

Kraków, 23.02.2026

Dr hab. inż. Artur Cebula, Prof. PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Energetyki
al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Fingasa
„Comprehensive system and numerical analysis of a small-scale ejector-based
natural refrigeration system”

1. Podstawa opracowania

Podstawę do opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Fingasa stanowi Uchwała nr 265/2025 Rady Dyscypliny z dnia 18 grudnia 2025 roku. Uchwała ta wskazuje, że zgodnie z art. 190 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz.U. 2024, poz. 1571, z późn. zm) oraz uchwały nr 43/2023 Senatu Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 25 września 2023 r. Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej powołała mnie w skład komisji doktorskiej.

2. Wprowadzenie

Motywacją do powstania tej pracy przez autora było rosnące, globalne zapotrzebowanie na chłodzenie, napędzane urbanizacją, cyfryzacją oraz zmianami klimatu, które powoduje coraz większą presję na wdrażanie technologii chłodniczych o mniejszym wpływie środowiskowym. Autor wskazuje, że przejście na czynniki naturalne jest dodatkowo wzmacniane przez regulacje ograniczające stosowanie substancji o wysokim potencjale tworzenia efektu cieplarnianego, co w praktyce wymusza poszukiwanie rozwiązań łączących wysoką sprawność z niską emisyjnością i zgodnością z trendami regulacyjnymi. W tym kontekście autor ukierunkowuje rozprawę na rozwój i ocenę systemu chłodniczego wykorzystującego czynniki naturalne oraz ciepło odpadowe, jako realnej alternatywy dla klasycznych układów sprężarkowych.

W tym kontekście rozprawa koncentruje się na termicznie napędzanych technologiach chłodniczych wykorzystujących ciepło odpadowe, które mogą wspierać dekarbonizację sektora chłodnictwa. Autor podkreśla, że układy strumienicowe (Ejector Refrigeration Systems – ERS) są rozwiązaniem obiecującym ze względu na prostotę, niskie wymagania obsługowe i kompatybilność z ciepłem odpadowym, jednak ich wdrożenia ogranicza silna wrażliwość na zmienne warunki brzegowe. W szczególności ejektory o stałej geometrii (Fixed Geometry Ejector – FGE) przy zmiennych temperaturach źródła ciepła i warunkach otoczenia często pracują daleko od punktu projektowego, co obniża współczynnik zasysania i współczynnik efektywności (Coefficient of Performance – COP). Autor wskazuje, że ejektory o zmiennej geometrii (Variable Geometry Ejector

– VGE) mogą tę wadę ograniczać przez bieżącą adaptację geometrii dyszy, natomiast nadal istnieje luka badawcza dotycząca wiarygodnej oceny pracy VGE w realnie zmiennych warunkach oraz opracowania skutecznego sterowania wrzecionem.

Rozprawa ma charakter przede wszystkim obliczeniowy i modelowy, przy czym autor opiera wnioski na połączeniu zaawansowanych obliczeń CFD (Computational Fluid Dynamics – mechanika płynów obliczeniowa) z modelami zredukowanego rzędu (Reduced Order Models – ROM) oraz analizą dynamiczną całego systemu. Zgodnie z deklarowanym celem autor wykonuje dynamiczne symulacje ERS z VGE dla czynnika naturalnego R290 z użyciem rzeczywistych profili temperatury ciepła odpadowego i danych pogodowych (różne strefy klimatyczne), a zachowanie ejektora opisuje poprzez ROM oparty na wynikach CFD, możliwy do integracji w symulacjach systemowych i wykorzystania do budowy logiki sterowania. Jednocześnie praca obejmuje kampanię eksperymentalną wrzecionowego VGE na czynnik R290 oraz analizę możliwości zastosowania opracowanego podejścia do innych naturalnych czynników i mieszanin. Z tego względu należy stwierdzić, że rozprawa jest aktualna i istotna z punktu widzenia rozwoju technologii chłodnictwa przyjaznego środowisku oraz praktycznego wykorzystania niskotemperaturowego ciepła odpadowego.

3. Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska Rafała Fingasa pt. „Comprehensive System and Numerical Analysis of a Small-Scale Ejector-Based Natural Refrigeration System” została przygotowana w ramach Joint Doctorate Programme (Gliwice–Milan, 2025). Praca powstała pod kierunkiem prof. Giorgio Besagniego oraz prof. Jacka Smółki, przy współudziale dr. Michała Haidy jako promotora pomocniczego (co-supervisor).

Praca zawiera się 233 stronach, w części wstępnej zamieszczono podziękowania i przedmowę opisującą formułę wspólnego doktoratu pomiędzy Politechniką Śląską i Politecnico di Milano, a także streszczenia/abstrakty w kilku wersjach językowych, w tym „Abstract” oraz „Streszczenie”. W pracy znajduje się również wykaz symboli i skrótów („List of symbols / Abbreviations”), co porządkuje oznaczenia stosowane w dalszych rozdziałach.

Zasadnicza treść rozprawy została podzielona na osiem rozdziałów. W rozdziale pierwszym („Introduction”) autor przedstawia tło technologii chłodnictwa napędzanego termicznie, przegląd rozwiązań absorpcyjnych, adsorpcyjnych i strumienicowych, a następnie omawia naturalne czynniki chłodnicze (m.in. amoniak, CO₂ oraz węglowodory) i kontekst wykorzystania ciepła odpadowego; w końcowej części rozdziału formułuje motywację podjętego tematu i cele oraz zakres pracy. Jako cele rozprawy autor wymienia cztery cele cząstkowe:

1. Opracowanie strumienicowego układu chłodniczego (ERS) na R290 z ejektorem o zmiennej geometrii (VGE), z wykorzystaniem rzeczywistego niskotemperaturowego źródła ciepła odpadowego oraz danych pogodowych do analiz w rzeczywistych warunkach pracy.
2. Opracowanie dwóch modeli zredukowanego rzędu (ROM) dla VGE na podstawie wyników CFD, w tym podejścia umożliwiającego obliczenia innych czynników chłodniczych lub ich mieszaniny o podobnych właściwościach.
3. Ocena potencjału odzysku ciepła odpadowego przez ERS z użyciem rzeczywistych profili temperatury ciepła odpadowego oraz analiza pracy systemu w różnych strefach klimatycznych przy zmiennych warunkach środowiskowych i obciążeniowych.

4. Zbadanie wykonalności adaptacji projektu VGE opracowanego dla R290 do innych mieszanin naturalnych czynników chłodniczych, wraz z identyfikacją wydajnościowych i kluczowych uwarunkowań projektowych dla ejektora wieloczynnikowego.

Rozdział drugi („Design of Variable Geometry Ejector”) dotyczy konstrukcji strumienicy o zmiennej geometrii (VGE), obejmując geometrię, sterowanie wrzecionem oraz opis wykonanego urządzenia (manufactured ejector).

W rozdziale trzecim przedstawiono stanowisko badawcze i metodykę pomiarową dla VGE na czynniku R290 (propan), w tym procedury pomiarowe, zakres pracy oraz wyniki dotyczące regulacji wydajności i analizy profilu ciśnienia statycznego w strumienicy. Autor przedstawia wyniki kampanii eksperymentalnej VGE na R290 w następującym zakresie warunków pracy: ciśnienie na wlocie dyszy napędowej utrzymywano w przedziale 15,8–20,2 bar przy temperaturze 80–105°C, ciśnienie na wlocie dyszy ssącej wynosiło 2,2–5,4 bar przy temperaturze 22–36°C, a ciśnienie na wylocie (dyfuzor) było 2,3–6,0 bar (temperatura 48–78°C). W testach analizowano 8 położzeń wrzeciona SP0–SP7, a w części pomiarów profilu ciśnienia statycznego utrzymywano ciśnienie wylotowe w kontrolowanym zakresie 5–6 bar i zmieniano ciśnienie ssania w celu zmiany „pressure lift”.

