

dr hab. inż. Radosław WOLNIAK, prof. Pol. Śl.  
Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania

Zabrze 05 grudnia 2017

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Wędrychowicza  
pt: Ocena i analiza wybranego etapu procesu odmiedziowania w aspekcie  
efektywności procesu produkcji miedzi.**

promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Adam Bydałek

Ocenę opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu  
Zielonogórskiego

**Aktualność tematyki rozprawy**

Problematyka procesów produkcyjnych w aspekcie ich jakości, innowacyjności i efektywności technicznej i ekonomicznej jest bardzo istotna we współczesnych procesach przemysłowych. W każdym procesie produkcyjnym mamy do czynienia z licznymi parametrami, które podlegają modyfikacji i które można ulepszać w celu poprawy całego procesu produkcyjnego.

W tym kontekście wybór tematu przez Doktoranta można uznać za słuszny i wartościowy z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Zajął się on w swej rozprawie parametrami możliwymi do modyfikacji w procesie odmiedziowania żużla zawieszinowego w celu poprawy efektywności tego procesu.

Autor w szczególności skoncentrował się na cennych badaniach mało rozpoznanych do tej pory zagadnień dotyczących uzupełnienia danych w zakresie lepkości dwóch rodzajów żużli. Jednym z nich jest żużel pochodzący z Huty Miedzi Głogów II, natomiast drugi jest żużlem zawieszinowym poddanym procesowi odmiedziowania w warunkach laboratoryjnych.

Problemem w procesie produkcyjnym jest fakt, iż około jednej trzeciej energii całego procesu jest zużywana na rozkład węgla wapnia, co generuje spory koszt. Zmiana procesu pozwalająca na ograniczenie jego energochłonności pozwoliłaby na poprawę ekonomiczności procesu produkcyjnego. W szczególności interesujące jest określenie innych niż stosowany węgiel wapnia dodatków. Dodatkowo z naukowego punktu widzenia bardzo istotne jest poznanie zjawisk dotyczących mechanizmów zachodzących wewnątrz struktury żużla by wytłumaczyć zachowanie się jonów tlenkowych i zagadnienia związane z lepkością materiału.

### **Ocena formalna pracy - układ i język pracy**

Praca jest napisana poprawnym, ścisłym językiem, błędy edytorskie i literówki są nieliczne i nie mają negatywnego wpływu na wartość rozprawy.

Recenzowana rozprawa obejmuje 132 strony i podzielona została na szesnaście punktów / rozdziałów. Dodatkowo na początku rozprawy załączono wykaz najważniejszych oznaczeń przedstawiający wyjaśnienie symboli w niej stosowanych i ułatwiający czytelnikowi orientację w treści rozprawy.

1. Wstęp – w którym scharakteryzowano cele przedsiębiorstwa wraz z ich kategoriami, przedstawiono cele i budowy funkcjonowania systemów produkcyjnych oraz zarysowano ogólną tematykę rozprawy.
2. Proces produkcyjny żużla zawiesinowego jako system produkcyjny. W rozdziale opisano szczegółowo proces produkcyjny występujący w KGHM, w szczególności koncentrując się na procesie odmiedziowania żużla zawiesinowego. Przeanalizowano parametry mające wpływ na ten proces i określono wektory wejścia i wyjścia z procesu.
3. Charakterystyka procesu odmiedziowania żużla zawiesinowego. W rozdziale przedstawiono kwestie dotyczące procesu redukcji  $\text{Cu}_2\text{O}$  z żużla zawiesinowego. Omówiono redukcję bezpośrednią i pośrednią, zaprezentowano analizy dotyczące czasów opadania cząstek miedzi w żużlu, przeanalizowano zapotrzebowanie energetyczne procesu odmiedziowania żużla, opisano stężenie graniczne miedzi w żużlu oraz przedstawiono rolę lepkości żużla zawiesinowego w procesie odmiedziowania.
4. Analiza możliwości ustalenia jakości żużli. W rozdziale Autor scharakteryzował wpływ budowy żużli na kryteria jakościowe. Omówił charakterystykę cząsteczkową



żuźli, oraz jonową teorię budowy żuźli. Następnie przedstawił analizę struktury żuźli pochodzących z badanego podmiotu – Huty Miedzi „Głogów II” dokonując analizy mechanizmu sieciowania ich struktury pod kątem zmian właściwości reologicznych. W dalszej części rozdziału szczegółowo scharakteryzowano wpływ, jaki ma zmiana lepkości żuźli, na jakość procesu odmiedziowania.

