

Prof. dr hab. inż. Bogdan Garbarz
bogdan.garbarz@git.lukasiewicz.gov.pl
☎ +48 32 2345 249
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnśląski
Instytut Technologiczny
44-100 Gliwice
ul. K. Miarki 12-14

Gliwice, 06.05.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Suchan pt.:

„Rola hydrodynamiki strumienia zasilającego kadź pośrednią w interaktywności faz ciągłych”

wykonanej w Katedrze Metalurgii i Technologii Metali na Wydziale Inżynierii Produkcji i
Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej

1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej *Inżynieria Materiałowa* Politechniki Częstochowskiej (pismo z dn. 18.03.2024 r.), zgodnie z zasadami zawartymi w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce: Dział V - stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki (t. j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.).

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr inż. Hanny Suchan pt.: **„Rola hydrodynamiki strumienia zasilającego kadź pośrednią w interaktywności faz ciągłych”** przedstawiona do obrony w dyscyplinie naukowej *Inżynieria Materiałowa*. Promotorem rozprawy jest Pan dr hab. inż. Adam Cwudziński, prof. PCz. Recenzowana rozprawa ma postać jednotomowego manuskryptu w języku polskim. Jednostronicowe streszczenie rozprawy w języku angielskim dołączono jako oddzielny dokument. Rozprawa obejmuje 198 strony i zawiera 139 rysunków w postaci wykresów, diagramów, schematów i fotografii oraz 5 tablic.

3. Cel i teza rozprawy

Doktorantka Pani mgr inż. Hanna Suchan – zdobywająca obecnie doświadczenie naukowe w obszarze teorii i aplikacji badań z zakresu metalurgii metali, wybrała jako tematykę swojej pracy doktorskiej zbadanie możliwości zastosowania nowego typu wylewów osłonowych strumienia stali z kadzi głównej do kadzi pośredniej w linii technologicznej ciągłego odlewania stali. Motywacją do opracowania nowego typu wylewu osłonowego było uzyskanie zmiany hydrodynamiki strumienia stali zasilającego kadź pośrednią oraz mechanizmu oddziaływań w kadzi pośredniej pomiędzy stałą ciekłą, żużłem i powietrzem atmosferycznym, aby w rezultacie uzyskać poprawę jednorodności i czystości metalurgicznej stali oraz zmniejszyć objętość strefy przejściowej w trakcie sekwencyjnego odlewania różnych gatunków stali. Jako ogólną metodę osiągnięcia celu pracy zastosowano analizę fizyczną i numeryczną procesów interakcji stali ciekłej i ciekłego żużła współistniejących w kadzi

pośredniej w trakcie ciągłego odlewania. Wybrana tematyka rozprawy jest zgodna z najnowszymi kierunkami proekologicznego rozwoju tradycyjnych technologii produkcyjnych, do których należy wytwarzanie stalowych półwyrobów i wyrobów. Sformułowana przez Doktorantkę teza pracy sprowadza się do stwierdzenia, że zaproponowana nowa konstrukcja wylewu osłonowego z głowicą wylewową z więcej niż jednym otworem spowoduje takie zmiany przepływów stali w kadzi pośredniej, które jednocześnie zmniejszą objętość przepływu stagnacyjnego i ograniczą efekt zmywania żużla z powierzchni stali.

Jako kryteria wyboru najlepszej konstrukcji z zaproponowanych do testów wylewów osłonowych, Doktorantka ustaliła jednocześnie spełnienie dwóch warunków:

- obniżenie procentowego udziału przepływu stagnacyjnego w kadzi pośredniej oraz
- zmniejszenie pola powierzchni stali ciekłej nie pokrytej żużlem, tj. zmniejszenie tzw. „oka żużlowego”.

Biorąc pod uwagę aktualny stan wiedzy w obszarze teorii i technologii ciągłego odlewania stali, cel pracy należy uznać jako nowatorski i ambitny.

