

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Krzysztofa Wańczyka
*pt. „Metodyka optymalnego sterowania w systemach automatycznego
zestawiania wsadu do pieców odlewniczych”*
promotor: dr hab. inż. Eugeniusz Ziółkowski prof. AGH

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi decyzja Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 08.07.2024 roku.

Zasadność podjętego tematu.

W dobie czwartej rewolucji przemysłowej nazywanej przemysłem 4.0, kiedy mówi się już o wdrażaniu w niektórych gałęziach techniki idei przemysłu 5.0, odlewnie poza nielicznymi wyjątkami wciąż stoją u progu przemysłu 4.0. Wdrożenie integracji ludzi oraz sterowanych cyfrowo maszyn z Internetem i technologiami informacyjnymi co oznacza unifikację świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym Internetu i technologii informacyjnej wydaje się w przypadku odlewnictwa stopów żelaza, szczególnie wielkogabarytowego, mało realne, ale czy na pewno? W odlewnictwie integracja ta polega na wirtualizacji całego procesu wytwarzania i użytkowania odlewu począwszy od materiałów wsadowych, a skończywszy na przewidywaniu czasu eksploatacji w założonych warunkach i kosztach recyklingu. Zatem tworzenie i rozwój narzędzi komputerowych do wirtualizacji procesu technologicznego wydaje się niezwykle istotne i uzasadnione szczególnie w kontekście jego optymalizacji, automatyzacji i robotyzacji.

W działania te doskonale wpisuje się rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Wańczyka, w której podjęty został problem optymalizacji namiarowania wsadu do pieców odlewniczych w kontekście automatycznego systemu zestawiania i dozowania materiałów wsadowych. Autor podjął się opracowania uniwersalnego algorytmu optymalizacji namiaru wsadu do pieców odlewniczych połączonego z relacyjną bazą danych, w której gromadzone są wszystkie wielkości niezbędnych do obliczeń i sterowania urządzeniami pola wsadowego, co pozwoli na zautomatyzowanie pola wsadowego tzn. automatycznego namiarowania i dozowania materiałów wsadowych.

Korzyści płynące z takiego rozwiązania są nie tylko ekonomiczne (optymalne wykorzystanie zasobów materiałowych), ale także inżynierskie w aspekcie precyzyjnego kontrolowania i sterowania jakością metalurgiczną i chemiczną wytapianych stopów i w efekcie jakością i właściwościami finalnych odlewów. W związku z tym podjętą w dysertacji problematykę należy uznać za uzasadnioną i wpisującą się w obszar szeroko pojętej inżynierii materiałowej.

Ocena ogólna pracy.

Oceniana praca doktorska napisana jest w języku polskim, składa się z 8 głównych rozdziałów z stosunkowo licznymi podrozdziałami, ponadto zawiera spisy tabel i rysunków oraz liczący zaledwie 48 pozycji wykaz źródeł bibliograficznych, jak na rozprawę doktorską jest to rzadko spotykana liczba. Bibliografia składa się z: 15 odwołań do stron internetowych głównie firm z branży około odlewniczych, 12 do pozycji książkowych z czego 4 z zakresy odlewnictwa pozostałe z zakresu programowania, baz danych oraz technik optymalizacji, lwią część 19 pozycji (niemal 40% literatury) to publikacje autorstwa bądź współautorstwa promotora w tym jedna, której współautorem jest Doktorant, zbiór dopełniają materiały dydaktyczne i wytyczne Ministerstwa Środowiska z 2007 roku. Jeżeli autor nie stwierdza jednoznacznie, że brak jest źródeł literaturowych z obszaru tematycznego dysertacji to należałoby rozszerzyć zbiór analizowanej literatury o publikacje zagraniczne w renomowanych wydawnictwach co wzbogaciłoby rozprawę, a doktorantowi umożliwiłoby realną ocenę wartości uzyskanych efektów na tle aktualnego stanu wiedzy. Praca liczy 86 stron, z czego jej zasadnicza treść zawarta jest na 74 stronach. Proporcje poszczególnych części dysertacji oraz jej układ można uznać za typowy dla tego rodzaju opracowań, chociaż brak jest zwykle zamieszczanego w doktoratach streszczenia z przekładem na język angielski.

