

prof. dr hab. inż. Tomasz Czakiert
Politechnika Częstochowska
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych
ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa
e-mail: tczakiert@is.pcz.pl

Częstochowa, 01.12.2023 r.

Szanowny Pan
Prof. dr hab. inż. Andrzej Rusin
Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18
44-100 Gliwice

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Dec

1. Wprowadzenie

Niniejsza recenzja została sporządzona w odpowiedzi na pismo Nr RIE-BD.512.77.2023 z dnia 6 listopada 2023 roku, w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 19.10.2023 roku.

2. Zakres rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Dec nosi tytuł „Optymalizacja procesu produkcji szkła opakowaniowego mająca na celu zmniejszenie zużycia mediów energetycznych oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń”. Praca została zrealizowana w Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, w ramach Wspólnej Szkoły Doktorskiej Politechniki Śląskiej. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Anna Skorek-Osikowska, a Opiekunem branżowym mgr inż. Aleksandra Gózdź. Rozprawa doktorska została przygotowana w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy” Ministerstwa Edukacji i Nauki.

Praca liczy ogółem 157 stron, włączając spis literatury w ilości 65 pozycji (w tym 3 pozycje których Doktorant jest współautorem), wykazy tabel i rysunków oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Zebrany materiał rozdzielono pomiędzy 9 głównych rozdziałów, poprzedzonych wprowadzeniem do pracy, a zakończonych zwięzłym podsumowaniem zawierającym wnioski końcowe.

We wstępie (rozdział 1) Autor nakreśla problem będący przedmiotem ocenianej rozprawy doktorskiej. Pokrótce prezentuje specyfikę procesu produkcji szkła opakowaniowego, wskazując przy tym na potencjalne możliwości optymalizacji zużycia mediów energetycznych z jednoczesnym ograniczeniem emisji szkodliwych substancji do środowiska. Wspomina również o dokonanej implementacji wybranych rozwiązań w analizowanym obiekcie przemysłowym – hucie szkła.

Cel pracy (rozdział 2) koresponduje bezpośrednio z tytułem rozprawy, poza aspektem poznawczym posiada również wyraźny wymiar praktyczny. Ogólnie zarysowany zakres dysertacji jest logiczny i sprawia wrażenie kompleksowego ujęcia tematu. Ciężko natomiast stwierdzić, na tym etapie lektury, które z zapisów są tutaj hipotezami pracy sensu stricto.

Rozdział 3 poświęcono w całości opisowi procesu technologicznego wytwarzania szkła opakowaniowego, poczynając od składowania surowców, a kończąc na magazynowaniu gotowych wyrobów. Dalej, w rozdziale 4, Autor prezentuje historię analizowanej firmy, przedstawia jej wydajności produkcyjne oraz zakres oferowanego asortymentu. Natomiast w kolejnym rozdziale 5 zapoznać się można z sylwetką zawodową samego Autora pracy, co jest raczej niespotykanym elementem w klasycznych rozprawach doktorskich. W rozdziale 6 omówiono powszechnie stosowane rozwiązania oraz dobre praktyki wprowadzane dla zwiększenia efektywności energetycznej procesów wytwórczych, ostatecznie koncentrując się na dyskutowanym w ramach pracy ciągu technologicznym produkcji szkła. Doktorant zauważa tu także i niejednokrotnie podkreśla bezpośredni związek przyczynowo skutkowy pomiędzy różnorodnymi działaniami zmierzającymi do ograniczenia zużycia energii a zmniejszeniem szkodliwego oddziaływania gospodarki na środowisko naturalne. W tym miejscu kończy się również część teoretyczna rozprawy doktorskiej.