4. Ocena poziomu edytorskiego rozprawy

4.1. Kompozycja edytorska rozprawy

Zasadnicza część rozprawy obejmuje cztery główne rozdziały następujące po sobie zgodnie ze standardową kolejnością stosowaną w pracach naukowych, tj. wstęp, część literaturową, część doświadczalną oraz wnioski. Zastosowany układ merytoryczny i kolejność przedstawionych wyników badań pozwala na ogół w sposób bezproblemowy śledzić wywód naukowy Doktorantki, poza wyjątkami wymienionymi w dalszej części recenzji. Opracowanie poprzedzone jest spisem treści i wykazem użytych symboli, a przy symbolach wielkości fizycznych podano jednostki zgodne z układem SI. Rozdział pierwszy jest wstępem przedstawiającym motywację wyboru tematu badań na tle rozwoju ciągłego odlewania stali oraz główny cel pracy i istotę problemu do rozwiązania. Rozdział 2 jest obszernym 48. stronicowym przeglądem literatury przedstawiającym naukowy i technologiczny stan wiedzy z zakresu technologii kadzi pośredniej w linii ciągłego odlewania stali i obejmuje następujące zagadnienia: ogólny opis technologii COS, funkcje i budowa kadzi pośredniej i wylewu osłonowego, hydrodynamika i oddziaływanie faz ciągłych w kadzi pośredniej – stali, żużla i powietrza atmosferycznego, kryteria podobieństwa dla przepływów jednofazowych i wielofazowych oraz opis i wykorzystanie krzywych czasu przebywania stali w kadzi pośredniej (RTD – typu E i typu F). Część literaturowa zakończona jest podsumowaniem. W podrozdziałach rozdziału 3 Doktorantka

przedstawiła cel i tezę rozprawy oraz wyniki badań i ich dyskusję. W ostatnim rozdziale 4 Autorka zamieściła wnioski z wykonanych badań i analiz.

4.2. Poziom edytorski i językowy

Jakość edytorska tekstu, czytelność diagramów i wykresów oraz fotografii są na dobrym poziomie, z nielicznymi wyjątkami, do których należy np. niewystarczająca rozdzielczość punktów reprezentujących poszczególne krzywe RTD na wykresach na rys. 74, str. 107. W pracy występuje stosunkowo mała liczba błędów literowych oraz usterek językowych i redakcyjnych, których doliczyłem się w sumie ok. 20.

Istotniejsze usterki redakcyjne, błędy rzeczowe lub braki w opisie występują w pracy w następujących miejscach:

- w spisie treści punktom od 3. do 3.2.1 powinna być przyporządkowana str. 58, a nie 57;
- na str. 5 w *Spisie symboli*, V powinno być opisane jako objętość modelu (kadzi), a V_m jako objętość idealnego mieszania (tak jak na str. 55 – ideal mixing volume);
- nie wszędzie w pracy podano wielkości fizyczne w jednostkach zadeklarowanych w *Spisie symboli*, np. powierzchnię „oka żuźlowego” - TOE podano m^2 (str. 39) lub w cm^2 (str. 42, 44);
- na str. 15 zamiast „tlenosiarczki” powinno być „tlenkosiarczki”;
- podpis pod rys. 4, str. 22 jest niepełny, nie podano nazw wszystkich wylewów;
- brak odnośnika źródłowego w stosunku do wzoru (3) na str. 37;
- opis schematu na rys. 38 (str. 55) przeniesionego z pozycji literaturowej [166] jest niepełny, istota schematu jest podana w tekście artykułu [166] oraz w innych źródłach literaturowych; zamieszczone schematy reprezentują **mechanizmy alternatywne**: schemat z lewej strony reprezentuje „moving dead zone” – strefę stagnacyjną z przepływem (nowej stali), a schemat z prawej strony reprezentuje „stagnant dead zone” strefę stagnacyjną z wymianą stali ze strefą aktywną;
- na str. 56 pierwszy wiersz od góry jest „.....wprowadzenie znacznika skokowo skutkuje otrzymaniem krzywej RTD typu F”, a powinno być „wprowadzanie znacznika **w sposób ciągly** skutkuje otrzymaniem krzywej RTD typu F”;
- na rys. 50 (str. 80) i dalszych tego typu schematach nie podano jednostek prędkości strumienia na pasku skali – [m/s].

