

Optymalizacja projektu systemu odbioru ciepła powyłączeniowego (DHR) reaktora ALLEGRO

Inż. Arkadiusz Siwiec.

Plan Prezentacji

1. Wstęp

- Koncepcja Reaktorów Gazowych Prędkich (GFR)
- ALLEGRO – demonstrator koncepcji GFR

2. Projekt VINCO

- Czego dotyczy
- Zobowiązania NCBJ

3. Rozszerzenie projektu VINCO

- Analiza projektu systemu powyłączeniowego odbioru ciepła
- Wyniki

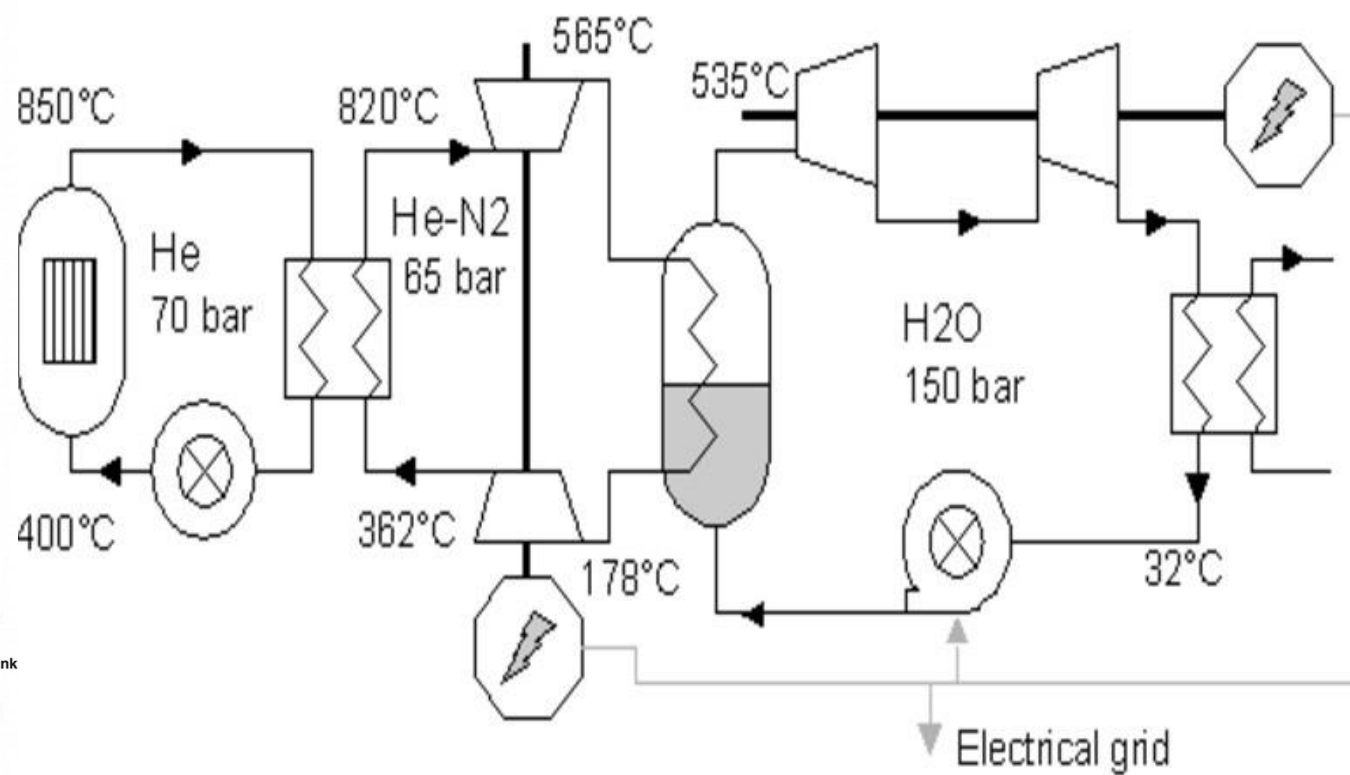
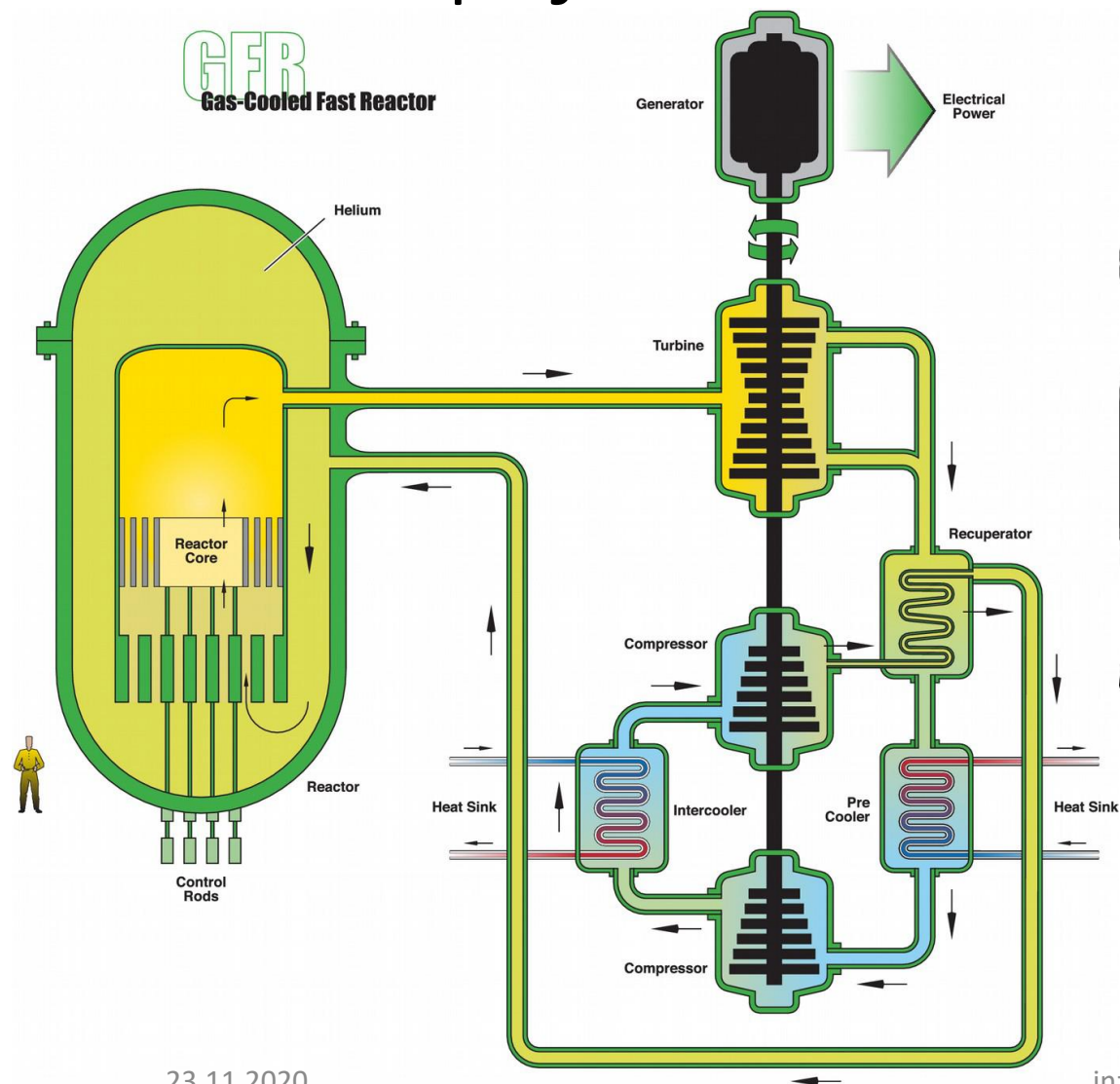
4. Dalsza praca.

