

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Ronalda Urbańczyka
pt. „Analiza możliwości obniżenia energochłonności procesu podgrzewania
rud żelaza w tunelu rozmrażalniczym”

1. Dane ogólne.

Oceniana rozprawa doktorska została wykonana w Instytucie Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, pod naukowym kierownictwem dr hab. inż. Marcina Szegi, prof. Pol. Śl., promotora oraz dr inż. Andrzeja Sachajdaka, promotora pomocniczego. Rozprawa składa się z 9 rozdziałów a ponadto wykazu ważniejszych oznaczeń, spisu treści i spisu literatury. Do rozprawy dołączono jej streszczenia w językach polskim i angielskim oraz załącznik z wynikami obliczeń rachunku wyrównawczego. Łącznie rozprawa liczy 171 stron i zawiera 25 tabel oraz 90 fotografii i rysunków, przedstawiających badane obiekty i wyniki obliczeń numerycznych.

2. Uzasadnienie tematyki rozprawy.

Zgodnie z tytułem, przedmiotem dysertacji jest analiza możliwości obniżenia energochłonności procesu podgrzewania rud żelaza, dostarczanych do huty otwartymi wagonami kolejowymi, przed ich wyładunkiem w okresie zimowym. Obiektami analizy są tunelowe rozmrażalnie wagonów zlokalizowane na terenie huty AcellorMittal Poland S.A. w Dąbrowie Górniczej. Dla zrealizowania zaplanowanego zadania wykonano badania eksperymentalne zarówno o charakterze laboratoryjnym, jak i przemysłowym. Walidacja i uwiarygodnienie wyników pomiarów mają charakter uzupełniający, choć stanowią znaczną część recenzowanej rozprawy. Wyniki badań porównano z rezultatami obliczeń numerycznych opartych na własnych propozycjach modeli wymiany ciepła, zarówno w warstwie rozmrażanej rudy, jak i w całym tunelu rozmrażalniczym.

Recenzowana rozprawa ma wyraźny charakter aplikacyjny, stanowiący w znacznej mierze o trudności postawionego przez Autora zadania badawczego. Zaplanowany i zrealizowany w rozprawie kierunek badań naukowych należy uznać za w pełni uzasadniony.

3. Charakterystyka merytoryczna rozprawy.

We wstępie Autor opisał krótko proces przetwarzania różnych rud żelaza na surówkę wielkopiecową i objaśnił kilka podstawowych pojęć z dziedziny hutnictwa, użytecznych dla zrozumienia dalszej części rozprawy.

W rozdz. 2 przedstawiono genezę tematu badawczego, wskazując zarazem na jego techniczno-ekonomiczne uzasadnienie, dotyczące optymalnego funkcjonowania operatora rozmrażalni wagonów i przez to możliwości ograniczania ilości ciepła dostarczanej do rozmrażanej rudy. Opisano również proces podgrzewania zamrożonych powierzchniowo rud żelaza w

analizowanej szczegółowo w rozprawie rozmrażalni szerokotorowej huty AcellorMittal Poland S.A. w Dąbrowie Górniczej.

Rozdz. 3 zawiera zakres, cele i tezy recenzowanej rozprawy. Autor przedstawił tu te zadania z zakresu modelowania procesu przepływu ciepła w podgrzewanej rudzie i tunelu rozmrażalniczym, dla których wyniki obliczeń numerycznych poddał weryfikacji w zaplanowanym programie eksperymentalnych badań laboratoryjnych i przemysłowych. Na tej podstawie sformułował trzy tezy dotyczące badanego procesu rozmrażania rudy żelaza: 1) aktualnie realizowany proces podgrzewania rudy w tunelu rozmrażalniczym charakteryzuje się nadmiernym zużyciem gazu koksowniczego; 2) istnieją możliwości obniżenia energochłonności badanego procesu; 3) obniżenie energochłonności jest możliwe poprzez dokładną identyfikację warunków wymiany ciepła w tunelu rozmrażalniczym.

Dwa kolejne rozdziały, rozdz. 4 i rozdz. 5 poświęcone są kolejno laboratoryjnym badaniom eksperymentalnym i badaniom przemysłowym. W rezultacie badań laboratoryjnych opracowano model matematyczny przepływu ciepła w warstwie rudy żelaza, oparty na równaniu przewodzenia ciepła w wilgotnym ciele stałym. Wykonano pomiary zmian w czasie temperatury rudy hematytowej i magnetytowej a także porównano je z wynikami obliczeń numerycznych. Na tej podstawie wyznaczono wartości pojemności cieplnych i zastępczych współczynników przewodzenia ciepła dla obu rodzajów badanych rud żelaza. Wykazano również, że właściwości cieplne obu rodzajów rud żelaza zbliżają się do siebie, gdy zbliżone są zawartości tlenków żelaza.