Studium literatury zawarte zostało w trzech podrozdziałach rozdziału pierwszego zatytułowanego „Wprowadzenie” i właściwie składa się z: przeglądu stosowanych rozwiązań transportu i załadunku do pieca materiałów wsadowych, analizy wybranych czterech topografii pola wsadowego oraz prezentacji kilku przykładów zastosowań automatycznych suwnic. Czwarty podrozdział stanowi podsumowanie całości z próbą uzasadnienia celowości podjęcia się opracowania algorytmu optymalizacji namiaru wsadu wraz z odpowiednią bazą danych. Przedstawiona analiza dostępnych danych i argumentacja uzasadniająca podjęcie tematyki generalnie jest poprawna, ale nie do końca jej podstawą jest przedstawiony, a raczej jego brak, przegląd literatury. Odnosi się wrażenie, że podstawą uzasadnienia słuszności podjęcia tematu

jest doświadczenie, wiedza i przekonanie o tym autora. Biorąc pod uwagę przytoczone dane i argumenty trudno jest z przedstawionym uzasadnieniem się nie zgodzić.

W kolejnych rozdziałach autor przedstawia tezy, wyznaczone cele oraz zakres działań, których realizacja jest niezbędna do osiągnięcia wytyczonych celów i udowodnienia postawionych tez. Po czym, w rozdziale 4, następuje krótka charakterystyka i analiza matematycznych modeli obliczania wsadu opisanych w literaturze, co właściwie jest fragmentem przeglądu literatury z niewiadomych przyczyn zamieszczonym w części badawczej pracy. Jest to tym bardziej zaskakujące, że przedstawiona analiza doskonale wpisuje się w przedstawioną kilka stron wcześniej podstawę postawionych tez pracy.

Na zasadniczą część rozprawy składają się rozdziały 5, 6 i 7, w których autor przedstawia odpowiednio: własny uniwersalny model optymalizacji namiaru wsadu, zaprojektowaną na potrzeby modelu matematycznego optymalizacji relacyjną bazę danych oraz weryfikację opracowanego systemu optymalizacji namiarowania wsadu w szeregu eksperymentów numerycznych. Całość kończy krótkie podsumowanie z obszernymi dziesięcioma wnioskami.

Pod względem poprawności językowej praca napisana jest bardzo dobrze, Doktorant jasno i logicznie formułuje przekazywane treści używając poprawnej terminologii. Edycja pracy jest staranna chociaż niektóre rysunki szczególnie w rozdziale 6 są niezbyt czytelne. Generalnie odbiór treści nie nastrocza większych trudności. Pomimo starannego opracowania dysertacji Autor nie uniknął pewnych niedociągnięć, które z racji pełnienia funkcji recenzenta zobowiązany jestem wymienić:

1. Str. 20 – „Podane powyżej cele zrealizowane w przyjętym zakresie mają na celu...”
2. W całej pracy Autor używa określenia „technolog” w kontekście osoby odpowiadającej za skomponowanie materiałów wsadowych i prowadzenie wytopu, odpowiedniejszym byłoby jednak stosowanie nazwy metalurg.
3. Stosowanie nazwy „materiał redukujący” dla materiału, którego dodatek ma zmniejszyć zawartość określonego pierwiastka w stopie. Zasadniczo określenie nie jest błędne, jednak w pracy z obszaru metalurgii może wprowadzać pewne zamieszanie i nie powinno być stosowane do określania obniżenia stężenia pierwiastków w stopie.
4. Str. 32 – „Warunek f)...” – powinno być „Warunek h)...”
5. Str. 28, 32, 44 – niemal dosłowne powtórzenie fragmentu: „Przykładem... ..pierwiastka Mg ciekłym stopie.”
6. Stosowanie określenia „...pierwiastka Mg...” np. we fragmencie z uwagi powyżej – przecież w zupełności wystarczy „Mg” lub „magnezu”.

