

Prof. dr hab. inż. Manuela Reben  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki  
Katedra Technologii Szkła i Powłok Amorficznych  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
tel.(012) 6172514

Kraków, 10.12.2023r.

## Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Przemysława Deca

**„Optymalizacja procesu produkcji szkła opakowaniowego mająca na celu  
zmniejszenie zużycia mediów energetycznych oraz ograniczenie emisji  
zanieczyszczeń”**

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej, Prof. dra hab. Andrzeja Rusina z dn. 6 listopada 2023 r., wynikające z uchwały Rady Dyscypliny powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej p. mgra inż. Przemysława Deca, w postępowaniu prowadzonym wg przepisów Ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

### Uwagi ogólne

Rozprawa obejmuje działania badawczo-wdrożeniowe ukierunkowane na zmniejszenie zużycia mediów energetycznych oraz ograniczenie emisji szkodliwych substancji do środowiska w hucie szkła opakowaniowego. Jej celem była analiza i ocena innowacyjnych rozwiązań technologicznych, które przyczyniają się do poprawy efektywności procesu produkcji butelek szklanych poprzez redukcję zużycia mediów energetycznych oraz śladu węglowego. Podjęta problematyka pracy wpisuje się w obecne trendy transformacji sektora branży szklarskiej w kierunku bardziej zrównoważonej i ekologicznej produkcji. Temat pracy doktorskiej wymagał wykonania ambitnego zadania badawczego.

Rozprawa została przedstawiona w formie jednolitego opracowania o objętości 157 stron, podzielonego na 11 rozdziałów oraz bibliografii liczącej 65 pozycji, zawiera 52 rysunki (schematy, wykresy, fotografie) i 18 tabel. W pracy uwzględniono streszczenie oraz opis sylwetki doktoranta, co prawda niefortunnie zamieszczonego w środkowej części pracy. W rozdziale 1 i 2 rozprawy przedstawiono wprowadzenie, cel i genezę pracy a także ogólną tezę rozprawy. Rozdziały 3-6 stanowią obszerną część studialną pracy, obejmującą opis produkcji

szkła, prezentację huty, w której Doktorant dokonał wdrożenia rozwiązań optymalizacyjnych, opis metod zwiększania efektywności energetycznej i sposoby redukcji negatywnego oddziaływania hut szkła na środowisko. Istotą rozprawy są rozdziały 7-9, w których Doktorant przedstawia własne badania nad możliwościami zmniejszenia zużycia energii oraz ograniczenia negatywnego wpływu produkcji opakowań szklanych na środowisko. Weryfikację swoich obserwacji i zaleceń przeprowadził na przemysłowych liniach produkcyjnych, wzbogacając wnioski o szereg dodatkowych ustaleń i wytycznych, jak również o analizę finansową.

### **Ocena teoretycznej części pracy**

Autor jest praktykiem procesów energetycznych. Lektura rozprawy dowodzi, że wiedza Doktoranta w tym obszarze jest wystarczająca i umożliwiła mu podjęcie się opracowania i wdrażania rozwiązań technologicznych, które znacząco redukują zużycie mediów energetycznych i ograniczają emisję zanieczyszczeń środowiska. Nieco rozczarowuje uboga lista źródeł bibliograficznych (zaledwie 65). Teoretyczna część pracy jest zredagowana poprawnie, tworząc zwartą całość, pozbawioną istotnych nieścisłości i powtórzeń. Akceptując treści zawarte w omawianej części pracy, mam jednak pewne uwagi krytyczne, pomijając te natury edytorskiej:

1. Doktorant nie zawsze radzi sobie dobrze z terminologią, używając nie w pełni poprawnych zwrotów i określeń oraz skrótów myślowych, przykładowo:  
„Działalność przedsiębiorstwa polega na produkcji szkła gospodarczego, w szczególności butelek spożywczych”, „Pieca stawiane w zakładzie”, „automaty formowania szklarskiego”, „Topienie surowców na masę szklaną”, „nakładów energii z paliwa”, „Przy tworzeniu zestawu szklarskiego operuje się również stłuczka”. Ponadto Doktorant stwierdza, że w produkcji butelek szklanych do topienia surowców stosowane są pieca donicowe. „W procesie odprężania butelek w odprężarkach nie są zazwyczaj stosowane dodatkowe substancje chemiczne”, „Jednym z kluczowych elementów w procesie produkcji szkła jest stłuczka szklana, znana również jako kruszywo. Znajduje ona zastosowanie we wszystkich sektorach przemysłu szklarskiego, zarówno jako surowiec, jak i w formie dodatków do procesu wytopu”.