Koncepcja GFR

- Jeden z sześciu, wyselekcjonowanych przez GIF, reaktorów generacji czwartej
- Prędkie widmo neutronów
- Bardzo wysoka temperatura wylotowa chłodziwa (helu)
- Pierwotnie – obieg bezpośredni (Braytona) – 600 MWth
- Obecnie – obieg gazowo-parowy – 2400 MWth

Koncepcja GFR

GFR
 Gas-Cooled Fast Reactor



Koncepcja GFR

Zalety:

- Wysoki współczynnik konwersji (powielanie)
- Wypalanie transuranowców
- Wysoka sprawność cieplna
- Możliwość wykorzystania do generowania ciepła procesowego

Wady

- Niska bezwładność cieplna
- Niska konwekcja naturalna
- Duża gęstość mocy
- Straty helu poprzez nieszczelności
- Konieczność zaprojektowania nowego paliwa dla wysokich temperatur i strumieni neutronów prędkich

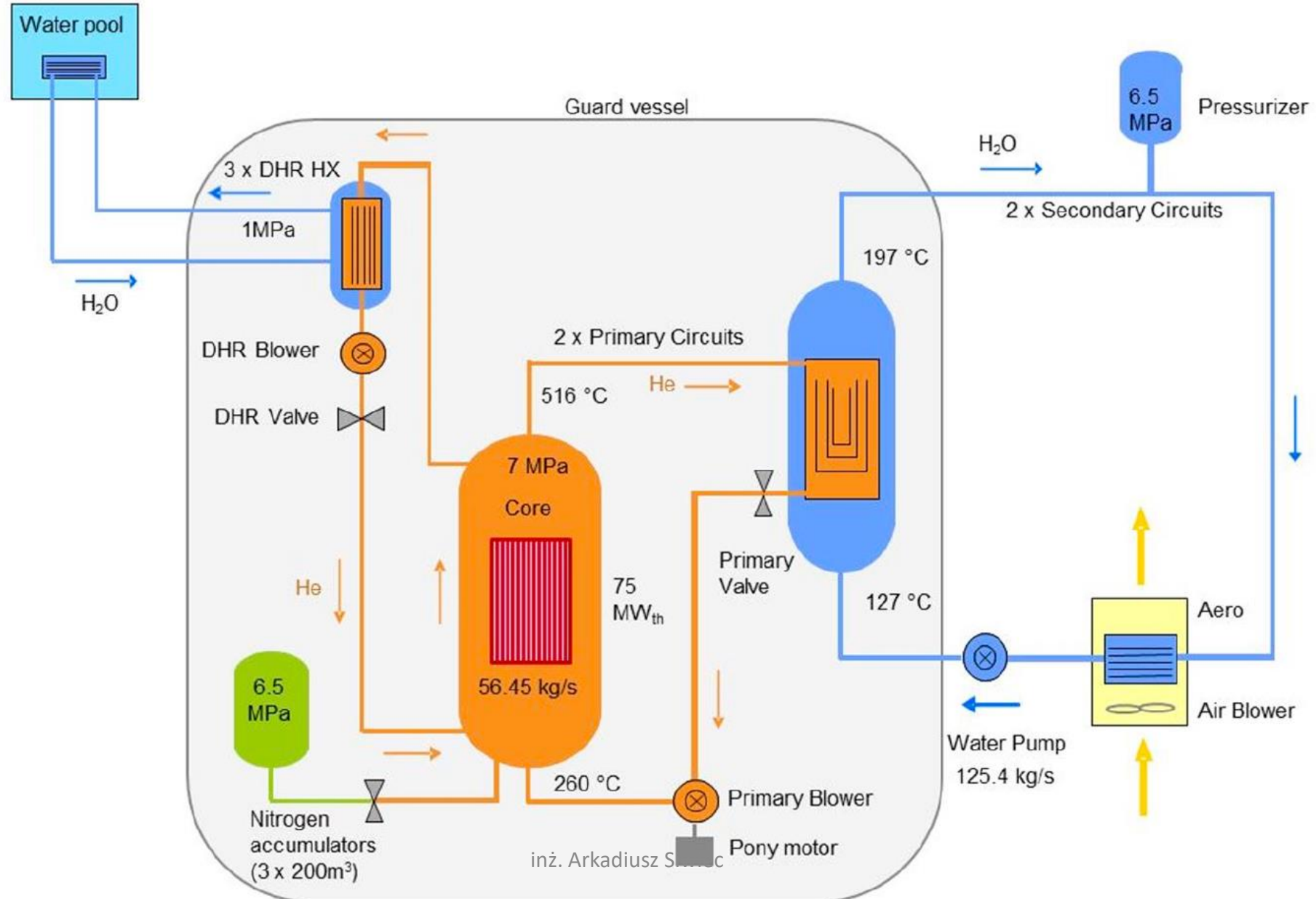
Wybór chłodziwa

- Chemiczna obojętność
- Brak przemiany fazowej
- Przezroczystość
- Brak absorpcji neutronów
- Słaba moderacja neutronów

ALLEGRO

- V4G4 Centre of Excellence:
 - UJV (Republika Czeska)
 - VUJE (Słowacja)
 - NCBJ (Polska)
 - MTA-EK (Węgry)
 - CEA (Francja) wsparcie
- ALLEGRO
 - eksperymentalny reaktor GFR rozwijany przez V4G4.
 - Zademonstruje wykonalność i opłacalność GFR
- Zadania Allegro:
 - Rozwój paliwa do pełnowymiarowego GFR
 - Rozwój technologii helowej
 - Projekt układów i standardów bezpieczeństwa

ALLEGRO – ogólny schemat



VINCO

- Konsorcjum V4G4 realizuje projekt:

Visegrad Initiative for Nuclear Cooperation (VINCO)