W badaniach przemysłowych, rozdz. 5, w dwóch kolejnych okresach zimowych, podczas rozmrażania, rejestrowano i analizowano rozkłady temperatury w czasie w zewnętrznych warstwach różnych rud żelaza, dostarczanych wagonami do rozmrażalni. Równocześnie rejestrowano przebiegi zmian temperatury spalin grzewczych. Badania wykonano dla czterech rud magnetytowych i dwóch hematytowych, stosując bezprzewodowe czujniki i rejestratory temperatury oparte na technologii iButton. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że dla sprawnego rozładunku wystarczyło podgrzanie jedynie zewnętrznej warstwy rudy, o średniej grubości około 0,5 m. Zauważono również, że w miejscach instalacji czujników temperatury czas osiągnięcia temperatury 0 °C był krótszy od całkowitego czasu podgrzewania rudy w tunelu rozmrażalniczym. Zdaniem Autora wskazuje to na możliwość skrócenia czasu podgrzewania rudy i przez to obniżenie energochłonności procesu rozmrażania.

W rozdz. 6 zaproponowano własny model matematyczny chłodzenia i podgrzewania rudy żelaza w wagonie kolejowym. Na podstawie obserwacji dla warstw rud żelaza transportowanych wagonami kolejowymi przyjęto geometrię osiowosymetrycznych stożków, z możliwą jej zmianą u podstawy na skutek drgań wagonu w trakcie transportu. Dla każdej powierzchni warstwy rudy zdefiniowano właściwe warunki brzegowe dla równania Fouriera. Jego rozwiązanie dla układu dyskretnego uzyskano stosując oprogramowanie Matlab i niestrukturalną siatkę dwuwymiarową. W modelowaniu pola temperatury w podgrzewanej w wagonie rudy szczególną trudność stanowiła estymacja warunku początkowego, ze względu na niemożność jego pomiaru i rejestracji. W celu weryfikacji stosowanego wcześniej modelu procesu transportu ciepła w warstwie rudy dokonano uproszczonej jego weryfikacji przez porównanie wyników obliczeń symulacyjnych z rezultatami pomiarów przemysłowych.

Rozdz. 7 opisuje próbę zbilansowania energetycznego całego tunelu rozmrażalniczego. W tym celu wykorzystano dane rejestrowane przez przemysłową aparaturę kontrolno –

pomiarową podczas podgrzewania badanych rud żelaza. W celu uwiarygodnienia zużycia gazu koksowniczego przez poszczególne maszynownie (komory grzejne) przyporządkowane do tunelu rozmrażalniczego, zapisywanego w księdze raportowej na podstawie wskazań aparatury pomiarowej, przeprowadzono wstępną oraz zaawansowaną walidację pomiarów. Metoda zaawansowana została oparta na rachunku wyrównawczym. Jako równania warunków przyjęto bilanse energii komór grzewczych tunelu. Do obliczeń wykorzystano dostępne dane pomiarowe, pomiary własne oraz dane z ksiąg raportowych.

Wyniki obliczeń rachunku wyrównawczego zebrano w załączniku 1 na końcu rozprawy. Na podstawie uwiarygodnionych danych (szczególnie zużycia gazu i powietrza do spalania) wykonano bilanse energii tuneli rozmrażalniczych dla wybranych przypadków podgrzewania rud żelaza. Wyniki obliczeń wskazują na niewielką sprawność energetyczną analizowanych procesów, wynikającą głównie ze znacznych strat ciepła do otoczenia.

W rozdz. 8 dokonano symulacji rozkładów temperatury podczas podgrzewania wybranych rodzajów rudy żelaza w oparciu o uprzednio opracowany model matematyczny. Celem tych symulacji była ocena możliwości dokonania oszczędności zużycia gazu koksowniczego, stosowanego do ogrzewania rudy. Poszukiwane oszczędności, zgodnie z wynikami symulacji, można zrealizować poprzez zmniejszenie zużycia gazu na skutek skrócenia czasu podgrzewania wagonów kolejowych.

Rozdz. 9 stanowi zarówno streszczenie, jak i podsumowanie całej rozprawy, w którym zebrano wnioski i podsumowania z poszczególnych rozdziałów.