7. Str. 45 – „Na rysunku 17...” – na rysunku 17 przedstawiona została definicja tabeli skl_chem_materialow, a nie przykładowa zawartość tabeli rodzaj_materialu jak wynika z opisu.
8. Str. 75 – „Uwzględnienie układu równań (25) powoduje po przeprowadzeniu obliczeń optymalizacyjnych wyznaczenie ...” - ??? – lepiej brzmiałoby: „Uwzględnienie układu równań (25) w modelu pozwala ...”

Ocena merytorycznej strony pracy.

Pod względem merytorycznym poziom rozprawy można uznać za dobry, zarówno zaplanowany zakres i metodyka analizy problemu, dobór narzędzi i technik analitycznych, programistycznych i obliczeniowych są adekwatne i wystarczające do osiągnięcia postawionych celów i udowodnienia sformułowanych na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy i doświadczeń własnych autora tez. Tezy zasadniczo są poprawnie i jasno sformułowane chociaż druga pod względem logicznym posiada pewne niedociągnięcia mianowicie: model jako taki nie może minimalizować kosztów, ale może to być efekt jego zastosowania, szczególnie „model uwzględniający” lub „w którym zostały uwzględnione” nie zaś „model ... może minimalizować koszt ... z uwzględnieniem...”. Aby udowodnić postawione tezy Doktorant wyznaczył sobie trzy główne cele, których osiągnięcie powinno zaowocować opracowaniem metodyki optymalnego zautomatyzowanego sterowania systemami urządzeń do zestawiania wsadu do pieca odlewniczego, co jest tematem pracy. Wyznaczone cele, które można w skrócie przedstawić następująco: zdefiniowanie modelu obliczania wsadu, zaprojektowanie relacyjnej bazy danych i ustalenie struktury danych sterujących, chociaż wystarczające do udowodnienia postawionych tez, w przypadku realizacji zakończonej sukcesem, to wydaje się, że obejmują tylko fragment tematu rozprawy.

W rozdziale 5 Autor przedstawia szczegółowo opracowany uniwersalny model matematyczny optymalizacji namiaru wsadu do pieców odlewniczych. Na ów model składają się funkcja celu i układ warunków ograniczających. Podstawą do ich opracowania były modele dostępne w literaturze, których analizę zawiera rozdział 4 i o ile zastosowane rozszerzenie funkcji celu o materiały dodatkowe jak: topniki, modyfikatory i substancje zmniejszające stężenie wybranych składników stopu, które jest autorskim rozwiązaniem doktoranta jest jasne to w przypadku układu warunków ograniczających nie zostało określone, które z zastosowanych w opracowanym modelu są zaczerpnięte z wcześniejszych rozwiązań, a które stanowią autorski wkład Doktoranta. W aspekcie obiektywnej oceny dokonań Autora kwestia ta wymaga doprecyzowania. W podrozdziale 5.3 w tabeli 1 doktorant proponuje w zależności od wersji funkcji celu (liniowa bądź nieliniowa) i układu ograniczeń różne metody

programowania matematycznego do rozwiązania zadania optymalizacji, nie wskazuje jednak metody lub metod zastosowanych w pracy. Wspomina jedynie w rozdziale 7.1.1 o wykorzystaniu oprogramowania zawierającego „między innymi algorytm simplex”.