Rozdział czwarty stanowi kluczową część rozprawy, ponieważ autor opracowuje w nim modele zredukowanego rzędu (ROM) dla ejektora o zmiennej geometrii (VGE), które mają umożliwić szybkie symulacje dynamiczne całego układu strumienicowego ERS. Dane do budowy ROM zostały wygenerowane wyłącznie na podstawie obliczeń CFD (bez użycia pomiarów eksperymentalnych w datasetcie). Obliczenia CFD wykonano w Ansys Fluent, przy czym autor opiera się na wcześniej rozwiniętym i testowanym podejściu HEM oraz przywołuje jego wcześniejsze walidacje literaturowe. Zdefiniowano obwódnię warunków brzegowych dla symulacji CFD, a także wskazano, że siatki numeryczne dla analizowanych położzeń wrzeciona pochodzą z pracy Besagni i in.

W rozdziale przedstawiono dwie wersje ROM budowane metodą POD-RBF. Pierwszy, „klasyczny” ROM wykorzystuje jako wejścia ciśnienia i entalpie na wlotach dyszy napędowej i ssącej oraz ciśnienie na wylocie, a jako wyjścia zwraca strumienie masy po stronie napędowej i ssącej. Drugi, uogólniony ULF-VGE ROM, ma zwiększyć możliwość przenoszenia modelu na inne czynniki o podobnych właściwościach i wykorzystuje stosunki ciśnień oraz temperatury na wlotach dysz, zwracając współczynnik zasysania (MER). Autor pokazuje też analizę wrażliwości na rozdzielczość rozkładów uzyskanych z CFD i wskazuje, że dopiero wariant o wysokiej rozdzielczości daje odpowiednią dokładność ROM (błędy względne poniżej 1%). Rozdział kończy implementacja ROM w środowisku Dymola poprzez funkcje zewnętrzne, tak aby ROM mógł pracować w symulacjach systemowych bardzo szybko i bez narzutu obliczeniowego charakterystycznego dla CFD.

Rozdział piąty poświęcono budowie i wykorzystaniu dynamicznego modelu układu ERS w środowisku Dymola/Modelica dla czynnika R290, w którym kluczowy element (ejektor VGE) jest odwzorowany poprzez ROM opracowane w rozdziale 4. Autor opisuje strukturę modelu systemowego (generator, skraplacz, parownik, armatura i sterowanie) oraz przyjęte korelacje/komponenty biblioteczne użyte do opisu wymiany ciepła i oporów przepływu, a następnie definiuje scenariusz bazowy, w którym wymuszenie czasowe stanowi głównie zmienna temperatura otoczenia, wpływająca na warunki skraplania i w konsekwencji na pracę ejektora. Podano także ustawienia obliczeń dynamicznych (m.in. krok czasowy 0,1 s) oraz praktyczną informację o koszcie obliczeń dla symulacji 24-godzinnej.

W rozdziale kluczowe jest przedstawienie logiki sterowania VGE: algorytm w każdej chwili dobiera pozycję wrzeciona (SP0–SP7) na podstawie przeszukania zestawu sub-ROM tak, aby uzyskać możliwie korzystną pracę układu (w praktyce maksymalizując strumień ssący/entrainment). Następnie autor wykonuje dobową analizę dynamiczną dla rzeczywistych profili temperatury otoczenia w trzech lokalizacjach (Gliwice, Milano, Trondheim) i porównuje układ z VGE do wariantów z ejektorami o stałej geometrii (FGE). Wniosek jest jednoznaczny: przewaga VGE rośnie wraz ze zmiennością wa-

runków zewnętrznych, ponieważ regulacja geometrii pozwala utrzymywać pracę bliżej punktu projektowego; autor raportuje w tych testach znaczące wzrosty średniego dobowego COP (maksymalnie do ok. 52%) oraz poprawy efektu chłodniczego w zależności od analizowanego klimatu.

