi a wsadem hutniczym. Pierwszym z nich były reakcje pomiędzy fazami gazowymi, a materiałem ogniotrwałym. W wyniku tych reakcji część składników wsadu (PbO, As, Zn, alkalia) migrowała w głąb materiału ogniotrwałego, tworząc fazy szkliste wzbogacone w pierwiastki pochodzące ze stopu. Drugi rodzaj reakcji dotyczył reakcji pomiędzy fazą płynną a materiałem ogniotrwałym. Reakcje między stopionym wsadem a materiałami ogniotrwałymi poprzez różnicowanie grawitacyjne i topnienie materiałów

ogniotrwałych prowadziły do powstania faz o wysokiej zawartości pierwiastków ciężkich. W wyniku reakcji pomiędzy ciekłym stopem a okładziną również składniki materiałów ogniotrwałych migrowały do stopu, tworząc następnie fazy wzbogacone tym materiałem. Doktorant zwrócił również uwagę, że żużle zawierające fazy wzbogacone w Pb i As stanowią duże zagrożenie dla środowiska.

Celem ostatniej z cyklu publikacji (7): *Kupczak, K., Warchulski, R. 2024. SLAG—software for reconstruction of historical smelting processes based on slag properties*, była chęć udostępnienia osobom niemającym wiedzy z zakresu termodynamiki oraz badań reologicznych, narzędzia do dokonywania rekonstrukcji procesów hutniczych. Autor wykorzystując język programowania Python opracował program SLAG, umożliwiający określanie podstawowych parametrów wytopu jak temperatura likwidusu, lepkość stopu oraz lotności tlenu i siarki podczas wytopu. Wybierając odpowiedni model do obliczania temperatury i lepkości, uzyskał wyniki, których dokładność jest często wyższa niż w przypadku innych narzędzi. Zaletą oprogramowania SLAG jest również możliwość tworzenia diagramów PAD dla dowolnej temperatury, co eliminuje ograniczenia związane z dostępnością wykresów w literaturze. Do zaprezentowania możliwości oprogramowania Doktorant wykorzystał wyniki analiz składu chemicznego i fazowego żużli hutniczych pochodzących z historycznej produkcji Cu oraz Pb. Rezultaty wykazały, że oprogramowanie SLAG przy wykorzystaniu odpowiednich dla analizowanego materiału modeli może być skutecznie stosowane podczas rekonstrukcji procesów hutniczych.

Przedstawione przez Doktoranta publikacje układają się w przemyślany ciąg logiczny, świadczący o wysokim poziomie merytorycznym wykonanych badań i wyróżniającym się warsztacie naukowym. Praca stanowi bardzo dużą wartość naukową. Doktorant bardzo precyzyjnie wskazał koncepcję i narzędzia badawcze, dzięki którym potrafił precyzyjnie dokonać rekonstrukcji historycznych metod wytopu metali na terenie Polski.

Z obowiązku recenzenta chciałbym zwrócić uwagę na kilka kwestii:

1. Jak Doktorant sam pisze w Komentarzu wprowadzającym do rozprawy doktorskiej (str.9) i metodyce (str.18), żużle stanowią materiał do ponownej przeróbki np. jako kruszywo drogowe. Z tego względu składowiska historycznych żużli są intensywnie eksploatowane. Nasuwa się więc pytanie czy pobrane w wielu miejscach próbki żużli są reprezentatywne? Może najlepsze żużle zostały już wyeksploatowane i pozostały tylko materiały gorszego gatunku? Jakie było kryterium poboru próbek do analiz? Ze swojej wieloletniej przemysłowej praktyki hutniczej mogę podać przykłady, kiedy żużle, które tworzyły się podczas nieprawidłowej pracy pieca hutniczego były wylewane na osobnych stanowiskach, aby nie obniżać jakości reszty tego materiału. Badając takie żużle można wyciągnąć nieprawidłowe wnioski co do procesu wytopiania metali.
2. Na str. 13, gdzie Autor opisuje techniki odtwarzania historycznych procesów hutniczych, jest stwierdzenie: Z termodynamicznego punktu widzenia, im wyższa temperatura, tym efektywniej można prowadzić wytop. Z tego powodu w czasach historycznych hutnicy manipulowali składem chemicznym wsadu hutniczego poprzez dodawanie topników, tak aby możliwe było efektywne oddzielenie pożądanego metalu w możliwie najniższej

