

prof. dr hab. inż. Dariusz Mikielewicz, czł. koresp. PAN  
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa  
Instytut Energii  
Zakład Systemów i Urządzeń Energetyki Ciepłej  
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12  
tel. +58 347 2254  
email: [Dariusz.Mikielewicz@pg.edu.pl](mailto:Dariusz.Mikielewicz@pg.edu.pl)

Gdańsk, 18 maja 2023 r.

## **R E C E N Z J A**

**pracy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Musiała pt.  
"Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC zasilanej  
ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych "**

wykonana na podstawie zlecenia z 24 kwietnia 2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka z dnia 20 kwietnia 2023 r. Jest to druga recenzja pracy, która została wcześniejszą recenzją skierowana przeze mnie do korekty.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jacek Kalina, prof. PŚl, a promotorem pomocniczym Łukasz Antczak.

### **1. Przedmiot rozprawy**

Przedstawiona do recenzji praca pod tytułem „*Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC zasilanej ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych*” została przygotowana w ramach programu Ministerstwa Edukacji i Nauki Doktorat Wdrożeniowy II edycja. Dotyczy ona analiz możliwości zagospodarowania ciepła odpadowego różnej jakości (o różnych temperaturach) do produkcji energii elektrycznej wykorzystując obiegi Rankina z organicznym czynnikiem roboczym. Doktorant przeprowadził analizę trzech wariantów instalacji z obiegami ORC i na tej podstawie omówił zagadnienia związane z projektowaniem, doбором elementów instalacji i eksploatacją obiegów ORC.

Do przedstawionej w pracy analizy wykorzystano doświadczenia pozyskane przez Doktoranta na instalacjach wykonanych przez firmę Marani, jak również wiedzę literaturową z modelowania obiegów termodynamicznych wykorzystujących niskoentalpowe ciepło odpadowe.

Poprawiona wersja praca jest zdecydowanie bardziej czytelna i przejrzysta biorąc pod uwagę fakt, że poprzednia wersja pracy odbiegała standardem od klasycznych układów prac doktorskich. Mimo wszystko podtrzymuję swoje stanowisko, że w pracy doktorskiej rozdziały wprowadzające do dysertacji powinny poprzedzać rozdziały będące własnym wkładem Doktoranta do rozprawy. Oznacza to, że po przedstawieniu wprowadzenia do tematyki, celu, zakresu i tezy pracy w jej dalszej części powinny być przedstawiane jedynie osiągnięcia własne. W przedmiotowej pracy tak niestety nie jest. Po rozdziale 1, który wprowadza Czytelnika w

tematykę pracy, wprowadzono rozdział 2 przedstawiający cel, zakres i tezy pracy. Wątpliwie ulokowane są dla mnie rozdziały 3 i 4. Są one nadal rozdziałami opisowymi, sporządzonymi na podstawie przeglądu literatury, a znajdują się w części, które powinny zawierać jedynie analizy związane z udowadnianiem tezy pracy. Abstrahując od faktu niewłaściwej struktury pracy mogę stwierdzić, że przedmiotowa praca jest dobrym poradnikiem jak przygotować się do zaprojektowania, doboru elementów a następnie eksploatacji instalacji ORC. Można powiedzieć, że pierwszy rozdział pracy jest rzeczywiście rozdziałem, w którym Czytelnik jest wprowadzony do tematyki technologii ORC. W kolejnych częściach Doktorant przybliży Czytelnikowi zasady modelowania układów energetycznych, budowę modeli symulacyjnych układów oraz modelowanie empiryczne. Praca liczy łącznie 136 stron (poprzednio 101 stron), z czego na część pierwszą (rozdział 1), wprowadzającą do tematyki pracy, przypada 25 stron. Praca zawiera 9 rozdziałów, spis literatury oraz spis rysunków i tabel (nie wymienionych w spisie treści). Do pracy dołączono wydruk istotnych fragmentów programu obliczeniowego. Literatura wykazana jest w łącznej liczbie 90 pozycji, z czego 1 praca jest współautorstwa Doktoranta.