5. Krytyczna analiza metod oceny jakości żuźli poprzez pomiary lepkości żuźli metalurgicznych. W rozdziale dokonano charakterystyki stosowanych metod pomiaru jakości żuźli, w tym w szczególności: metody przepływu kapilarnego opartej na prawie Hagena-Poiseullea, metody opadającego ciała opartej na prawie Stokesa, metody oscylacyjnej oraz metody rotacyjnej.
6. Analiza możliwości wielokrotnej optymalizacji procesu produkcyjnego miedzi w procesie odmiedziowania żuźla. W rozdziale przedstawiono zagadnienia dotyczące dyrektyw BAT odnośnie produkcji miedzi oraz wykonano analizę SWOT dla obecnej technologii odmiedziowania żuźla zawiesinowego.
7. Cel, zakres i hipotezy badawcze.
8. Metodyka badawcza. W rozdziale scharakteryzowano zastosowaną aparaturę badawczą oraz układ pomiarowy.
9. Operacje wstępne do pomiarów lepkości żuźli. W rozdziale zostały omówione kwestie dotyczące przygotowania próbek żuźla zawiesinowego oraz odmiedziowanego, przedstawiono kalibrację penetratorów wykonanych z molibdenu oraz stali żaroodpornej, ustalono ciśnienie parcjalne tlenu dla użytych w badaniach gazów oraz zaprezentowano rozkład temperatury w piecu oporowym i cechowanie termopary.
10. Badania własne. W rozdziale zawarto wyniki prowadzonych badań własnych. W szczególności przedstawiono w nim ocenę wpływu temperatury oraz atmosfery gazowej na wartość lepkości żuźla zawiesinowego, analizę wpływu temperatury oraz atmosfery gazowej na wartość lepkości żuźla odmiedziowanego, ustalenie wpływu tlenków zasadowych na lepkość żuźla odmiedziowanego oraz określono optymalne stężenie tlenku wapnia dla żuźla odmiedziowanego.
11. Analiza kosztów procesu odmiedziowania w KGHM. W kolejnym rozdziale dokonano analizy kosztów procesu odmiedziowania koncentrując się na porównaniu kosztów w klasycznym procesie (dodawanie węgla wapnia) oraz w sytuacji dodawania zamiast niego fluorytu.
12. Optymalizacja procesu odmiedziowania żuźla zawiesinowego poprzez zastosowanie nowego dodatku technologicznego.

13. Podsumowanie i wnioski.
14. Literatura. Autor wykorzystał 117 pozycji literaturowych.
15. Spis rysunków.
16. Spis tabel.

### **Cele pracy i hipotezy badawcze**

Celem głównym recenzowanej rozprawy jest: *Ocena i analiza wybranego etapu procesu odmiędziowania żużla zawieszinowego w aspekcie efektywności procesu produkcji miedzi.*

Do celu głównego Autor postawił następujące cele szczegółowe:

- uzupełnienie danych literaturowych lepkości żużli pochodzących z procesu;
- ustalenie lepkości żużli zawieszinowych oraz odmiędziowanych;
- ustalenie kryteriów jakościowych żużli na podstawie pomiarów reologicznych ciekłych żużli zawieszinowych oraz obecnego stanu wiedzy na ich temat;
- ustalenie granicznego stężenia tlenu wapnia w żużlu, którego przekroczenie nie powoduje spadku lepkości żużla;
- ustalenie wpływu dodatków tlenków zasadowych na lepkość żużla zawieszinowego oraz odmiędziowanego.

W rozprawie sformułowano hipotezę główną w brzmieniu:

Istnieje możliwość optymalizacji procesu odmiędziowania żużla zawieszinowego, która wpłynie na zwiększenie efektywności całego procesu odmiędziowania.

Oraz hipotezę szczegółową:

Zmiana dodatku technologicznego w obecnym procesie odmiędziowania żużla zawieszinowego na dodatek mniej energochłonny, wpłynie na czas prowadzenia procesu, zużycie energii elektrycznej oraz ilości miedzi zawartej w żużlu odpadowym.

Doktorant zrealizował w swej pracy określone cele badawcze, oraz odpowiedział na postawione hipotezy. Proces wnioskowania jest prawidłowy, charakterystyczny dla nauk technicznych.



## Ocena merytoryczna pracy

W rozprawie Doktorant wykazał się dobrą znajomością zagadnień fizykochemicznych dotyczących kwestii związanych z żużlami ich lepkością. Również wykazał się dobrą znajomością aparatu matematycznego.

Autor słusznie zwrócił w rozprawie uwagę na ekonomiczne aspekty procesów produkcji – w tym przypadku odmiedziowania żużla. Dokonał interesujących badań mających na celu ograniczenie energii zużytej na jedną tonę przerabianego materiału. Aby tego dokonać trzeba przygotować żużel o odpowiednim składzie chemicznym, takim, który umożliwi minimalizację zużycia energii elektrycznej. W opisanym procesie Doktorant prawidłowo skoncentrował się na wpływie lepkości na proces ponieważ jest to parametr, który ma na niego duży wpływ i dynamicznie się zmienia. Nadmierna lepkość żużla powoduje spowolnienie mieszania się żużla w wyniku trudności z przepływem gazów procesowych przez jego warstwę, natomiast zbyt płynny żużel powoduje szybsze zużycie się pieca. Na lepkość żużla wpływają również tlenki zasadowe.