4.3. Zestawienie i wykorzystanie materiałów źródłowych

Przegląd aktualnej wiedzy w zakresie tematyki rozprawy obejmującej opisy stanu i wzajemnego oddziaływania dynamicznego faz w kadzi pośredniej urządzenia do ciągłego odlewania stali Doktorantka opracowała z wykorzystaniem bazy materiałów źródłowych liczącej 191 pozycji. W analizowanym zestawie bibliograficznym znajdują się 4 artykuły naukowe ze współautorstwem

Doktorantki o tematyce zbieżnej z tematem pracy doktorskiej - pozycje [123, 124, 125 i 126]. Dobór materiałów źródłowych w sposób wystarczający zapewnia dostęp do najnowszych wyników światowych badań w dziedzinie wiedzy obejmującej tematykę pracy. Zestaw publikacji obejmuje 19 najnowszych pozycji, które ukazały od roku 2020, co świadczy o aktualności bazy wiedzy, na której została oparta realizacja badań i analiza uzyskanych wyników.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

5.1. Przegląd i podsumowanie stanu wiedzy dotyczącej badanego zagadnienia

Pierwsza część przeglądu literatury zawiera głównie informacje dotyczące wariantów konstrukcyjnych kadzi pośrednich i funkcji wylewu osłonowego w procesie ciągłego odlewania stali (COS). W kolejnej części wstępu teoretycznego zamieszczono krótką charakterystykę technologii COS i opis urządzeń i agregatów wchodzących w skład linii COS. Charakterystyka technologii i urządzeń COS jest dobrze skomponowanym i przedstawionym wprowadzeniem do głównej tematyki związanej z funkcjonowaniem kadzi pośredniej, może poza fragmentem dotyczącym najnowszych trendów w technologii COS. Mianowicie Doktorantka stwierdza, że – cytując – „najnowszą technologią COS jest technologia odlewania poziomego”, powołując się przy tym na pozycje literaturowe z roku 2010 (poz. [30] w spisie literatury) i z roku 2009 (poz. [31] w spisie literatury). W rzeczywistości poziome odlewanie ciągłe stali jest technologią niszową – i taką pozostanie - stosowaną do odlewania ograniczonej klasy gatunkowej stali specjalnych. Prognozowane trendy rozwojowe technologii COS można znaleźć w innych nowszych opracowaniach przeglądowych, np.:

- R. I. L. Guthrie, M. M. Isac: Continuous Casting Practices for Steel: Past, Present and Future. *Metals* 2022, 12, 862. <https://doi.org/10.3390/met12050862>

- Y. Nian, L. Zhang, C. Zhang, N. Ali, J. Chu, J. Li, X. Liu: Application Status and Development Trend of Continuous Casting Reduction Technology: A Review. *Processes* 2022, 10, 2669. <https://doi.org/10.3390/pr10122669>

Dalsze części przeglądu zawierają omówienie hydrodynamiki przepływu ciekłej stali z kadzi głównej do kadzi pośredniej i w objętości kadzi pośredniej oraz procesów z udziałem żużła zachodzących w kadzi pośredniej, w tym powstawanie tzw. „oka żużlowego” (ang. – Tundish Open Eye – TOE). W dalszej kolejności Doktorantka opisuje problemy bezpośrednio związane z doбором warunków i parametrów symulacji numerycznej i fizycznej procesów w kadzi pośredniej – w tym kryteriów podobieństwa w odniesieniu do modelu fizycznego oraz podaje istotę i sposób sporządzania krzywych czasu przebywania stali w kadzi pośredniej, tzw. krzywych RTD (ang. – Residence Time Distribution)

typu E i typu F. Część przeglądu literatury dotycząca krzywych RTD – istotna w odniesieniu do zakresu wykonanych w pracy badań - mogłaby zostać przedstawiona bardziej szczegółowo, przy ograniczeniu objętości innych części przeglądu. W podsumowaniu tej części rozprawy Doktorantka przekonująco uzasadniła wybór tematyki badań dotyczącej zastosowania wylewu osłonowego wielootworowego w celu poprawy funkcjonalności kadzi pośredniej.

Zaprezentowany przez Doktorantkę przegląd literatury obejmuje zagadnienia stanowiące bazę aktualnego stanu wiedzy z zakresu problemów będących przedmiotem pracy i jest wystarczający do sformułowania tezy pracy, określenia metod badań oraz przeprowadzenia interpretacji wyników badań.