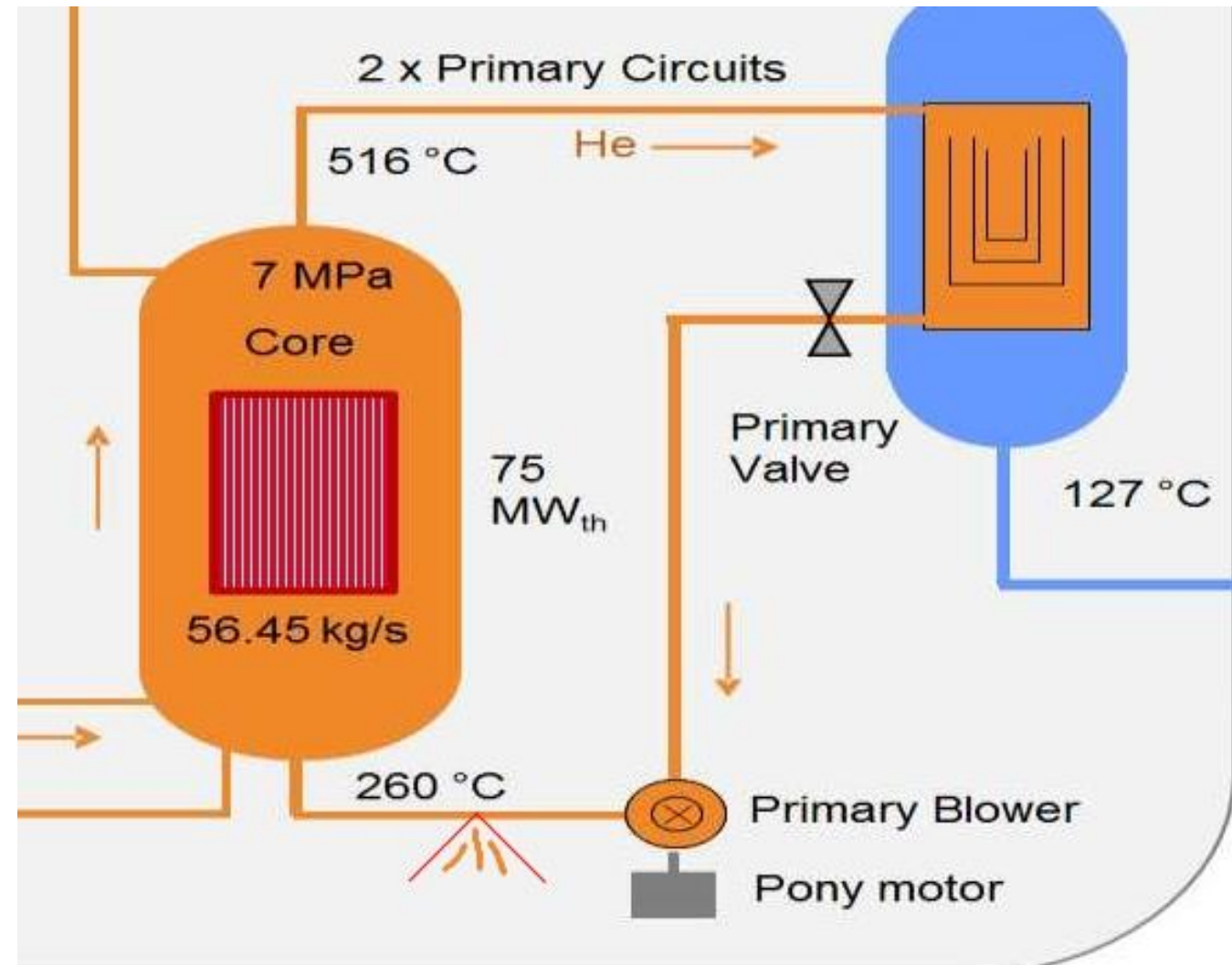
- W projekcie VINCO realizowane są dwa scenariusze awarii w ramach analiz bezpieczeństwa.
 1. Awaria utraty chłodziwa (Loss of Coolant Accident – LOCA)
 2. Awaria całkowitej utraty zasilania elektrycznego (Station Black Out – SBO)
- Zrealizowane we współpracy z mgr. Inż. Januszem Malesą

Narzędzie obliczeniowe – CATHARE-2

- Ciepłno-przepływowy kod systemowy
- Dobrze zwalidowany
- Podstawowe moduły (0-D, 1-D, 3-D) oparte o równania masy, energii i pędu
- Wiele submodułów (np. wymienniki ciepła, zawory, pęknięcia, kinetyka reaktora, termo-mechanika pręta paliwowego)
- Rozwijany w kierunku reaktorów generacji IV