### **Ocena doświadczalnej części pracy**

Badawczo-wdrożeniowy charakter pracy wymaga nie tylko analizy i oceny dokonań Doktoranta, ale również zwrócenia uwagi na uwarunkowania jej wykonania. Praca była realizowana w niesprzyjających warunkach (ograniczenia czasowe i finansowe, trudności spowodowane skutkami pandemii Covid-19). W zaistniałych okolicznościach nie wszystkie

działania mogły być w pełni uzależnione od decyzji Doktoranta. Nie zwalnia to jednak Autora pracy z dbałości o poprawność warsztatową wszystkich podejmowanych działań.

W ramach realizacji rozprawy Autor w rozdziale 7-9 przedstawił szereg kompleksowych rozwiązań, które wprowadził, bądź udoskonalał celem zmniejszenia zużycia energii oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko zanieczyszczeń powstałych podczas produkcji opakowań szklanych. Doktorant każdy z rozdziałów głównych poprzedzał wprowadzeniem, co z punktu widzenia edytorskiego zwiłokrotnia powtórzenia i utrudnia czytanie.

W celu efektywnej kontroli zużycia energii w instalacjach i procesach realizowanych w hucie szkła wprowadzono System do Zarządzania Mediami Energetycznymi. Monitorowano najważniejsze media: energię elektryczną, gaz ziemny, sprężone powietrze oraz wodę w korelacji z wybranymi parametrami np. liczbą wyprodukowanych butelek. Wdrożenie systemu umożliwiło wyodrębnienie lub podział zużycia energii niezbędnej do prowadzenia poszczególnych operacji jednostkowych w cyklu produkcji opakowań szklanych.

Autor opracował również metodę przewidywania zużycia energii w procesie topienia szkła przy użyciu analizy regresji liniowej wielokrotnej, która bazuje na danych wielkości wyciągu szkła, udziału stłuczki szklanej, poziomów temperatury, zużycia gazu ziemnego i energii elektrycznej. W przedstawionych tabelach zużycia energii niezbędnej do wytopienia tony szkła, Doktorant nie wskazał rozdziału na energię pochodzącą z zasilania elektrycznego i wynikającą z ilości zużytego gazu można rozumieć, że jest to sumaryczna ilość energii generowana przy wykorzystaniu dwóch mediów. Tego rodzaju analiza miałaby kluczowe znaczenie w kwestii wykorzystania dogrzewu elektrycznego.

Kolejnym z obszarów, mającym wpływ na redukcję zużycia mediów ale i też na poprawę warunków pracy była weryfikacja i analiza oświetlenia w hucie. Modernizacja oświetlenia w jednej hali huty polegająca na wymianie starych opraw na nowoczesne rozwiązania LED pozwoliła na uzyskanie oszczędności w ciągu jednego roku na poziomie 250,536 MWh. Pozostaje jedynie pewien niedosyt, że modernizacją nie zostały objęte inne pomieszczenia i hale huty, ale to z kolei prawdopodobnie było niezależne od decyzji Doktoranta. W kompleksowym podejściu redukcji energii uwzględniono również wymianę tradycyjnych układów gwiazda-trójkąt do sterowania silnikami elektrycznymi na falowniki. Z punktu widzenia energetycznego zastąpienie wentylatorów pracujących ze stałą prędkością wentylatorami sterowanymi falownikami jest korzystne. Na podstawie dobowego zużycia energii elektrycznej dla jednego z systemów sterowania silnikami wentylatorów Autor wykazał redukcję pobieranej energii na poziomie 1400 kWh. Niestety stosowanie w hutach szkła