Rozdział szósty stanowi rozszerzenie analiz z rozdziału 5, ponieważ autor bada pracę układu ERS z ejektorem o zmiennej geometrii (VGE) w warunkach, gdy napędem wytwarzania chłodu jest niskotemperaturowe ciepło odpadowe doprowadzane do generatora, a jego temperatura zmienia się w czasie zgodnie z danymi przemysłowymi. W tym celu do modelu dynamicznego w Dymola/Modelica wprowadza rzeczywiste, nieprzefiltrowane profile temperatury ciepła odpadowego o rozdzielczości 1 s, pochodzące z trzech zakładów (kopalnia, kuźnia, fabryka łożysk), które różnią się poziomem stabilności i amplitudą wahań w zakresie ok. 90–101°C. Autor utrzymuje stałe warunki po stronie parownika (m.in. 10°C oraz przegrzanie o 3 K), aby wyizolować wpływ fluktuacji źródła ciepła odpadowego i warunków otoczenia na pracę ejektora oraz sterowanie pozycją wrzeciona. Następnie definiuje 9 scenariuszy dobowych jako kombinacje trzech stref klimatycznych (Gliwice, Milano, Trondheim) i trzech profili ciepła odpadowego, a wyniki interpretuje przez przebiegi chwilowe i średnie dobowe COP oraz mocy chłodniczej. Wnioski wskazują, że stabilniejsze źródło ciepła odpadowego prowadzi do łagodniejszego sterowania i bardziej przewidywalnej pracy układu, natomiast bardziej zmienne profile wymuszają częstsze korekty SP i powodują większe wahania parametrów pracy.

Rozdział 7 odpowiada na pytanie: czy ejektor o zmiennej geometrii (VGE) zoptymalizowany pod R290 da się sensownie użyć także z innymi czynnikami (i mieszaninami) bez przeprojektowania geometrii – korzystając z uogólnionego ROM (ULF-VGE ROM) z rozdziału 4, który zwraca bezwymiarowy współczynnik zasysania (MER). Autor podkreśla, że dzięki temu można analizować inne czynniki bez pełnego przeprojektowywania ejektora i z mniejszym kosztem obliczeń. Analizę prowadzi etapowo: wprowadza czynniki, wdraża kompaktowy model dyszy napędowej w Dymola i porównuje uzyskane COP oraz moc chłodniczą. Autor wskazuje, że spośród czystych czynników kryteria spełnia jedynie R1270, a jako pasujące mieszaniny wymienia m.in. R436A/B/C oraz wybrane mieszaniny z udziałem DME. Weryfikacja pokazuje zgodność ULF-VGE ROM z bazowym ROM dla R290 (z niewielkimi odchyłkami w rejonie ciśnienia krytycznego), co uzasadnia dalsze użycie modelu uogólnionego. W wynikach autor raportuje poprawę COP i mocy dla R1270/mieszanin R290-R1270 (dla R1270 rzędu +10% COP i +20% mocy), natomiast dodatek DME (eter dimetylowy) powoduje spadki (dla 50/50 około -6% COP i -20% mocy) oraz sygnalizuje potencjalne problemy stabilności przy bardziej „przymkniętych” nastawach (np. SP7).

Praca kończy się rozdziałem 8. W tym rozdziale autor podsumowuje rozprawę jako analizę ERS z ejektorem o zmiennej geometrii (VGE) zasilanego niskotemperaturowym ciepłem odpadowym i pracującego na R290, obejmującą eksperyment, ROM wsparte CFD oraz symulacje dynamiczne przy zmiennych warunkach otoczenia i źródła ciepła. Wskazuje, że eksperyment potwierdził możliwość sterowania zasysaniem pozycją wrzeciona, a profile ciśnienia statycznego mogą posłużyć do dalszej kalibracji CFD. Autor przypomina opracowanie dwóch ROM (bazowego i uogólnionego ULF-VGE) oraz wniosek główny, że pojedynczy VGE może zastąpić wiele ejektorów stałogeometrycznych, poszerzając obszar pracy i utrzymując pracę bliżej obszaru projektowego. W planach dalszych prac proponuje rozwój hybrydowego ROM (CFD+eksperyment), bardziej ciągłe sterowanie wrzecionem oraz rozszerzenie obwiedni modelu i usprawnienia systemowe (np. lepsze wymienniki i magazyn chłodu).