We **wstępnym rozdziale** do pracy czytelnik wprowadzony jest do tematyki potencjału i możliwości wykorzystania ciepła odpadowego na świecie jak i w Polsce. Przedstawione są klasyfikacje czynników roboczych do pracy w układach ORC jak również ograniczenia w stosowaniu tych obiegów. Doktorant omawia współpracę górnego źródła ciepła z wytwornicą pary w obiegu ORC.

**W rozdziale drugim** przedstawione są tezy badawcze pracy oraz cel i jej zakres.

**W rozdziale trzecim** Doktorant przedstawia przegląd literatury w zakresie optymalizacji układów ORC współpracujących ze źródłami ciepła odpadowego. W obecnej postaci jest to bardzo kompetentnie przeprowadzony przegląd wraz z przedstawionymi ograniczeniami. Niemniej Doktorant nie wyróżnia żadnego z kryteriów oceny pracy układów ORC ze względu na ich optymalność. Ostatnie zdanie rozdziału, po którym czytelnik przechodzi do dalszej lektury stwierdza, że sprawność egzergetyczna wydaje się być lepszym kryterium optymalizacji układów ORC niż kryterium sprawności termodynamicznej czy stopnia zagospodarowania strumienia ciepła odpadowego.

**W rozdziale czwartym** Doktorant przedstawia ocenę potencjału produkcji energii elektrycznej w układach ORC napędzanych energią odpadową w polskim przemyśle. Rozdział ten jest interesujący i przedstawia opracowanie danych literaturowych, z których wynika potencjał do wykorzystania do produkcji energii elektrycznej z różnych poziomów temperaturowych ciepła odpadowego. Uważam także, co jeszcze raz podkreślam, że rozdział taki powinien się pojawić się przed postawieniem tezy pracy.

**W rozdziale piątym** omawia prototypowe jednostki ORC wyprodukowane przez firmę Marani. Są to trzy różne prototypy o mocy elektrycznej około 10, 30 i 300 kWe. Instalacja Marani ORC10 dotyczy instalacji współpracującej ze źródłem ciepła o temperaturze ok. 80°C z R1233zd jako czynnikiem roboczym, Marani ORC30 współpracuje ze źródłem o temperaturze ok. 500°C i toluenem jako czynnikiem roboczym, i w końcu Marani ORC300 współpracuje ze źródłem ciepła o temperaturze 400°C oraz olejem silikonowym MM jako czynnikiem roboczym. Doktorant podkreśla fakt, że wspomniane „...prototypy powstały przy współpracy z IMP PAN w Gdańsku, który pierwotnie odpowiadał za prace koncepcyjne, w tym optymalizację termodynamiczną, wybór docelowych rozwiązań technicznych oraz szczegółowy projekt turbiny”. Celem doprecyzowania własnego wkładu do przedstawionych rozwiązań Doktorant w sposób jawny przedstawia swoje udziały w pracach, co zdecydowanie ułatwia recenzentowi zadanie oceny rzeczywistego wkładu pracy Doktoranta do omówionych wcześniej prototypów. Takie postawienie sprawy naświetla rzeczywiste osiągnięcia naukowe i techniczne przedmiotowej pracy. Chciałbym w tym miejscu podkreślić fakt, że wymieniając swoje aktywności wpływające na realizację tezy pracy należało by najpierw zacząć od

wymienienia aktywności naukowych, poprzez wdrożeniowe dochodząc do elementów związanych z pozyskiwaniem poszczególnych części i podzespołów do instalacji.