4. Ocena rozprawy.

4.1. Za podstawowe osiągnięcia naukowe rozprawy należy uznać:

- Poprawnie i konsekwentnie zaplanowany zakres i cele badawcze rozprawy;
- Jasno i wyraźnie sformułowane tezy, których zasadności dowiedziono w toku realizacji rozprawy;
- Wykonanie dwóch rodzajów badań eksperymentalnych, tj. badań laboratoryjnych (za pomocą samodzielnie zbudowanego stanowiska pomiarowego), niezbędnych do wyznaczenia pojemności cieplnej i zastępczej przewodności cieplnej badanych rud żelaza oraz badań przemysłowych, celem identyfikacji przebiegów zmian temperatury podczas ogrzewania rud żelaza w tunelu rozmrażalniczym;
- Skuteczne zastosowanie w badaniach przemysłowych bezprzewodowych czujników i rejestratorów temperatury, opartych na technologii iButton;
- Walidację danych pomiarowych, uzyskanych z przemysłowej aparatury kontrolno – pomiarowej, celem uwiarygodnienia analizy porównawczej wyników obliczeń na podstawie modelu matematycznego i wyników badań przemysłowych;
- Opracowanie modelu matematycznego procesu transportu ciepła w rozmrażanej rudzie żelaza, zarówno w oparciu o dane z badań laboratoryjnych, jak i badań przemysłowych;
- Sporządzenie bilansów energii tuneli rozmrażalniczych, celem wyznaczenia sprawności energetycznej procesów podgrzewania badanych rodzajów rud żelaza;

- Wykazanie możliwości uzyskania poprawy energochłonności badanych procesów cieplnych na podstawie własnych wyników badań eksperymentalnych i obliczeń symulacyjnych.

4.2. Zgłaszam następujące uwagi krytyczne do recenzowanej rozprawy:

- Za najważniejsze uchybienie w uważam brak analizy błędów pomiarowych, ich wpływu na dokładność wyników badań laboratoryjnych i przemysłowych oraz na dokładności symulacji rozkładów temperatury i bilansów energetycznych tuneli rozmrażalniczych. Do pełnej oceny właściwości stosowanych w rozprawie symulacji numerycznych niezbędne jest dokonanie liczbowej oceny błędów obliczeń i weryfikujących je pomiarów. Z tego mankamentu pracy wnoszę, że błędy były duże i większe od oczekiwań Autora. Tym bardziej należy je policzyć i poddać własnej oraz publicznej ocenie.
- Za niewłaściwe uważam nadmierne pomieszanie praktycznych uwag technologicznych z rozważaniami naukowymi, co nie służy poprawnej konstrukcji rozprawy;
- Często występujące w rozprawie „jednokolorowe” rozkłady temperatury w warstwie rudy stałyby się czytelne po opatrzeniu izolinii wartościami liczbowymi.
- Moim zdaniem nadmierna ilość podobnych do siebie termogramów utrudnia zrozumienie różnic w procesie rozmrażania różnych rodzajów rud żelaza. Dobrze służyłoby jasności rozprawy ich graficzne skupienie.

Niekorzystnie na ocenę rozprawy wpływają również uchybienia redakcyjne, jak:

- Niepełny spis oznaczeń, bo kryterium „ważniejsze” jest nader rozmyte, a ponadto nie opatrzone ich jednostkami w obowiązującym układzie SI. Prowadzi to do sytuacji, jak w rozdz.7.1, str.107, gdzie cały zbiór równań jest niezrozumiały, jeśli nie sięgnie się do cytowanego podręcznika termodynamiki prof. J Szarguta;
- W opisie mieszanin stosujemy udziały masowe a nie „gramowe”, jak czyni to wielokrotnie Autor rozprawy;
- Najczęściej stosowanym słowem w tekście rozprawy jest słowo „przeprowadzić”. Kreuje to takie sytuacje, jak na str.28, gdzie w kolejnych 12 zdaniach występuje ono pięciokrotnie. Eksperyment niekoniecznie należy przeprowadzić ale z pewnością należy go wykonać, zrealizować a często powtórzyć.

5. Wniosek

Za akt odwagi i zarazem rzetelności naukowej uważam zrealizowanie przez Autora naprawdę przemysłowego zadania badawczego, gdzie szczególnie w obszarze badań eksperymentalnych działał na skraj lub wręcz poza obszarem możliwości dostępnych danych pomiarowych. Przez to przedstawiona mi do oceny rozprawa jest bardzo wartościową pracą eksperymentalno - obliczeniową. Zawiera liczne, ważne i nowe informacje o procesach cieplnych zachodzących w trakcie rozmrażania różnych rodzajów rud żelaza, dostarczanych wagonami do huty. Uzyskane z symulacji komputerowych wyniki mogą służyć obniżeniu energochłonności procesu rozmrażania, a zarazem jako wskazówka do dalszych badań naukowych. Godna podkreślenia jest również umiejętność pogodzenia przez Autora rozprawy obowiązków zawodowych i pracy nad dysertacją.

Autor rozprawy wykazał się umiejętnością samodzielnego planowania i wykonania badań eksperymentalnych, a także szeroką wiedzą w zakresie nowoczesnych technik pomiarowych oraz umiejętnością teoretycznego modelowania przebiegów temperatury w warstwach różnych rodzajów rudy żelaza w tunelach rozmrażalniczych.

Wymienione wcześniej uchybienia są łatwe do usunięcia i mam nadzieję, że zostaną skorygowane w dalszej działalności badawczej Autora.

W podsumowaniu mojej recenzji stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym i może być dopuszczona do publicznej obrony.

W. Walicki