temperaturze. Chciałem zwrócić uwagę, że to stwierdzenie nie dotyczy tylko czasów historycznych. Dodawanie odpowiednich topników jest jednym z podstawowych działań współczesnego metalurga, które umożliwia uzyskanie odpowiedniej temperatury, lepkości, lotności tlenu, itd. w procesie, przy minimalnych kosztach wytwarzania.

3. Na str. 33 – Wytworzenie programu ułatwiającego wykonywanie rekonstrukcji historycznych procesów hutniczych, Doktorant stwierdza: Wykorzystując język programowania Python oraz biblioteki pozwalające na tworzenie aplikacji z graficznym interfejsem opracowano oprogramowanie SLAG 1.0. Natomiast w oświadczeniu o własnym wkładzie w powstanie pracy (publikacja 7) jest stwierdzenie: przygotowanie kodu w języku Python, testowanie oprogramowania itd.

Czy mam to rozumieć, że zadaniem Doktoranta było przygotowanie niezbędnych danych wejściowych do programu, testowanie gotowego programu a sam program i interfejs został wykonany przez specjalistów-programistów ?

Zawarte w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i oczekuję, że Doktorant odniesie się do nich w trakcie obrony. Nie umniejszają one mojej wysokiej oceny rozprawy doktorskiej. Jego wkład do światowej nauki został już dostrzeżony i doceniony opublikowaniem wyników badań w renomowanych czasopismach specjalistycznych.

PODSUMOWANIE

Stwierdzam, że wyniki z przeprowadzonej rekonstrukcji historycznych metod wytapiania metali na terenie Polski stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego mające istotny wpływ na stan wiedzy, dzięki próbie odtworzenia przebiegu procesu hutniczego wraz z określeniem parametrów wytapiania żelaza, złota, miedzi, ołowiu i cynku. Cennym wkładem jest również stworzenie nowatorskiego narzędzia jakim jest oprogramowanie SLAG, które umożliwia osobom niemającym specjalistycznej wiedzy z zakresu termodynamiki oraz badań reologicznych, dokonywania rekonstrukcji procesów hutniczych.

Doktorant wykazał się biegłością stosowania różnorodnych metod analitycznych i udowodnił, że poznał warsztat badawczy w szerokim zakresie, zaczynając m.in. od obserwacji mikroskopowych z wykorzystaniem mikroskopu optycznego i skaningowego, mikroanalizę rentgenowską (EPMA), poprzez analizy chemiczne i fazowe oraz eksperymenty wysokotemperaturowe. Wykorzystał w swoim warsztacie badawczym nawet datowanie izotopowe do określenia wieku żuźla. Bardzo pożądaną umiejętnością Doktoranta jest również znajomość języka Python do tworzenia oprogramowania.

Cel rozprawy doktorskiej został w pełni osiągnięty, a wyniki badań zostały rozpowszechnione w renomowanych czasopismach.

Biorąc pod uwagę ogrom pracy, jaki został włożony przez Pana mgr inż. Krzysztofa Kupczaka w przeprowadzenie badań, jak też w opracowanie otrzymanych wyników oraz ich interpretację, stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742) i **wniosuję o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Kupczaka do publicznej obrony rozprawy.**

Biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy badań, nowatorską metodykę odtwarzania przebiegu procesu wytapiania w/w metali, stworzenie oprogramowania SLAG, które umożliwia osobom niemającym specjalistycznej wiedzy, dokonywania rekonstrukcji procesów hutniczych oraz to, że wyniki badań zostały opublikowane w wysoko punktowanych czasopismach ujętych w wykazie ministra (art. 267 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce), stawiam wniosek o **wyróżnienie rozprawy doktorskiej**.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wierter', is located in the right-center area of the page.