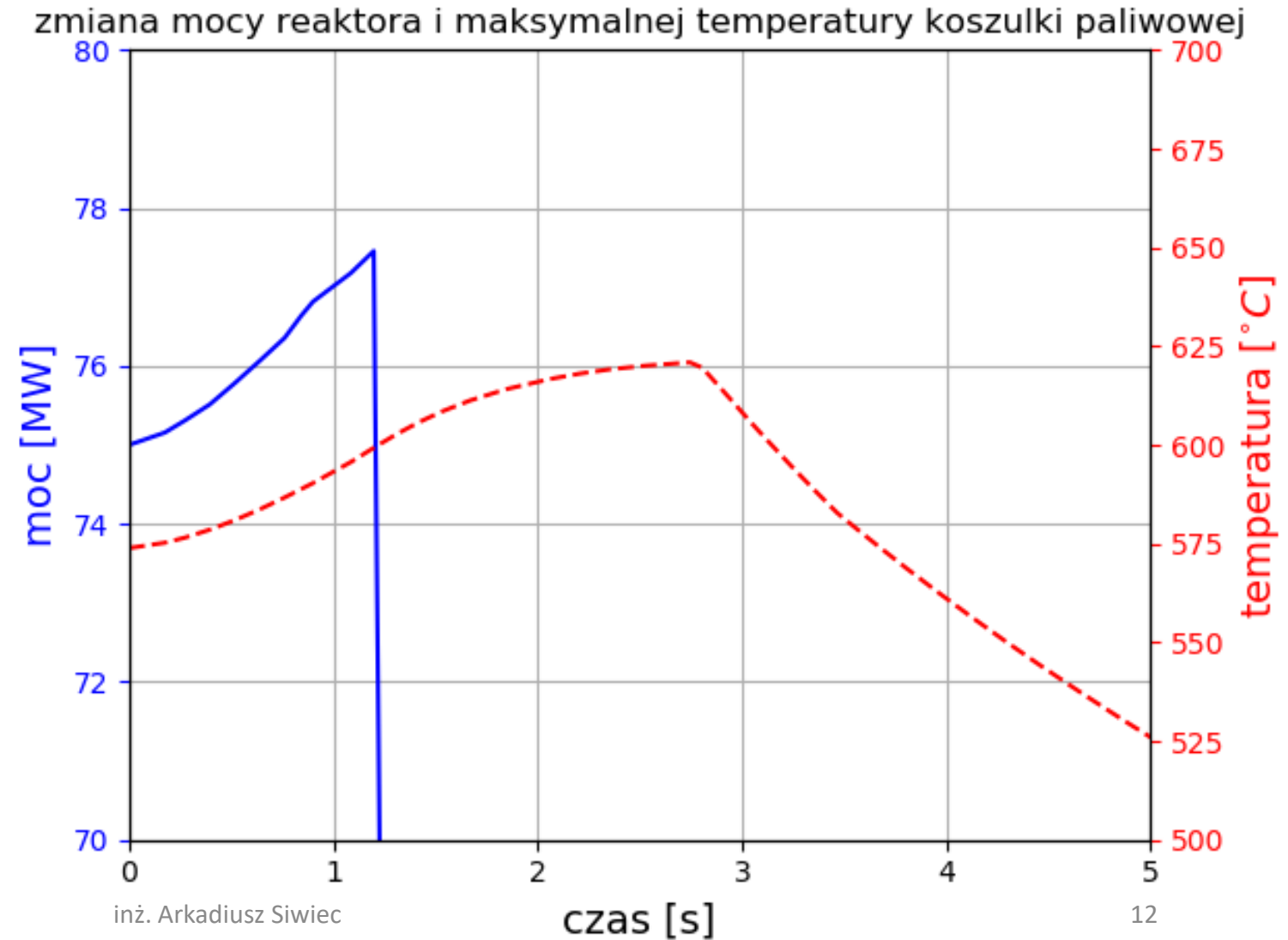
LOCA – Zdarzenia inicjujące

- Rozerwanie chłodnej gałęzi obiegu pierwotnego w środkowej części kanału – połączenie kanału z guard vessel.
- Rozmiar rozerwania – 76.2 mm (3 cale)
- Czas rozerwania – 0.1 sek.



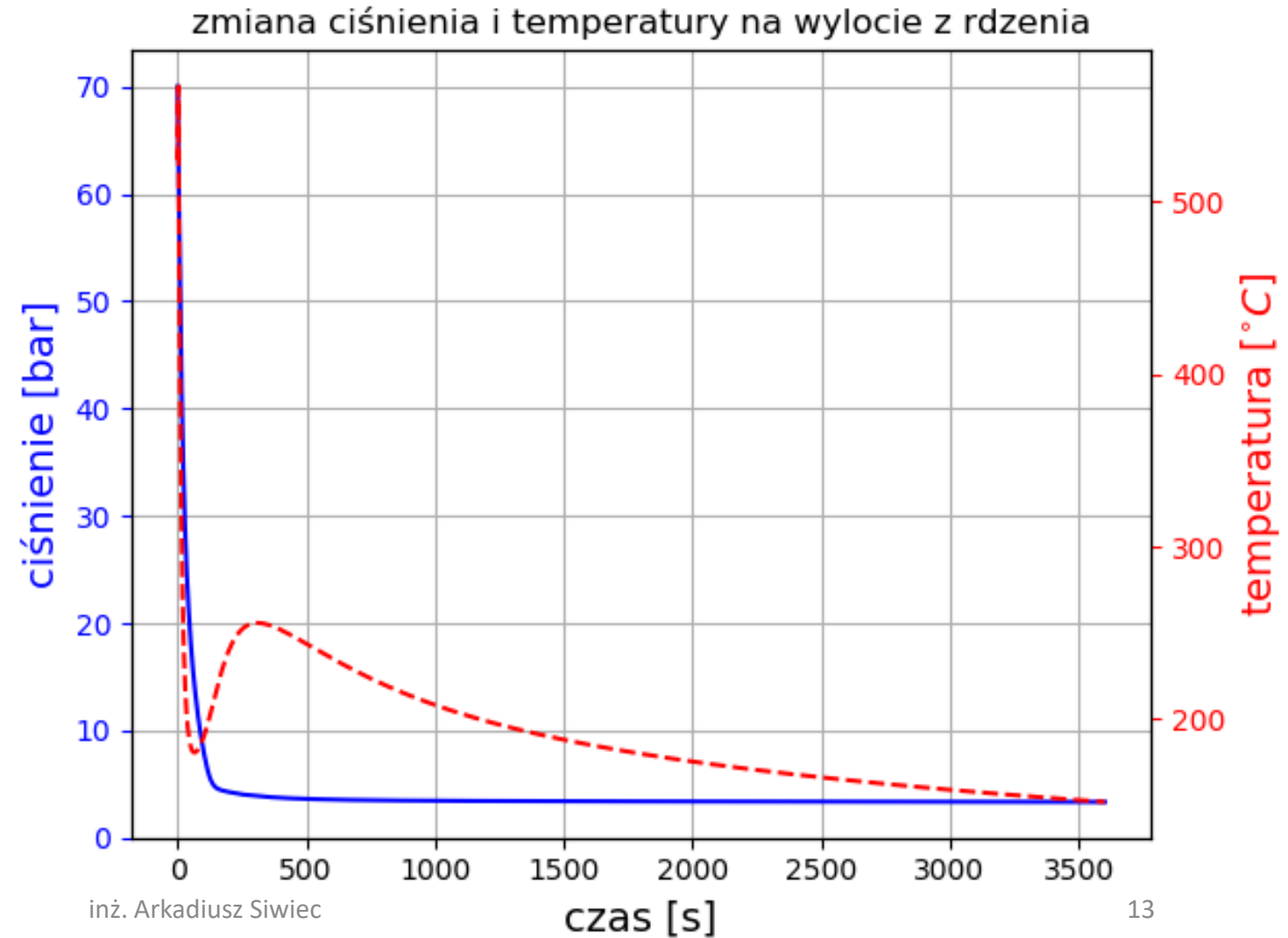
LOCA – Oczekiwane zjawiska vs symulacja

- Początkowy wzrost mocy (wywołany gwałtownym spadkiem gęstości chłodziwa)
- Wzrost temperatury koszulki paliwowej