Rozdział 6 zawierający założenia, koncepcję oraz opis opracowania relacyjnej bazy danych dla uniwersalnego modelu obliczania wsadu stanowi najobszerniejszą część rozprawy. Zaprojektowanie odpowiedniej bazy danych kompatybilnej z opracowanym modelem jest w mojej opinii głównym osiągnięciem doktoranta. W konstrukcji bazy danych *topialnia* składającej się z kilkunastu tabel powiązanych odpowiednimi relacjami przyjęte zostało założenie, że „wytwarzanie ciekłego metalu jest uwarunkowane zleceniem (zamówieniem) przez wskazanego klienta”, stąd definicja tabeli *klienci* i *zamówienie*. Wątpliwości co do takiego rozwiązania dotyczą konieczności dostępu do takich informacji na poziomie przygotowywania namiarów wsadowych, zamówienia w odlewni dotyczą zazwyczaj odlewów o określonej geometrii z danego gatunku materiału w określonej klasie jakości z ewentualnymi dodatkowymi warunkami. Skład chemiczny stopu będzie głównie zależeł od gatunku materiału, ale jego jakość chemiczna i metalurgiczna, a zatem ilość i rodzaj „dodatkowych” materiałów wsadowych jak: topniki, rafinatory, ekstraktory czy modyfikatory będzie uzależniona od geometrii odlewu (grubość ścianki/szybkość krystalizacji), wymaganej struktury i klasy jakości. Czy korzystniej nie byłoby oprzeć konstrukcji bazy na tabelach typu: stop/gatunek, klasa jakości i ilość, czyli tylko danych istotnych przekazywanych z działu zamówień i biura technologa?

Baza danych zaprojektowana została z możliwością dostosowania do warunków i wyposażenia odlewni stąd oddzielne tabele do zdefiniowania pieców, zasobników i typu sterowania. Możliwość zastosowania opracowanego systemu w dowolnej odlewni dodatkowo stanowi o jego uniwersalności jednak szczególnie w dużych odlewniach może pojawić się potrzeba optymalizowania czasu przygotowania wsadu, czy opracowany system można do tego adoptować? Jeśli tak, to w jaki sposób?

Weryfikację funkcjonalności opracowanego modelu w sprzężeniu z bazą danych z uzupełnionymi tabelami o dane przeprowadzono w dwóch cyklach eksperymentów numerycznych. W pierwszym optymalizowano namiar pojedynczej 975 kilogramowej porcji wsadu dla żeliwiaka w czterech eksperymentach z zastosowaniem w każdym z nich różnych ograniczeń/wymuszeń. Niestety Autor nie podał gatunku docelowego żeliwa, a jedynie wymagane zakresy zawartości podstawowych pierwiastków we wsadzie, dla procesu weryfikacji nie ma to znaczenia, ale dla całościowej merytorycznej oceny byłaby to cenna informacja. W drugim cyklu zoptymalizowany został namiar wsadu do wytopu 24 ton wybranego stopu aluminium, tutaj także Autor nie podaje o jaki konkretnie gatunek chodzi, a na podstawie podanego w tabeli 8 wymaganego końcowego składu chemicznego materiału

trudno jednoznacznie to stwierdzić. Podobnie jak w cyklu pierwszym przeprowadzone zostały cztery eksperymenty z zastosowaniem różnych ograniczeń/wymuszeń.

We wszystkich eksperymentach kryterium optymalizacyjnym był sumaryczny koszt materiałów wsadowych reprezentowany przez wskaźnik ceny wsadu. Wartość wskaźnika wynikała z normalizacji cen materiałów wsadowych pozyskanych z kilku polskich odlewni. Niestety Autor nie podaje ile tych odlewni było i danymi dla ilu materiałów przed ewentualną selekcją dysponował. Z wiadomych względów informacji handlowych nie mógł Doktorant ujawnić, ale nazwy Odlewni, a przynajmniej ich liczba i profil produkcji powinny zostać podane ze względu na możliwość oceny adekwatności pozyskanych danych.

Analizę uzyskanych wyników eksperymentalnej weryfikacji opracowanego systemu optymalizacji Autor podsumowuje stwierdzeniem „...potwierdza użyteczność opracowanego modelu optymalizacji...” z czym w świetle przedstawionych analiz i wyników obliczeń trudno się nie zgodzić. Tym samym osiągnął postawiony cel opracowania systemu generującego dane sterujące dla zautomatyzowanych topialni.

Formatowanie rozdziału ostatniego zatytułowanego „podsumowanie i wnioski” sugeruje, że zawiera on 10 ponumerowanych wniosków, jednak treść pierwszych pięciu to właściwie podsumowanie pracy z odniesieniem do przeglądu literatury i podstaw podjęcia tematu punkty 1, 2 i 3 oraz osiągniętych efektów punkty 4 i 5. Pozostałe punkty stanowią wnioski w większości dosyć ogólnie acz poprawnie i trafnie sformułowane.