5.2. Plan badań i zastosowane metody badawcze

Plan badań przedstawia diagram na rys. 42 / str. 64 w formie sześciu ogólnych zadań obejmujących:

- opracowanie 5. wariantów konstrukcji wylewu osłonowego,
- symulacje komputerowe przepływu i oddziaływania faz w kadzi pośredniej jedno- i dwuwylewowej dla zdefiniowanych warunków geometrycznych, kinetycznych i fizykochemicznych oraz dla różnych konstrukcji wylewu osłonowego; symulacje właściwe poprzedzono obliczeniami wstępnymi mającymi na celu wybór siatki obliczeniowej,
- symulacje fizyczne na modelach wodnych kadzi jednowylewowej dla warunków jednofazowych (skala modelu i wylewu osłonowego 0,4) i dla warunków wielofazowych (skala modelu i wylewu osłonowego 0,16) z zastosowaniem wybranych konstrukcji wylewu osłonowego.

Na podkreślenie zasługuje fakt zastosowania w modelowaniu fizycznym wielofazowym obserwacji i rejestracji obrazów oddziaływania faz tzw. metody Shadow-Sizing (rys. 45 / str. 75), pozwalającej na bezpośrednią rejestrację interakcji faz reprezentujących stal i żużel w kadzi pośredniej. W rozdziale 3.2.2. / str. 60 Doktorantka stwierdza, że w ramach pracy zaprojektowano 5 konstrukcji wylewu osłonowego, których opisy i rysunki znajdują się w dalszej części tego rozdziału. Są to wylewy wielootworowe z otworami skierowanymi w dół: trzy warianty wylewu dwuotworowego (warianty 1, 2 i 3), jeden wylew trzyotworowy (wariant 4) i jeden wylew cztero-otworowy (wariant 5). Charakterystyki funkcjonowania nowych konstrukcji wylewów były porównywane z wariantem bazowym w postaci prostej rury.

W pracy brakuje informacji, w oparciu o jakie przesłanki zaprojektowano geometrię i wymiary wylewów wielootworowych – czy na podstawie własnych wstępnych symulacji numerycznych lub fizycznych, czy w oparciu o inne dane? Brak jest odniesienia do proponowanych wcześniej w literaturze wylewów dwuotworowych, takich jak zamieszczony na rys. 4c w pracy wylew z dwoma otworami skierowanymi pod kątem.

5.4. Ocena wyników wykonanych badań i ich interpretacji

5.4.1. Symulacje numeryczne pól przepływu stali w kadzi pośredniej dla układu jednofazowego w warunkach izotermicznych i nieizotermicznych

Symulacje numeryczne pól przepływu stali w warunkach izotermicznych i nieizotermicznych zostały wykonane dla kadzi jednowylewowej i dwuwylewowej na wzdłużnej płaszczyźnie symetrii, na płaszczyźnie bezpośrednio pod powierzchnią swobodną stali i w całej objętości kadzi. Przyjęto dwa poziomy zanurzenia wylewu osłonowego, a obliczenia wykonano dla wszystkich rodzajów wylewów (tj. dla wylewu prostego rurowego i dla 5. wariantów wylewów wielootworowych). Wyniki symulacji przedstawiono w formie graficznej oraz podano opisy porównawcze pomiędzy poszczególnymi wariantami. Z wykonanej analizy dla kadzi jednowylewowej w warunkach izotermicznych Doktorantka wywnioskowała, że najkorzystniejszy przepływ ze względu na zwiększenie prawdopodobieństwa wypływanego wtrąceń niemetalicznych do żużla stwarza zastosowanie wylewu dwuotworowego w wariantcie 2 z płytszym zanurzeniem z dwóch analizowanych wartości. Dla kadzi dwuwylewowej w warunkach izotermicznych oraz dla obydwu kadzi w warunkach nieizotermicznych żaden z wariantów nie został w taki sposób wyróżniony. Autorka ustaliła, że średnie prędkości ciekłej stali w poszczególnych wariantach obliczeniowych dla warunków nieizotermicznych, „nie różnią się znacznie” od wartości uzyskanych dla warunków izotermicznych.

Doktorantka przedstawiła szczegółowy opis wyników symulacji oraz ilościowe porównania pomiędzy badanymi wariantami, jednak bez próby analizy mechanizmu wpływu poszczególnych konstrukcji końcówek (głowic) wylewów na zmianę pól przepływu stali w kadzi.