W **rozdziale szóstym** przedstawiono model matematyczny dla wyznaczania nominalnych parametrów pracy instalacji ORC wraz z procedurami optymalizacyjnymi. Doktorant wprowadza na określenie konfiguracji obiegu termodynamicznego nowe określenie pod nazwą „struktura technologiczna”. Posługuje się tym określeniem jakby była to ogólnie przyjęta w terminologii dotyczącej obiegów termodynamicznych definicja. Autor dysertacji omawia po prostu cztery konfiguracje obiegów ORC, czyli obieg z bezpośrednim dostarczaniem ciepła do parownika bez regeneracji oraz z regeneracją oraz takie same dwie konfiguracje, przy czym doprowadzanie ciepła do parownika obiegu ORC odbywa się za pomocą płynu pośredniczącego w postaci oleju termalnego. Są to typowe konfiguracje, które analizowane są w podobnych przypadkach. Nie powinno się tu zmieniać ogólnie zaakceptowanej terminologii. Przedstawiony model matematyczny to wykaz równań bilansowych do wyznaczania wymaganych wielkości związanych z obiegiem. Poza przedstawieniem schematu ideowego obiegów bardzo pomocny w analizie byłby schemat, w którym pokazane są punkty węzłowe obiegu, żeby przedstawione równania były bardziej zrozumiałe. Również przedstawienie graficzne algorytmu obliczeń ułatwiłoby percepcję pracy. W obecnej formie jedynie specjalista z obszaru obiegów termodynamicznych jest sobie w stanie poradzić ze zrozumieniem zastosowanej procedury. W opinii Doktoranta, ale też i moim, osiągnięciem pracy jest program obliczeniowy. W obecnej wersji jest on przedstawiony w pracy oraz dołączono jego wydruk w postaci załącznika. Liczne niedociągnięcia stylistyczne i językowe zostały poprawione przez Doktoranta. Procedura obliczania wymienników ciepła została gruntownie poprawiona w obecnej wersji pracy. Jest ona spójna i zrozumiała dla Czytelnika.

W rozdziale przedstawiono także model matematyczny przy zmiennym obciążeniu. Jest to model, który został opracowany jako uniwersalny, z wykorzystaniem korelacji literaturowych z opcją ich zastąpienia charakterystykami konkretnych komponentów. Po raz kolejny przedstawiona jest sekwencja wzorów bez odniesienia do źródeł ich pochodzenia, co sprawia, że są praktycznie nieweryfikowalne. Wzór (6.4.2) zawiera współczynniki a-f, których wartości są podane w opisie wzorów, bez odniesienia do źródła informacji.

Kolejną informacją przekazaną w tym rozdziale jest szacowanie kosztów układów ORC. Jest to jeden z ciekawszych wątków poruszanych w rozprawie. Oszacowano w funkcji ilości czynnika koszty czynnika roboczego (toluenu), oleju termalnego czy glikolu. Oczywiście mamy znowu do czynienia z brakiem informacji z jakich ofert korzystał Doktorant i nie ma żadnych odnośników literaturowych. Kolejno Doktorant opracował zależności dotyczące kosztu turbiny, generatora energii elektrycznej, ekonomizera, parownika i skraplacza, regeneratora oraz pomp. Poza kosztami turbiny, które opracował na podstawie własnych danych zakładu, pozostałe wyżej wymienione elementy mają odniesienie do jednej pozycji literaturowej, w której koszty niekoniecznie są miarodajne. Doktorant oszacował także dodatkowe koszty instalacji tak, że w efekcie końcowym jego koszt całkowity jest funkcją 26 składowych.

W rozdziale przedstawiono obliczenia efektu ekologicznego, składającego się z jednej tabeli, w której pokazano wskaźniki emisji zanieczyszczeń dla produkcji energii elektrycznej opartej o procesy spalania w roku 2020. W poprzedniej odsłonie pracy rozdział ten był odrębnym. W obecnej postaci dobrze wpasowuje się on w strukturę pracy.

Na zakończenie rozdziału Doktorant przedstawia opracowane przez siebie oprogramowanie powstałe w języku programowania Python.

**Rozdział siódmy** to studium przypadku, w którym Doktorant porównuje instalację Marani ORC30 z instalacją opracowaną przez IMP PAN. Przedstawiono obliczenia za pomocą własnego modelu obliczeniowego dla sześciu czynników roboczych oraz wybranych parametrów zasilania układu celem wyznaczenia optymalnego rozwiązania kierując się mocą

netto układu ORC jako kryterium optymalizacyjnym. Wyniki przedstawiono na wykresach, bez obszerniejszej analizy, co prowadzi do pewnego niedosytu. Rozdział 7.3 to porównanie wyników obliczeń z obliczeniami przeprowadzonymi w IMP PAN. Między porównywanymi przypadkami występują spore rozbieżności, do których w niewielkim stopniu odnosi się Doktorant.