Pomimo ogólnego dobrego poziomu merytorycznego rozprawy Autor nie ustrzegł się pewnych niedoskonałości wymagających uzupełnienia lub skłaniających do polemiki. Częściowo uwagi i pytania zostały już zwarte w treści recenzji jednak proszę ponadto o ustosunkowanie się do następujących kwestii:

1. Które z warunków ograniczających zastosowanych w opracowanym modelu to „...nie brane dotychczas pod uwagę czynniki technologiczne i ekonomiczne.” (str. 26)?
2. Jakie oprogramowanie i jakie algorytmy zostały wykorzystane do optymalizacji w numerycznej weryfikacji opracowanego modelu?
3. W zaprojektowanej bazie danych przewidziano odpowiednią relację na wypadek złożenia kilku zamówień przez tego samego klienta (ten sam stop), czy przewidziano relację odwrotną realizację zamówień (ten sam stop) od kilku klientów na zasadzie łączenia wytopów?
4. Na stronie 75 Autor stwierdza, że wartość wskaźnika jednostkowej ceny wsadu w eksperymencie 7 wynosi 0,4107 i jest „prawie porównywalna” z wartością uzyskaną w eksperymencie 6. W eksperymencie 6 uzyskano wartość 0,4105, czyli wartość niemal identyczną. Jakimi kryteriami oceny kierował się Autor stwierdzając, że te dwie wartości są zaledwie porównywalne?

5. W tabeli 11 zestawione zostały wyniki weryfikacji numerycznej dla drugiego cyklu eksperymentów, dla założonego zakresu stężenia krzemu w docelowym siluminie 8 – 11% obliczone maksymalne stężenie wahało się od 8,32 do 8,75 w zależności od zastosowanych ograniczeń, czyli w dolnym zakresie wymaganego stężenia (dolne 25% całego zakresu). Otrzymane wyniki wyglądają niepokojąco, czy zdaniem Autora nie powinno zostać zastosowane dodatkowe kryterium oprócz kosztów?

Podsumowanie

Opiniowaną dysertację mimo stwierdzonych pewnych niedoskonałości oceniam pozytywnie, a zamieszczone w recenzji uwagi nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy. Mam jednocześnie nadzieję, że będą one przydatne przy przygotowaniu publikacji lub planowaniu kolejnych badań. Kandydat w sposób poprawny zrealizował zaplanowany zakres badawczy przez co osiągnął postawione sobie cele, a tym samym zrealizował zakres merytoryczny pracy wykazując słuszność postawionych tez. Podjął problem, którego rozwiązanie ma istotne znaczenie z punktu widzenia przede wszystkim wartości aplikacyjnej. Mgr inż. Krzysztof Wańczyk wykazał się znaczącą wiedzą w zakresie modelowania, sterowania i optymalizacji procesów namiarowania, a stosowane przez niego metody i techniki badawcze, w szczególności opracowanie uniwersalnego modelu obliczeniowego i relacyjnej bazy danych świadczą pozytywnie o Jego przygotowaniu do pracy badawczej oraz zdolności do samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia eksperymentu naukowego.

Reasumując uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Wańczyka ma charakter oryginalnej pracy naukowej i zawiera istotne elementy poznawcze. Wykazał się On wiedzą umożliwiającą samodzielne prowadzenie badań naukowych, a Jego praca jest oryginalnym i użytecznym osiągnięciem stanowiącym istotny wkład w stan wiedzy w reprezentowanej dyscyplinie. Na podstawie szczegółowej analizy przedłożonej mi do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Wańczyka pt. *„Metodyka optymalnego sterowania w systemach automatycznego zestawiania wsadu do pieców odlewniczych”*, wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. Eugeniusz Ziółkowski prof. AGH, **stwierdzam, że praca ta spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w Ustawie „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami i na tej podstawie wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa w Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Wańczyka do publicznej jej obrony.**

/dr hab. inż. Dariusz Bartocha Prof. PŚ/

Gliwice 23.08.2024