4. Uwagi krytyczne oraz dyskusyjne do pracy

- 1) W rozdziale 2.3 Manufactured ejector, przedstawiono geometrię 3D eżektora. Proszę opisać za pomocą jakich maszyn wykonano elementy urządzenia i w jaki sposób sprawdzono dokładność obrobionych powierzchni.
- 2) W rozdziale 3 autor pokazuje, że dla pozycji wrzeczona SP7 uzyskuje się najwyższy współczynnik zasysania MER (około 0,40–0,45), ale tylko w bardzo wąskim zakresie pracy i przy dużej wrażliwości na zmianę warunków. Jednocześnie w dalszej części rozprawy (przy wynikach CFD/ROM) autor opisuje dla SP7 przypadek „malfunction regime”, czyli sytuację, w której pojawia się odwrócenie przepływu i ujemny strumień po stronie ssącej.
Czy może Autor jednoznacznie wskazać, przy jakich wartościach ciśnień (ciśnienie na wlocie dyszy napędowej p_{motive} , ciśnienie ssania $p_{suction}$ i ciśnienie wylotowe p_{out}) pozycja SP7 jeszcze daje najlepsze MER, a od jakiego momentu zaczyna się stan nieprawidłowy („malfunction/backflow”)? Innymi słowy: czy da się zdefiniować prostą granicę/warunek sterowania, który mówi: „dla takich ciśnień SP7 jest bezpieczne i korzystne, a dla takich już nie należy go stosować”?
- 3) Czy wyniki z obliczeń CFD zostały porównane z wynikami otrzymanymi z pomiarów z rozdziału 3?
- 4) Czy opracowany model ROM nie jest modelem skalowalnym na inne wymiary eżektora (inne średnice/długości)?
- 5) Jak brzmi teza rozprawy doktorskiej?
- 6) Skoro autor przywołuje podejście hybrydowe ROM łączące dane CFD i eksperymentalne jako sposób poprawy dokładności, to czy rozważał wykorzystanie własnych pomiarów (choćby do walidacji wybranych punktów pracy lub do „dokalibrowania” obszaru w pobliżu punktu krytycznego), zwłaszcza że w analizie rozdzielczości map CFD wskazuje się na szczególną wrażliwość odwzorowania charakterystyki w rejonie poza projektowym (on/off-design)?
- 7) Proszę wyjaśnić, czy model opracowany w programie Dymola Modelica został zwalidowany i w jaki sposób?
- 8) Autor wykorzystuje rzeczywiste profile temperatury ciepła odpadowego o rozdzielczości 1 s i deklaruje ich użycie bez filtrowania, co powoduje częste zmiany nastaw (SP) i wahania parametrów pracy. Czy w związku z tym uwzględniono (albo przynajmniej oszacowano) wpływ bezwładności cieplnej po stronie generatora oraz ograniczeń wykonawczych napędu wrzeczona (maks. szybkość zmiany położenia, opóźnienia), i czy zastosowanie filtracji/ograniczenia szybkości zmian SP istotnie zmieniłoby wyniki dobowego COP i mocy?
- 9) Czy autor może uzasadnić, na ile procedura przesiewowa czynników/mieszanin (oparta na jednym punkcie referencyjnym 85°C/5°C/20°C i kryterium $\pm 10\%$ dla stosunków ciśnień) jest reprezentatywna dla całej pracy układu chłodzenia ERS? Innymi słowy: czy przy innych warunkach otoczenia i/lub innym poziomie temperatury ciepła odpadowego lista „pasujących” czynników (np. R1270, R436A/B/C) pozostaje taka sama, czy może istotnie się zmienia?

5. Uwagi redakcyjne

- 1) Na stronie 59 występuje błąd w zdaniu: w ostatniej linijce „the” pojawia się dwukrotnie.
- 2) Rysunek 3.2 na którym jest zdjęcie stanowiska, jest za mały. Zdjęcie stanowiska powinno być większe, tak aby czytelnik miał lepsze zrozumienie tematu.
- 3) Na stronie 50 w opisie rozdziału 5 pojawia się dwukrotnie słowo „representing representing”

4) W 3.2.2 Uncertainty analysis na stronie 66 jest błąd: „foollowing equation”