**Rozdział ósmy** to przedstawienie wniosków. Jest to nowo wprowadzony do pracy rozdział, który w większości wypełnia luki w dyskusji powstałe w poprzednich rozdziałach. Przeprowadzona jest analiza efektywności poszczególnych rozpatrywanych konfiguracji obiegów. Analizy te są kompetentne i potwierdzające dużą wiedzę Doktoranta z tego obszaru. W moim odczuciu niepotrzebnym było wprowadzanie nowego rozdziału, a przedstawiona dyskusja powinna być wpleciona do rozdziału siódmego.

**Rozdział dziewiąty** to podsumowanie wyników pracy oraz wniosków. Wnioski mają charakter obserwacji z przeprowadzonych eksperymentów. Głównym wnioskiem z pracy jest zauważenie, że zastosowanie regeneracji w obiegu wyraźnie zwiększa maksymalną moc netto układu, a zastosowanie pętli pośredniczącej w dostarczaniu ciepła ma wpływ odwrotny na moc generowaną w układzie (za wyjątkiem oleju silikonowego MM). Wniosek ten wynika bezpośrednio z temperatur dostarczania ciepła do obiegu ORC, bezpośrednio wykorzystane spaliny mają temperaturę zdecydowanie wyższą niż olej termalny. Większość pozostałych wniosków związanych ze sprawnością cieplną poszczególnych konfiguracji jest oczywista i wynika z drugiej zasady termodynamiki. Oryginalne są wnioski związane z kosztami inwestycyjnymi i tę część pracy uważam za najbardziej interesującą.

W rozdziale znajduje się także przedstawienie wdrożeniowego charakteru opracowanych narzędzi. Wynika z niego, że opracowane w pracy narzędzia obliczeniowe umożliwią firmie Marani szybkie i efektywne wykonywanie studiów wykonalności dla indywidualnych przypadków oraz wsparcie w procesie ofertowania.

## 2. Tezy badawcze pracy

W skorygowanej wersji pracy Doktorant zmienił tezę badawczą z:

*Efektywność energetyczna, ekonomiczna i ekologiczna odzysku ciepła odpadowego na potrzeby produkcji energii elektrycznej w modułowych układach siłowni, pracujących według obiegu Clausiusa-Rankine'a czynnika organicznego (ORC) jest zależna od doboru struktury technologicznej układu, czynnika roboczego, parametrów konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych i możliwe jest takie dostosowanie wartości poszczególnych zmiennych decyzyjnych, które w danych warunkach aplikacyjnych zapewni efekt optymalny.*

na następujące trzy elementy:

1. *Jest możliwe w warunkach polskiego rynku energii opracowanie konstrukcji modułowych siłowni ORC zasilanych przemysłowym ciepłem odpadowym, które spełniać będą kryteria opłacalności stawiane rzeczowym projektem inwestycyjnym.*
2. *W przypadku siłowni zasilanych ciepłem odpadowym kryterium optymalności dla zagadnienia doboru wartości poszczególnych zmiennych decyzyjnych w zakresie parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych można sprowadzić do kryterium maksymalizacji mocy obiegu termodynamicznego. W warunkach polskiego rynku energii zapewnia ono spełnienie kryterium optymalności z uwagi na końcowy efekt finansowy i opłacalność odzysku ciepła odpadowego.*
3. *Jest możliwe opracowanie (cytat z tekstu) narzędzia do obliczeń układu ORC, które pozwoli w krótkim czasie określić zakres stosowalności danego modułu siłowni ORC (rozumiany jako dopuszczalny obszar implementacji bez konieczności*

*wprowadzania zmian konstrukcyjnych) w kontekście dostępnych parametrów źródła ciepła odpadowego.*

Poprawione tezy pracy są zdecydowanie lepiej postawione i dostosowane do treści pracy. W ramach przeprowadzonych analiz za pomocą własnego modelu matematycznego oraz porównaniach z posiadanymi danymi eksploatacyjnymi z rzeczywistych prototypów ORC Doktorant wykazuje prawdziwość postawionych tez i dokumentuje je wynikami zamieszczonymi w pracy.