Rozdział 7 otwiera tym samym część praktyczną rozprawy. Przeprowadzone przez Autora analizy ujawniły tu niewykorzystany dotychczas potencjał zakładu w zakresie możliwości zmniejszenia zużycia energii elektrycznej i innych mediów energetycznych, a także surowców wsadowych wykorzystywanych do wytopu masy szklanej. Co istotne, przeprowadzona dyskusja dotyczy faktycznie wdrożonych rozwiązań optymalizacyjnych, co do których udział Doktoranta został precyzyjnie określony. Działania te dotyczyły przede wszystkim wprowadzenia systemu efektywnego zarządzania energią i opartym na nim modelu predykcji zużycia energii w analizowanym procesie topienia szkła, zwiększenia udziału stłuczki szklanej w przetapianym zestawie składników, a także instalacji falowników w układach sterowania silników elektrycznych napędzających wentylatory pieca szklarskiego oraz modernizacji oświetlenia obiektu huty. W kolejnych zadaniach osoba Doktoranta

pojawia się praktycznie we wszystkich istotnych fazach przeprowadzonych inwestycji. Kluczowe z punktu widzenia zrealizowanej pracy doktorskiej staje się jednak wdrożenie systemu odzysku ciepła odpadowego, któremu Doktorant poświęca cały następny rozdział 8. Znaleźć tu można między innymi wyniki symulacji pracy układu w różnych warunkach eksploatacyjnych, przeprowadzonych na numerycznym modelu zbudowanym z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania IPSEpro. Wybór użytego narzędzia badawczego jest w tym przypadku jak najbardziej słuszny i uzasadniony. Pewien niedosyt pozostawia natomiast brak bardziej szczegółowego omówienia uzyskanych wyników symulacji. Równie ważnym elementem tej pracy okazuje się ekonomiczno-ekologiczna analiza (rozdział 9) wprowadzonych rozwiązań optymalizacyjnych, jednoznacznie potwierdzająca środowiskową i finansową zasadność przeprowadzonych inwestycji.

Rozdział 10, zatytułowany „Dyskusja”, uznać należy raczej za ogólne podsumowanie pracy, podczas gdy szczegółowe wnioski końcowe – będące odpowiedzią na postawione pierwotnie hipotezy spisano w ostatnim rozdziale 11 dysertacji.

Konstrukcja rozprawy wydaje się przemyślana, a jej kolejne rozdziały tworzą ze sobą jedną spójną całość. Przywoływana w pracy fachowa literatura jest właściwie dobrana i poprawnie wykorzystana.

3. Ocena rozprawy

Ambitnym celem opiniowanej pracy jest techniczno-ekonomiczno-ekologiczna analiza i wynikająca z niej ocena wdrożonych rozwiązań optymalizujących proces produkcji szkła opakowaniowego pod kątem jego efektywności energetycznej i negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. W rezultacie Doktorant wykazał wymierne efekty przeprowadzonych działań, głównie w postaci:

- „poprawy efektywności *energetycznej procesu* topienia szkła średnio o około 8% po wdrożeniu systemu EMS (*Energy Management System*)”,
- „redukcji zużycia wolumenu gazu ziemnego do około 10% dzięki zwiększeniu udziału *przetapianej stłuczki szklanej*”,
- „oszczędności energii elektrycznej rzędu 70% po wymianie *elementów układu sterowania* silnikami wentylatorów”,
oraz
- „zmniejszenia zużycia energii *elektrycznej* o blisko 6 GWh w ciągu *analizowanego roku bazowego* w wyniku wdrożenia systemu WHRS (*Waste Heat Recovery System*)”,
co sumarycznie przekłada się na:
- „około 15% ograniczenie całkowitej emisji dwutlenku węgla z zakładu”.

Pomimo pozytywnego odbioru ocenianej pracy jako całości, na etapie jej lektury nasuwały się pewne pytania, uwagi i komentarze, które w kolejności chronologicznej zostały spisane poniżej.