falowników wielokrotnie zwiększa prawdopodobieństwo awarii. W przypadku starszych wyeksploatowanych pieców długotrwały zanik chłodzenia palisady może stać się przyczyną wypływu szkła. W podrozdziale 7.5 przedstawiono korzyści wynikające ze zwiększania udziału stłuczki w zestawach szklarskich podczas topienia szkielek bezbarwnych, oranżowych i zielonych. Przedstawione dane są potwierdzeniem powszechnie dostępnych w literaturze i praktyce szklarskiej informacji na temat korzystnego wpływu stłuczki szklanej na redukcję średniego zużycia gazu, minimalizację udziału surowców oraz redukcję CO<sub>2</sub>. Można czuć niedosyt informacji związanych z wpływem zwiększania udziału stłuczki na wydajność procesu, emisję NO<sub>x</sub> czy parametru Pack to Melt (stosunku ilości szkła wyprodukowanego w piecu (gorący koniec) do ilości szkła zapakowanego do wysyłki). Wkład Doktoranta w projekt Systemu odzysku ciepła odpadowego (WHRS) służącego do odzyskiwania ciepła odpadowego z gazów spalinowych z trzech wanien szklarskich polegał na analizie skuteczności systemu. Dokładny opis elementów składowych WHRS jak i zasada działania potwierdza zaangażowanie i udział Doktoranta w opracowaniu i wdrożeniu procesu przekształcania energii niezbędnej do wytwarzania sprężonego powietrza wykorzystywanego głównie w trakcie formowania wyrobów oraz ciepła, które zasila centralny system ogrzewania w hucie. W ciągu całego procesu, doktorant systematycznie integrował dane poszczególnych urządzeń systemu odzysku ciepła z analizą termodynamiczną w IPSE. Przez to mógł weryfikować, czy planowane parametry energetyczne są osiągalne oraz czy spełnione zostaną założenia projektowe. Ważnym elementem tej pracy było zestawienie założeń projektowych z rzeczywistymi osiąganymi systemem po jego uruchomieniu. Takie bilanse cieplne pozwalały na wprowadzanie koniecznych korekt oraz usprawnień, a także miały bezpośredni wpływ na wybór konkretnych urządzeń. Analizę termodynamiczną dla wdrożonego systemu odzysku ciepła wykonano na modelu stworzonym na podstawie parametrów zawartych w dokumentacji technicznej wszystkich urządzeń składających się na WHRS. Model posłużył do wykonania analiz termodynamicznych dla ośmiu różnych warunków pracy systemu. W rozdziale 9 Doktorant przedstawił wyniki analizy ekologicznej i ekonomicznej wdrożonych rozwiązań optymalizacyjnych, przy czym słusznie podzielił je na te wynikające z redukcji emisji CO<sub>2</sub> dzięki zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej, zużycia gazu ziemnego, czy surowców szklarskich. Rozprawę kończą rozdziały zatytułowane dyskusja (Roz.10) i wnioski (Roz.11), choć w zasadzie w rozdziałach 10 i 11 dokonano raczej podsumowania działań wdrożeniowych doktoranta.

### **Uwagi końcowe**

W recenzji wskazałam szereg niedociągnięć i mankamentów pracy takich jak np. podział na rozdziały i powtarzające się „Wprowadzenia” w każdym z podrozdziałów części doświadczalnej, niepoprawna terminologia, skróty myślowe ale w większości mają one charakter dyskusyjny, po części wynikają ze specyfiki działalności zawodowej Doktoranta, nie związanej ściśle z instytucjami naukowymi, i w ogólnym rozrachunku nie obniżają pozytywnego wrażenia po lekturze rozprawy.

Jak wykazano w recenzji, rozprawa doktorska p. mgra inż. Przemysława Deca spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej, wykazania ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydata w dyscyplinie naukowej oraz wykazania umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta. W związku z tym, w oparciu o art. 187 Ustawy, pozytywnie opiniuję przedłożoną rozprawę doktorską i wnoszę o dopuszczenie p. mgra inż. Przemysława Deca do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

*Mamunia Rebec*