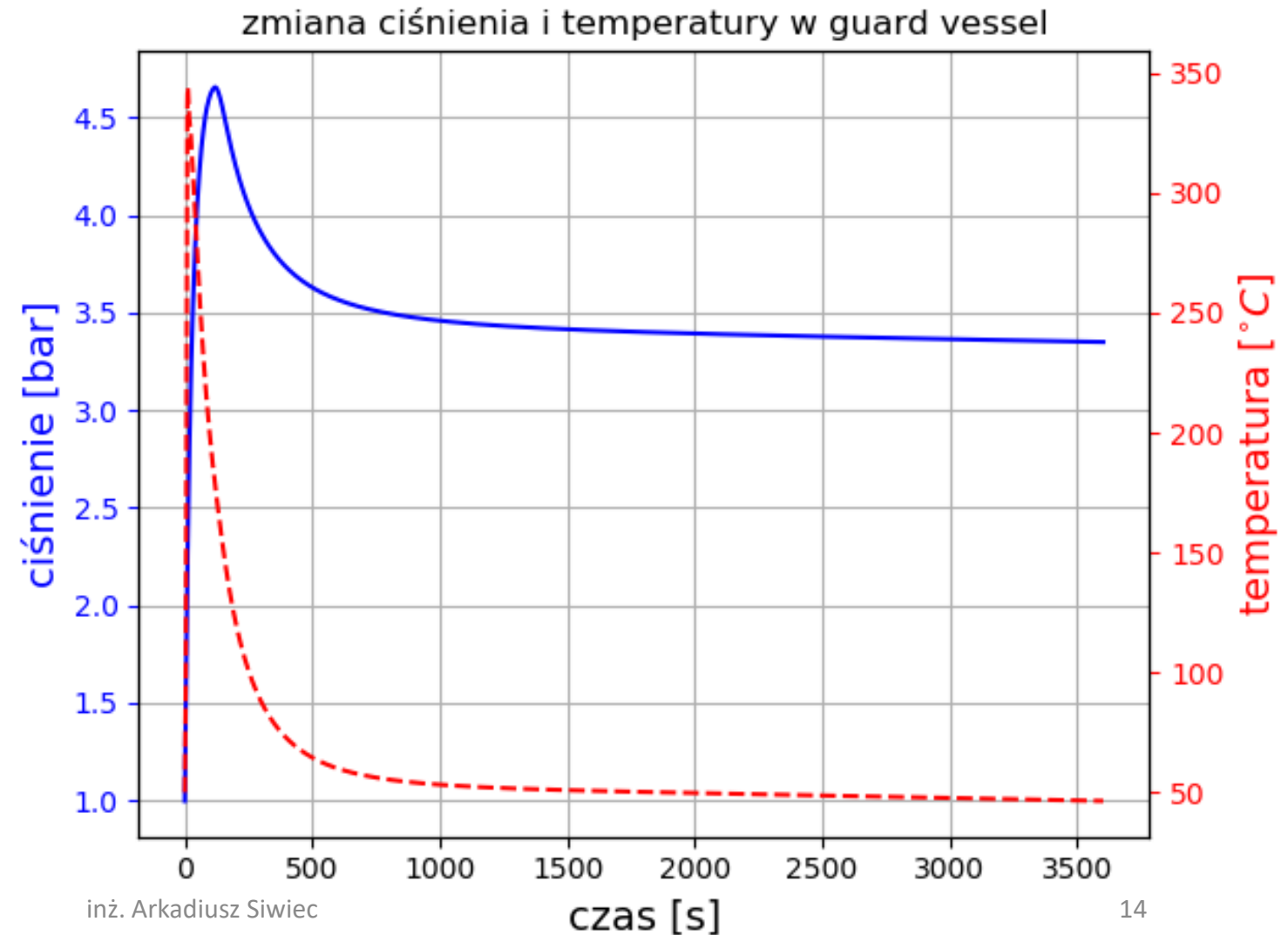
LOCA – Oczekiwane zjawiska vs symulacja

- Spadek ciśnienia i temperatury obiegu pierwotnego



LOCA – Oczekiwane zjawiska vs symulacja

- Wzrost ciśnienia i temperatury w guard vessel



Station Black Out

Zdarzenia inicjujące

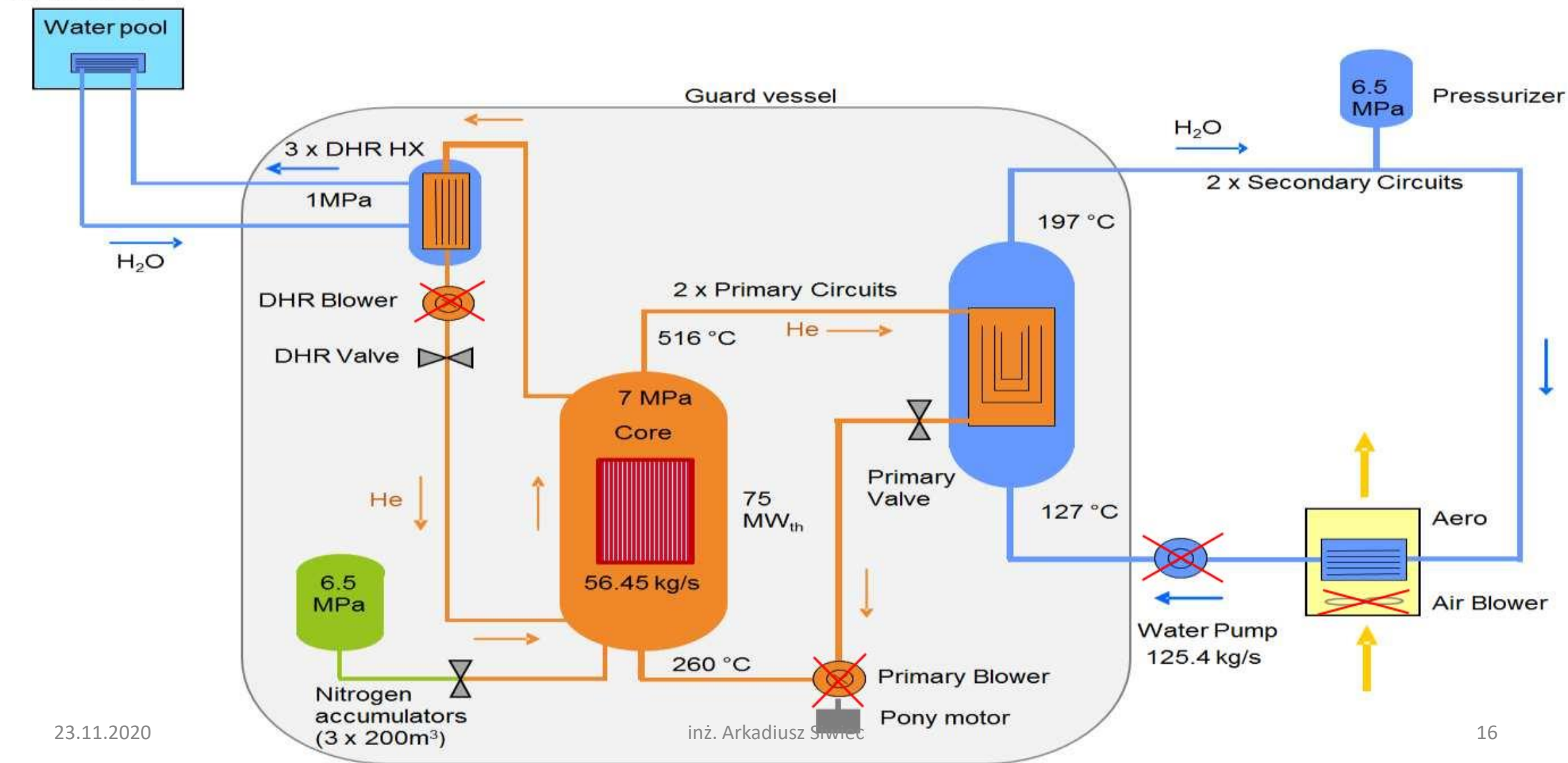
- Całkowita utrata zasilania dmuchaw i pomp
 - Zasilanie zaworów i sygnałów sterujących z baterii jest dostępne
- Tylko jedna z trzech pętli DHR jest dostępna