1. *Rozdział 2:* Tezy pracy (tu raczej postawione hipotezy) wydają się być, przynajmniej częściowo, zbyt ogólne i tym samym stają się nieco oczywiste.
2. *Rozdział 3:* Praca napisana jest obrazowym językiem, dzięki czemu dobrze się ją czyta, niemniej jednak w tekście napotkać można na pewne potknięcia – tu na przykład „temperatura szkła jest wzmacniana”.
3. *Rozdział 4:* Informacje lokalizacyjne obiektu zamieszczone na końcu tego rozdziału uważam za całkowicie zbędne z punktu widzenia ocenianej rozprawy doktorskiej.
4. *Rozdział 5:* Podano błędną nazwę resortu obecnie odpowiedzialnego za naukę i szkolnictwo wyższe – jest Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa, powinno być Ministerstwo Edukacji i Nauki.
5. *Rozdział 7:* Skrót „SAP” użyty na stronie 54 nie został wcześniej wyjaśniony.
6. *Rozdział 8:* Stwierdzenie Autora „... wyniki pracy będą miały bezpośredni wpływ na dalszy rozwój tej technologii w innych hutach szkła oraz w innych gałęziach przemysłu” osobiście uznaję za zbyt górnołotne i nieco na wyrost.

Tu również napotkać można na pewne niezgrabne sformułowania – skróty myślowe, jak na przykład „ciepło jest zamieniane na parę nasyconą” czy „proces zamiany energii elektrycznej w sprężone powietrze”.
7. *Rozdział 9:* Zrównanie wartości wskaźnika emisji CO₂ dla sody z tym dla węgla wapnia stanowi pewne uproszczenie, dopuszczalne jedynie w sytuacji gdy rzeczywisty udział CaCO₃ w tej mieszance jest faktycznie wysoki.

Co stanowiło podstawę do oszacowania wartości wskaźnika emisji CO₂ dla stłuczki szklanej na poziomie 122 kgCO₂/tonę? – Proszę Doktoranta o krótkie wyjaśnienie w tej sprawie.
8. *Rozdział 11:* Przywołana kwota informująca o wielkości obniżenia kosztów operacyjnych – 19,5 miliona PLN powinna odnosić się do jednostki czasu w którym te oszczędności odnotowano – w tym przypadku do roku bazowego.
9. *Pytanie ogólne:* Jakie dalsze kierunki optymalizacji czy konkretne działania proponowałby Pan podjąć w następnej kolejności w oparciu o zebrany materiał i zdobyte doświadczenie? – Proszę Doktoranta o krótką informację w tym temacie.

Jednocześnie pragnę podkreślić, że zamieszczone powyżej uwagi i komentarze w żaden sposób nie umniejszają wartości przedłożonej do zaopiniowania rozprawy doktorskiej.

Za kluczowe osiągnięcie Doktoranta w przedstawionej dysertacji naukowej uważam praktyczne potwierdzenie skuteczności wybranych sposobów optymalizacji procesu produkcji szkła opakowaniowego na skalę przemysłową, niosących ze sobą zarówno korzyści

finansowe jak i środowiskowe, wraz z ilościowym oszacowaniem tych efektów na przykładzie implementacji przeprowadzonych w istniejącej hucie szkła.

4. Wniosek końcowy

Przedłożona do oceny **rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie** ważnego **problemu naukowego**, jakim jest kompleksowa optymalizacja procesu technologicznego wytopu szkła, obejmująca oszczędności w zakresie mediów energetycznych i surowców do produkcji a także ograniczenie emisji szkodliwych związków do środowiska. Dyskutowane w pracy rozwiązania są przedmiotem wdrożeń zrealizowanych w Hucie Szkła „Orzesze”. **Doktorant wykazuje przy tym ogólną wiedzę teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.** W moim przekonaniu, przedstawiona **rozprawa doktorska spełnia warunki stawiane przez obowiązujące ustawodawstwo** (art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Dz.U. z 2023 r. poz. 742). Uważam również, że rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Dec „Optymalizacja procesu produkcji szkła opakowaniowego mająca na celu zmniejszenie zużycia mediów energetycznych oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń” mieści się w dyscyplinie naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. W związku z powyższym **wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do kolejnych etapów postępowania w sprawie nadanie stopnia doktora.**

Podpisał Tomasz Czekiert