Średnie prędkości przepływu stali dla wszystkich symulowanych wariantów zestawiono w tablicach 4 i 5 z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku (0,0001 m/s), *w związku z czym powstaje pytanie, jaki należałoby przyjąć błąd obliczeń (tj. które miejsce po przecinku jest istotne), biorąc pod uwagę mn. in. dokładność modelu oraz przyjętych do obliczeń wartości parametrów analizowanych faz.*

5.4.2. Sporządzenie i analiza charakterystyk RTD dla układu jednofazowego w warunkach izotermicznych i nieizotermicznych

W przypadku układu jednofazowego w warunkach izotermicznych Doktorantka opracowała i opisała charakterystyki czasu przebywania stali w kadzi typu E i typu F dla wszystkich badanych wariantów wylewów współpracujących z kadzią jednowylewową i z kadzią dwuwylewową. Przeanalizowała wpływ rodzaju wylewu i głębokości zanurzenia na uzyskane charakterystyki RTD, a na podstawie krzywych typu E ustaliła udziały procentowe poszczególnych rodzajów przepływów, tj. idealnego

mieszania, tłokowego i stagnacyjnego. Na podstawie krzywych typu F Doktorantka ustaliła wielkość strefy o przejściowym składzie chemicznym dla przypadku odlewania sekwencyjnego wytopów różnych gatunków stali. **Także i w tym przypadku - poza szczegółowym opisem uzyskanych wyników - Doktorantka nie podjęła próby interpretacji fizycznej wpływu konstrukcji wylewu osłonowego na zmiany rozkładu prędkości i dynamiki przepływu stali w kadzi pośredniej.**

Weryfikacje wyżej wymienionych symulacji numerycznych wykonano z zastosowaniem modelu wodnego kadzi, metodą eksperymentalnego opracowania krzywych RTD typu E i typu F, dla wytypowanych wariantów wylewu osłonowego. **Doktorantka dokonała jakościowych porównań pomiędzy wynikami modelu fizycznego a wynikami symulacji numerycznych, nie podając ilościowych różnic w wartościach poszczególnych parametrów, poza używaniem określenia „kilka procent”.** Istotnym wnioskiem z symulacji numerycznych i fizycznych dla układu jednofazowego jest ustalenie wariantów wylewów wielootworowych, które prowadzą do uzyskania największego udziału przepływu aktywnego. Stwierdzono, że dla kadzi w warunkach izotermicznych najkorzystniejszy pod względem zwiększenia przepływu aktywnego jest dwuotworowy wylew w wariancie 2, zwłaszcza przy głębszym zanurzeniu. Wylew ten zapewnia również najmniejszą strefę przejściową w trakcie odlewania sekwencyjnego różnych wytopów. W przypadku kadzi dwuwylewowej najlepsze parametry przepływu stali i zmniejszenie strefy przejściowej uzyskuje się dla wylewu dwuotworowego w wariancie 1.

5.4.3. Symulacje fizyczne i numeryczne dla układu wielofazowego

Na podstawie wyników badań uzyskanych dla układu jednofazowego, do badań w układzie wielofazowym Doktorantka wybrała warianty wylewów 2, 3 i 5 oraz wariant podstawowy (**na str. 118 błędnie podano, że są to warianty 2, 4 i 5**). Badania na wielofazowym modelu woda – nafta / powietrze wykonano w formie sekwencji 5. wytopowej w stanie ustalonym i w stanie nieustalonym, z zastosowaniem metody Shadow Sizing.

Wyjaśnienia wymaga kolejność zastosowanych rodzajów badań układu wielofazowego (cały podrozdział 3.4.3 – część a i część b), gdzie jako pierwsze wykonano badania metodą modelowania fizycznego (odwrotnie do modelowania układu jednofazowego), nazywając je „walidacją modelu numerycznego”, a wyniki modelu numerycznego podano w dalszych fragmentach pracy. Jako wynik walidacji (oceny dokładności) modelu numerycznego Doktorantka sformułowała bardzo ogólny wniosek, że – cytując – „model numeryczny Volume of Fluid pomimo ograniczeń dość dobrze odzwierciedla układ wielofazowy”.