Problem naukowy został prawidłowo rozwiązany. Zaproponowane przez Doktoranta rozwiązanie wydaje się celowe i wartościowe z praktycznego punktu widzenia. Praca ma charakter zarówno naukowy jak i co uważam za pozytywne aplikacyjny, gdyż zaproponowane rozwiązanie może przyczynić się do poprawy efektywności procesu odmiedziowania żużla i ograniczyć jego koszty. Do głównych korzyści zaproponowanego rozwiązania Autor rozprawy zaliczył: zwiększenie udziału miedzi w stopie, obniżenie kosztów produkcji, a także zmniejszenie energii elektrycznej oraz skrócenie czasu prowadzenia procesu.

Cenne w pracy jest również określenie jakościowych parametrów jakimi powinny charakteryzować się żużle z procesu zawieszinowego.

Autor bardzo sprawnie posługuje się metodami ilościowymi, natomiast wykorzystanie przez niego jakościowych metod heurystycznych takich jak analiza SWOT czy też oceny punktowe nie zawsze jest całkowicie zgodne z zasadami ich stosowania (uwagi szczegółowe do str. 62-63). Metody te mają swoją konkretną metodologię i nie można ich dowolnie używać bez stosownych wyjaśnień, których w rozprawie brakuje.

Tym, co najbardziej zabrakło recenzentowi w pracy jest dokonanie oceny wagowej efektywności procesu odmiedziowania po dokonaniu zaproponowanych zmian i porównanie jej z wyjściowym procesem. Taka analiza pozwoliłaby szczegółowo pokazać, jakie są zalety przedstawianych w rozprawie propozycji.

Korzyści proponowanych zmian w technologii są opisane chaotycznie i rozproszone w wielu miejscach rozprawy. Warto było je zebrać w postaci jednej tabeli rekapitulującej opisywane korzyści, wtedy byłoby to bardziej przejrzyste dla czytelnika.

#### **Uwagi, pytania i kwestie dyskusyjne:**

- str. 62. Analiza SWOT. Dyskusyjne jest zaliczenie przez Autora rozprawy *produkcji wyłącznie na zlecenie KGHM* do szans w analizie SWOT. Zjawisko to można również uznać za zagrożenie, ponieważ producent jest uzależniony od jednego odbiorcy i w razie jego kłopotów może stracić cały swój rynek zbytu.
- str. 62 – wydaje się, że byłoby interesujące wykonać analizę SWOT również dla zaproponowanych zmodyfikowanych technologii odmiedziowania żużła.
- str. 63. Tabela 6.2 przedstawiająca ocenę wagową poszczególnych kryteriów oceny efektywności procesu odmiedziowania jest wykonana pobieżnie i wymaga wyjaśnień. Należy określić kto nadał współczynniki wagowe poszczególnym kategoriom, czy był to Autor rozprawy, osoba z przedsiębiorstwa, zespół? W tekście brak jakiegokolwiek komentarza do tabeli.
- str. 63. Podobnie jak w przypadku omówionej analizy SWOT byłoby bardzo ciekawe dokonanie oceny wagowej dla zaproponowanej technologii i porównanie jej ze stosowaną obecnie technologią.
- str. 64. Można było dokonać podziału celów na teoriopoznawcze i naukowe.
- str. 102 – Autor pisze, że z przeprowadzonych badań wynika, iż optymalna ilość dodawanego tlenku wapnia do żużła odmiedziowanego nie powinna przekraczać 15% max. Mam pytanie co z tego wynika dla procesu technologicznego, jego jakości oraz kosztowności?
- str. 110 – warto było dokonać porównania (np. w tabeli jak na str. 63) dla proponowanej technologii polegającej na dodawaniu 50t fluorytu zamiast 75t węglanu wapnia do 500t przerabianego żużła.
- str. 111 – Autor przedstawił koszty po wprowadzeniu fluorytu do pieca elektrycznego ale brakuje porównania tych kosztów z kosztami klasycznego podejścia (dodawanie węglanu wapnia).
- str. 112-113 – warto dokonać szczegółowego porównania zastosowanych technologii np. opisując w tabeli ich parametry lub zalety, aby było to bardziej przejrzyste.

Podsumowując stwierdzam, że dysertacja doktorska Pana mgr inż. Macieja Wędrychowicza spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, zgodnie z art.13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. 2003 r., nr 65, poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Mając to na uwadze, wnoszę do Wysokiej Rady o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