### **3. Oryginalność pracy**

W mojej ocenie trudno znaleźć oryginalne naukowe osiągnięcia pracy. Z oryginalnych osiągnięć pracy wskazałbym następujące elementy:

1. zebranie danych dotyczących ciepła odpadowego w Polsce w świetle jego możliwości dalszego wykorzystania, czyli w podziale na poziomy temperaturowe,
2. opracowanie korelacji szacujących koszty poszczególnych podzespołów i nośników ciepła w instalacji ORC, które rzeczywiście będą przydatne dla firmy,
3. opracowanie wyników obliczeń i badań, dyskusja wyników i zalecenia do przyszłych prac.

### **4. Wartości użytkowe pracy**

Przedstawiona do oceny praca doktorska charakteryzuje się przede wszystkim wartościami użytecznymi, gdyż zagadnienia poruszane w pracy dotyczą rzeczywistych prototypów instalacji ORC zbudowanych przez firmę Marani. Zaproponowane niewyidealizowane narzędzia badawcze umożliwiają analizę takich obiektów, a przy małych modyfikacjach również i innych podobnych obiektów, oczywiście tylko dla płynów roboczych ujętych w dotychczasowej analizie. Rozszerzenia na inne płyny robocze będą wymagały uzupełnienia programu o koszty związane z dodatkowymi płynami. Szczególnie wartościowe dla firmy, w którą zaangażowany jest doktorant jest szacowanie kosztów układów ORC, które odbywają się równolegle z obliczeniami. Projektowanie tego typu elementów instalacji bez wiedzy, która została przedstawiona przez Doktoranta wymaga dużego doświadczenia, które nabywa się latami analizując podobne przypadki.

### **5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne do pracy**

W poprawionej wersji pracy usunięto szereg niedociągnięć edytorskich i stylistycznych. Pod kątem merytorycznym przedstawiona do recenzji praca jest wartościowa pod względem użytecznym, niemniej nie wnosi dużej oryginalności do zagadnień modelowania obiegów termodynamicznych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt prowadzenia przez Doktoranta wdrożenia instalacji ORC, które w warunkach krajowych jest oryginalne. Dotychczas prowadzone były podobne próby na instalacjach prototypów w laboratoriach uczelni i instytutów badawczych. Przedstawiony model matematyczny instalacji ORC jest klasycznym podejściem do wyznaczania poszczególnych elementów instalacji i nie znajdują tu elementów nowatorskich. Praca napisana jest zwięźle i zapoznaje czytelnika z informacjami koniecznymi do pełnego rozpoznania zagadnienia doboru instalacji ORC do danych parametrów cieplnych zasilania obiegu. W części dokonań własnych ma tak naprawdę charakter raportu z badań trzech instalacji ORC oraz jedno porównanie obliczeniowe z podobną instalacją zaprojektowaną w IMP PAN. W poprawionej wersji pracy określono wkład własny Doktoranta w realizację poszczególnych elementów pracy, co zdecydowanie przyczynia się do jej lepszej oceny w oczach recenzenta. Zaproponowane i zastosowane metody analizy obiegu termodynamicznego obiegu ORC są kompleksową metodyką przeprowadzania takich analiz ze względu na

dotaddkowe uwzględnienie kosztów inwestycyjnych. Zgodnie z ustawą, przedmiotem rozprawy doktorskiej powinno być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej.

Z lektury pracy dodatkowo nasuwają się następane konkluzje, które chciałbym wyjaśnić z Doktorantem:

1. Pomimo, że z premedytacją Doktorant wspomina w części związanej z zakresem pracy, że pomija przedstawienie analizy egzergetycznej dla poszczególnych wariantów to uważam, że praca zyskała by na wartości merytorycznej w przypadku jej włączenia. Ośrodek śląski jest znany w skali świata z prowadzenia zaawansowanych analiz w tym zakresie. Przedstawiona analiza stanowi istotny wkład do problematyki eksploatacyjnej związanej z rozwojem układów ciepłno-przepływowych w instalacjach przemysłowych.
2. Analiza czynników roboczych do pracy w obiegach ORC jest zawsze bardzo interesująca. Nie ma doskonałego i uniwersalnego czynnika roboczego do takich celów. Na jakiej zasadzie Doktorant wybrał do analiz czynniki robocze do analizowanych instalacji ORC. Firma Turboden zastosowała czynnik MDM. Czy widzi Pan możliwość zastosowania innych czynników do tego celu? Analiza tego typu wzbogaciłaby wartość merytoryczną pracy.
3. Proszę skomentować możliwość zaproponowania dla rozpatrywanej/nych instalacji obiegu nadkrytycznego. Ciśnienie krytyczne czynników nie powinno być przeszkodą w implementacji, a korzyści ze względu na sprawność obiegu znaczne. Zagadnienie to należy rozpatrzyć z innym czynnikiem pośredniczącym w przypadku z grzaniem pośrednim obiegu za pomocą oleju termalnego. Posiadane narzędzie numerycznego mogłoby być bardzo pomocne w takiej analizie.

Pomimo korekt edytorskich przedstawiona mi do oceny jej wersja wciąż zawiera szereg błędów „literówkowych”, jak również i w terminologii oraz stylu prezentacji wyników. Niemniej jest ona zdecydowanie lepiej złożona i przedstawiona. Bibliografia w obecnej postaci pracy spełnia jednolity standard.

W pracy wciąż znajdują się nieliczne tzw. literówki, które pokrótce wymieniam poniżej:

1. W spisie oznaczeń należy zwrócić uwagę, że opisy symboli powinny zaczynać się z małej litery.
2. W spisie oznaczeń występuje błędnie napisane określenie liczby Nusselta.
3. Str. 10 linia 5 od dołu. Jest „ternie” powinno być „terenie”.
4. Str. 11 linia 15 od dołu. Jest „trackie” powinno być „trakcie”.
5. Str. 15 linia 12 od dołu. Jest „Barytona” powinno być „Braytona” (dwa razy).
6. Str. 17 linia 2 od góry. Jest „Claussiusa” powinno być „Clausiusa”.
7. Str. 19 linia 1 od góry. Jest „Ts” powinno być „T-s”.
8. Str. 26 linia 4 od góry. Jest „Oragnic” powinno być „Organic”.
9. Str. 29 linia 13 od góry. Jest „egzegetycznej” powinno być „egzergetycznej”.
10. Str. 34 linia 21 od góry. Jest „przyjmuj się” powinno być „przyjmuje się”.
11. Str. 57 linia 16 od dołu. Jest „ternie” powinno być „terenie”.

## 6. Wniosek końcowy

Biorąc powyższe uwagi pod rozwagę stwierdzam, że w moim przekonaniu w obecnej postaci praca może stanowić rozprawę doktorską. Traktuję ją jako rzeczywisty wkład do teorii modelowania obiegów ORC. Dotyczy ona wdrożenia trzech instalacji ORC oraz przeprowadzenia badań zarówno numerycznych jak i eksperymentalnych. Interpretacja

wyników jest przekonująca, o wysokim poziomie kompetencji Doktoranta. Uzyskane wyniki obserwacji oraz przeprowadzona analiza wyników jest interesująca, ważna zarówno z punktu widzenia poznawczego, ale przede wszystkim praktyki inżynierskiej. Autor przeprowadził rzetelny przegląd literaturowy, analizę posiadanych danych doświadczalnych i obliczenia za pomocą własnego narzędzia numerycznego. Wykazał się umiejętnością analizy wyników badań eksperymentalnych i numerycznych oraz głęboką wiedzą dotyczącą zagadnienia. Ponadto wykazał się dużą samodzielnością w rozwiązaniu postawionego zagadnienia. Uzyskane wyniki budzą zaufanie.

**Podsumowując** stwierdzam, że w moim przekonaniu, praca spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez odpowiednie ustawy. Biorąc pod uwagę podstawowy charakter przedstawionych badań kwalifikowałbym ją do dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka*. Biorąc powyższe pod uwagę, **stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Arkadiusza Musiała do publicznej obrony.**



Signed by /  
Podpisano przez:

Dariusz Przemysław  
Mikielewicz  
Politechnika  
Gdańska

Date / Data: 2023-  
05-19 07:48