Oczekiwane zjawiska

- Spadek prędkości obrotowej głównych dmuchaw
 - Spadek masy helu przepływającego przez reaktor
- Początkowy wzrost temperatury wylotowej z rdzenia
 - Naturalna cyrkulacja w DHR
 - Spadek temperatury wylotowej z rdzenia

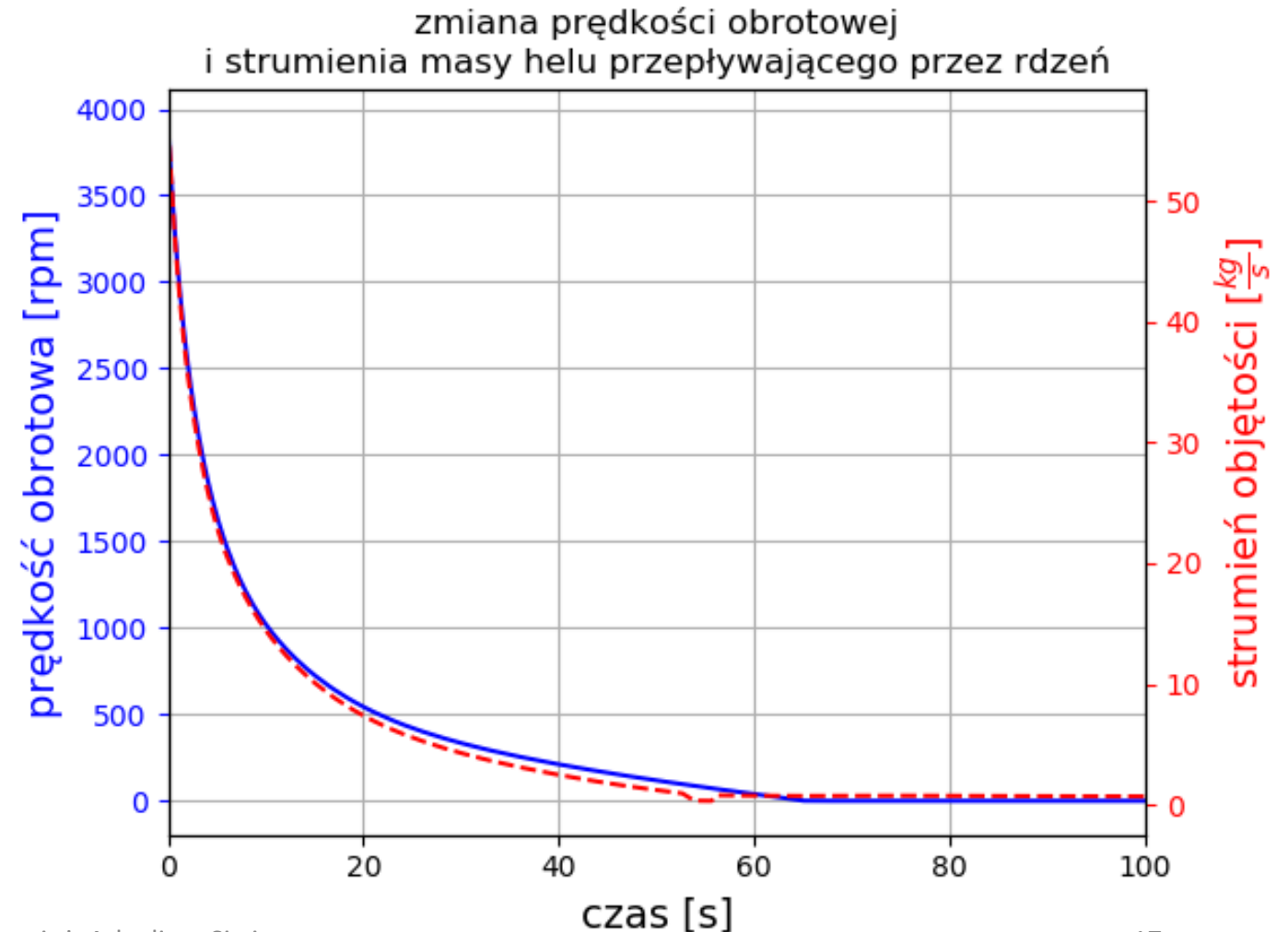
Station Black Out

0.1 MPa; 90 °C



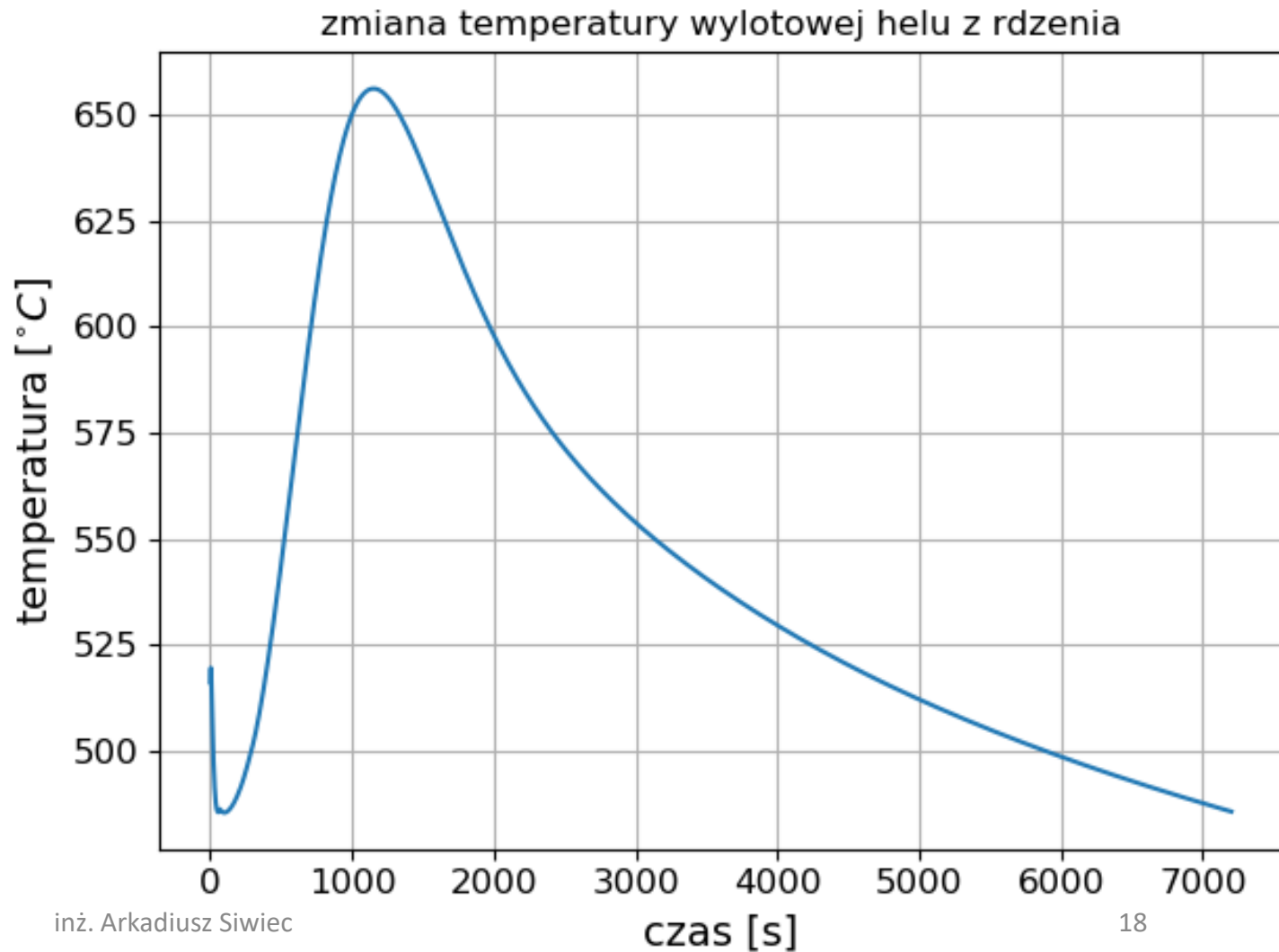
SBO – Oczekiwane zjawiska vs symulacja

- Spadek prędkości obrotowej głównych dmuchaw
- Spadek masy helu przepływającego przez reaktor