6. Ocena rozprawy

Moim zdaniem tematyka rozprawy jest aktualna i interesująca, ponieważ dotyczy chłodnictwa napędzanego odzyskiem niskotemperaturowego ciepła odpadowego oraz regulacji pracy strumienicowego układu chłodniczego w warunkach nieustalonych. Rozprawa ma charakter kompleksowy: obejmuje badania eksperymentalne ejektora o zmiennej geometrii, budowę modeli zredukowanego rzędu na podstawie wyników CFD (Computational Fluid Dynamics), implementację tych modeli w analizie dynamicznej układu w środowisku Dymola/Modelica oraz ocenę pracy układu w zmiennych warunkach środowiskowych i źródłowych, a także analizę innych czynników i mieszanin. Za główne osiągnięcia Doktoranta recenzowanej pracy uważam:

1. Eksperymentalne potwierdzenie, że położenie wrzeciona skutecznie reguluje współczynnik zasysania ejektora o zmiennej geometrii oraz że zmierzone profile ciśnienia statycznego mogą posłużyć do dalszej walidacji i kalibracji modeli obliczeniowych.
2. Opracowanie dwóch modeli zredukowanego rzędu na podstawie wyników mechaniki płynów obliczeniowej metodą POD-RBF (wariant klasyczny i uogólniony), wraz z oceną wpływu rozdzielczości map danych na dokładność (błędy $<1\%$) oraz implementacją w Dymola/Modelica umożliwiającą szybkie obliczenia dynamiczne.
3. Zbudowanie dynamicznego modelu strumienicowego układu chłodniczego w Dymola/Modelica i wykazanie przewagi ejektora o zmiennej geometrii nad ejektorem o stałej geometrii w analizie dobowej dla trzech stref klimatycznych (poprawa średniego dobowego współczynnika efektywności od ok. 0,4% do $>50\%$ oraz wzrost mocy chłodniczej od ok. 2% do $>21\%$).
4. Uwzględnienie przypadków, w których ciepło odpadowe jest napędem wytwarzania chłodu, oraz pokazanie wpływu stabilności źródła na dobór położenia wrzeciona i parametry pracy układu.
5. Ocena zastosowania tej samej geometrii ejektora o zmiennej geometrii dla innych czynników i mieszanin z użyciem uogólnionego modelu zredukowanego rzędu, wraz z procedurą przesiewową i ilościową oceną wpływu składu mieszaniny (m.in. poprawa dla R1270 i spadki dla mieszanin z udziałem eteru dimetylowego).

Pod względem formalnym praca jest spójna i czytelna, a przedstawiona metodyka i wyniki są logicznie powiązane, praca jest napisana bardzo starannie i przejrzysto z odpowiednio dobranym materiałem ilustracyjnym.

7. Wnioski końcowe

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawione w recenzji uwagi krytyczne/pytania mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej pracy, którą oceniam wysoko. Rozprawa stanowi oryginalne i użyteczne rozwiązanie problemu utrzymania wysokiej sprawności strumienicowego układu chłodniczego w warunkach zmiennych poprzez zastosowanie ejektora o zmiennej geometrii oraz jego sterowania w symulacjach dynamicznych. Autor wykazał, że proponowane podejście umożliwia analizę i sterowanie układem zarówno w zmiennych warunkach klimatycznych, jak i przy zmiennym zasilaniu niskotemperaturowym ciepłem odpadowym, co jest bezpośrednio powiązane z praktycznymi zastosowaniami chłodnictwa napędzanego odzyskiem ciepła. Na podstawie treści pracy stwierdzam również, że Doktorant posiada bardzo dobrą znajomość

zagadnień z zakresu termodynamiki i przepływów w ejektorach oraz kompetencje w samodzielnym prowadzeniu analiz eksperymentalnych i zaawansowanego modelowania numerycznego.

Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Rafała Fingasa pt. „Comprehensive system and numerical analysis of a small-scale ejector-based natural refrigeration system” spełnia z nadmiarem warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 Ustawy 1 i 2 z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz.U. 2024, poz. 1571, z późn. zm). Biorąc powyższe pod uwagę, stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Rafała Fingasa do publicznej obrony.

Podpisał Artur Cebula