Symulacje numeryczne układu wielofazowego reprezentowanego przez model fizyczny woda – nafta wykonano metodą VoF dla wylewu podstawowego i dla wybranych wariantów wylewów

wielootworowych. Doktorantka stwierdziła m. in., że niezależnie od typu wylewu zwiększenie natężenia przepływu przez wylew powoduje intensywniejsze zmywanie warstwy nafty reprezentującej żużel. Symulacje metodą VoF dla kadzi o rzeczywistych wymiarach wykonano dla układu wielofazowego w warunkach izotermicznych dla wylewu bazowego oraz wariantów wylewów 1, 2, 3 i 5. W wyniku symulacji ustalono, że dla kadzi jednowylewowej i dwuwylewowej w warunkach stacjonarnych rodzaj wylewu osłonowego nie wpływa na stabilność warstwy żużla.

5.4.4. Interakcje w układzie wielofazowym w warunkach nieustalonych w trakcie odlewania sekwencyjnego

Symulacje numeryczne interakcji faz w układzie ciekła stal – żużel – powietrze, w tym analizę zjawiska odsłaniania lustra stali, wykonano w zależności od prędkości i kierunku przepływu stali na wytypowanych liniach i powierzchniach w objętości kadzi, dla kadzi jednowylewowej i dwuwylewowej z wylewami osłonowymi w wariacie bazowym i w wariacie dwuotworowym nr 1. Na podstawie wyników symulacji Doktorantka opisała mechanizm odsłaniania powierzchni stali w wyniku zmywania żużla i porywania żużla do objętości stali oraz zidentyfikowała w kadzi pośredniej obszar najintensywniejszego zmywania żużla. Przeanalizowano bardzo dużą liczbę wariantów oddziaływania strumienia stali ciekłej z warstwą żużla dla badanych układów i sformułowano wiele wniosków szczegółowych, mogących mieć znaczenie praktyczne. Najważniejsze konkluzje dotyczą wskazania wariantów, dla których stwierdzono najmniejszą powierzchnię „oka żużlowego”.

5. 5. Komentarz dotyczący głównych wniosków z rozprawy

Konkluzją rozprawy jest siedem wniosków sformuowanych przez Doktorantkę, obejmujących główne ustalenia wynikające z badań fizycznych i symulacji numerycznych. We wnioskach (ani w innej części pracy) Doktorantka wprost nie odnosi się do tezy rozprawy, ale z treści jednoznacznie wynika, że postawiona teza została potwierdzona wynikami badań. Tak jak to zostało napisane we wcześniejszych częściach recenzji, również we wnioskach Doktorantka nie wskazała fizycznej przyczyny wpływu konstrukcji wylewu osłonowego wielootworowego na zmiany rozkładu i dynamiki przepływu stali w kadzi pośredniej. **Teza pracy zawiera zapis, że wylew wielootworowy „stymuluje strumień ciekłej stali zasilający kadź pośrednią”, ale w pracy brak wyjaśnienia, na czym ta stymulacja polega.**

6. Końcowa ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Suchan

W oparciu o przeprowadzoną analizę i ocenę rozprawy będącej przedmiotem recenzji stwierdzam, że Doktorantka Pani mgr inż. Hanna Suchan wykazała się wysokimi umiejętnościami w zakresie posługiwania się metodami badań eksperymentalnych i symulacji numerycznych oraz w zakresie krytycznej analizy uzyskanych wyników badań. Przegląd i analiza aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie związanej z tematyką rozprawy świadczy o kompetencji naukowej Doktorantki w zakresie inżynierii materiałowej, w szczególności w obszarze metalurgii stali ciekłej. W wyniku wykonanych badań Doktorantka wykazała prawdziwość tezy rozprawy, że wylew osłonowy strumienia stali z kadzi głównej do kadzi pośredniej z więcej niż jednym otworem wylewowym, w określonych warunkach może powodować zmniejszenie przepływu stagnacyjnego w kadzi pośredniej i ograniczać proces zmywania żużla z powierzchni stali w trakcie ciągłego odlewania.

Stwierdzam, że praca pt.: „Rola hydrodynamiki strumienia zasilającego kadź pośrednią w interaktywności faz ciągłych” spełnia w pełnym zakresie wymagania dotyczące rozprawy doktorskiej zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t. j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm., Dział V - stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki, Rozdział 2 - Stopień doktora, Art. 187. pkt 1) i wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Hanny Suchan do obrony tej rozprawy.



Prof. dr hab. inż. Bogdan Garbarz