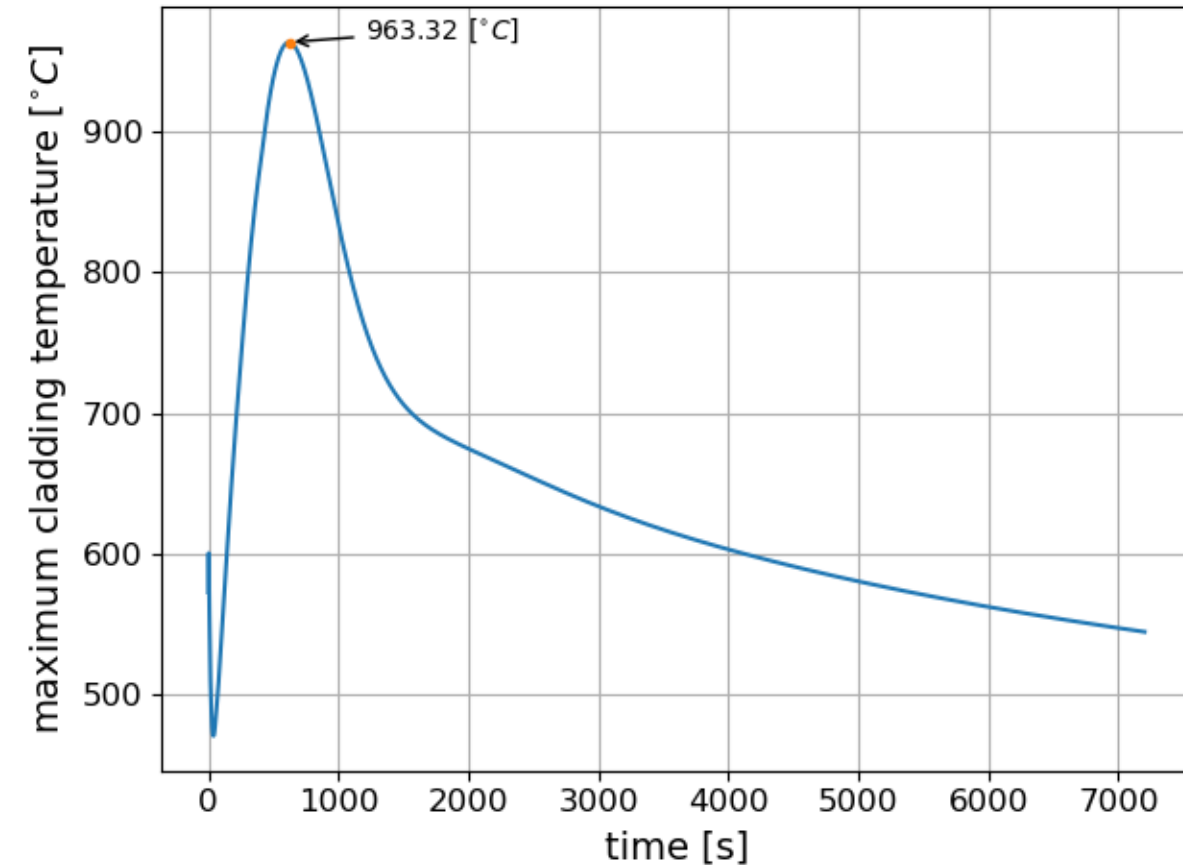
SBO – Oczekiwane zjawiska vs symulacja

- Początkowy wzrost temperatury wylotowej z rdzenia
- Naturalna cyrkulacja w DHR i spadek temperatury wylotowej z rdzenia



Rozszerzenie projektu VINCO

- Analizowana awaria:
 - SBO
- Cel:
 - Obniżenie maksymalnej temperatury koszulki Paliwowej (PCT)
- Metoda:
 - Analiza czułościowa systemu DHR
- Realizowane w ramach pracy magisterskiej we współpracy z:
 - Prof. Henryk Anglart (KTH, PW)
 - Mgr inż. Michał Spirzewski (NCBJ, PW)



Modyfikowane parametry

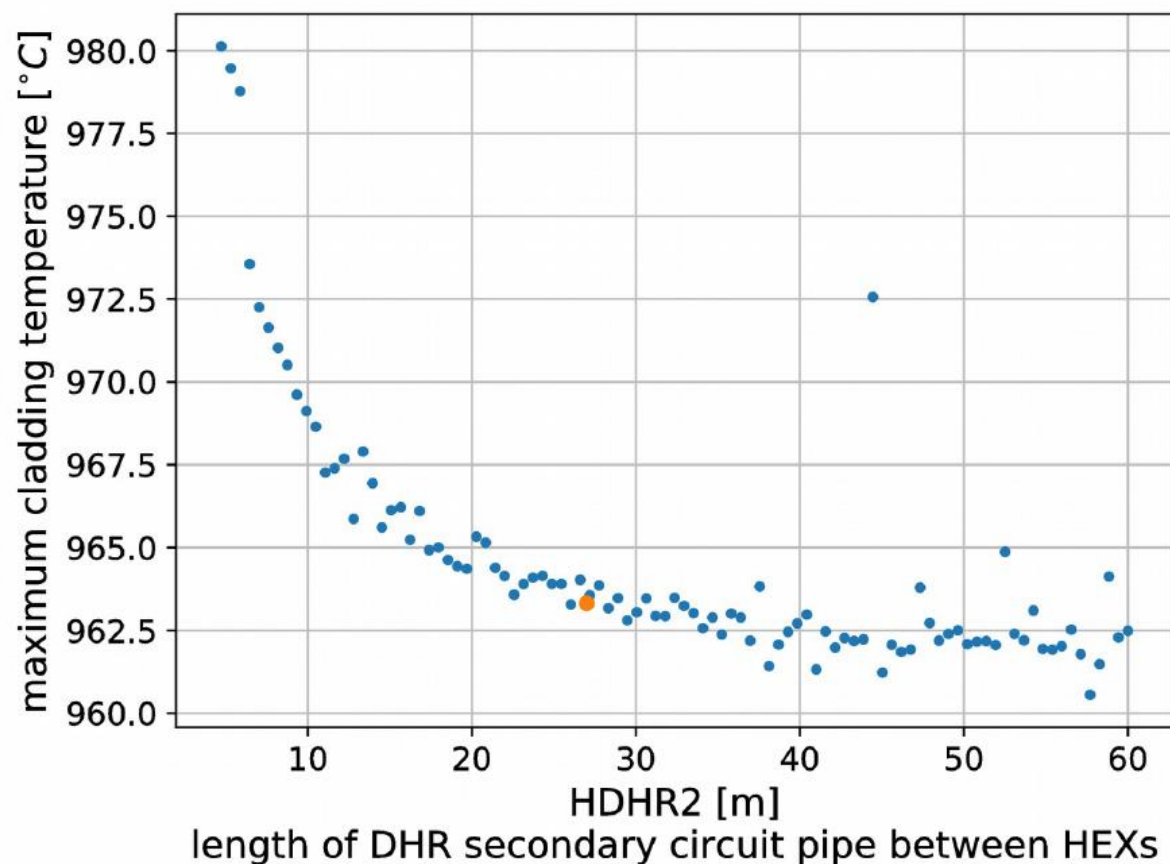
- Różnica wysokości między wymiennikami
- Średnica hydrauliczna rury
- Powierzchnia wymiany ciepła obu wymienników
- „Fouling” obu wymienników
- Wysokość stabilizatora

0.1 MPa; 90 °C



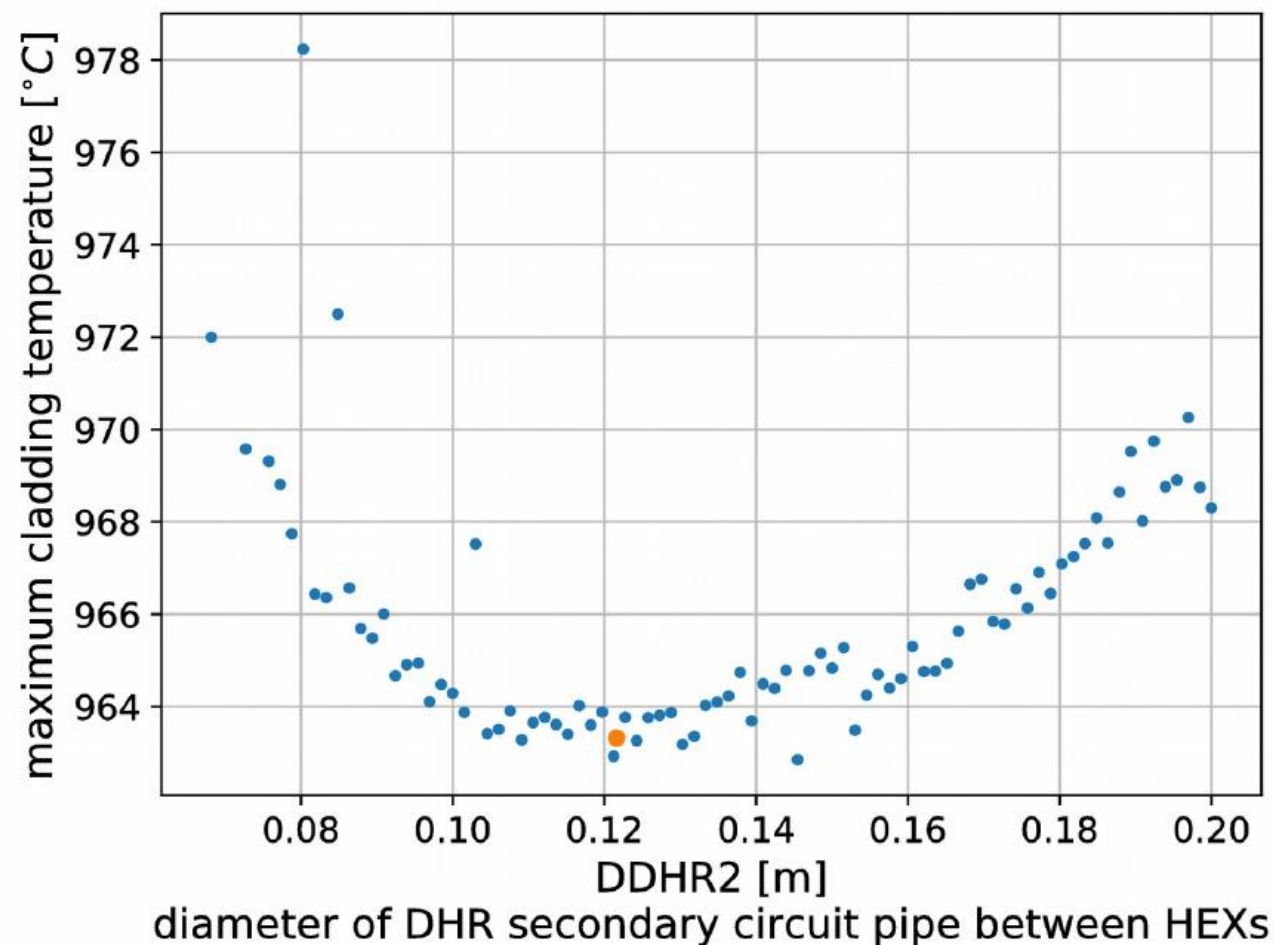
Wyniki

Różnica wysokości wymienników



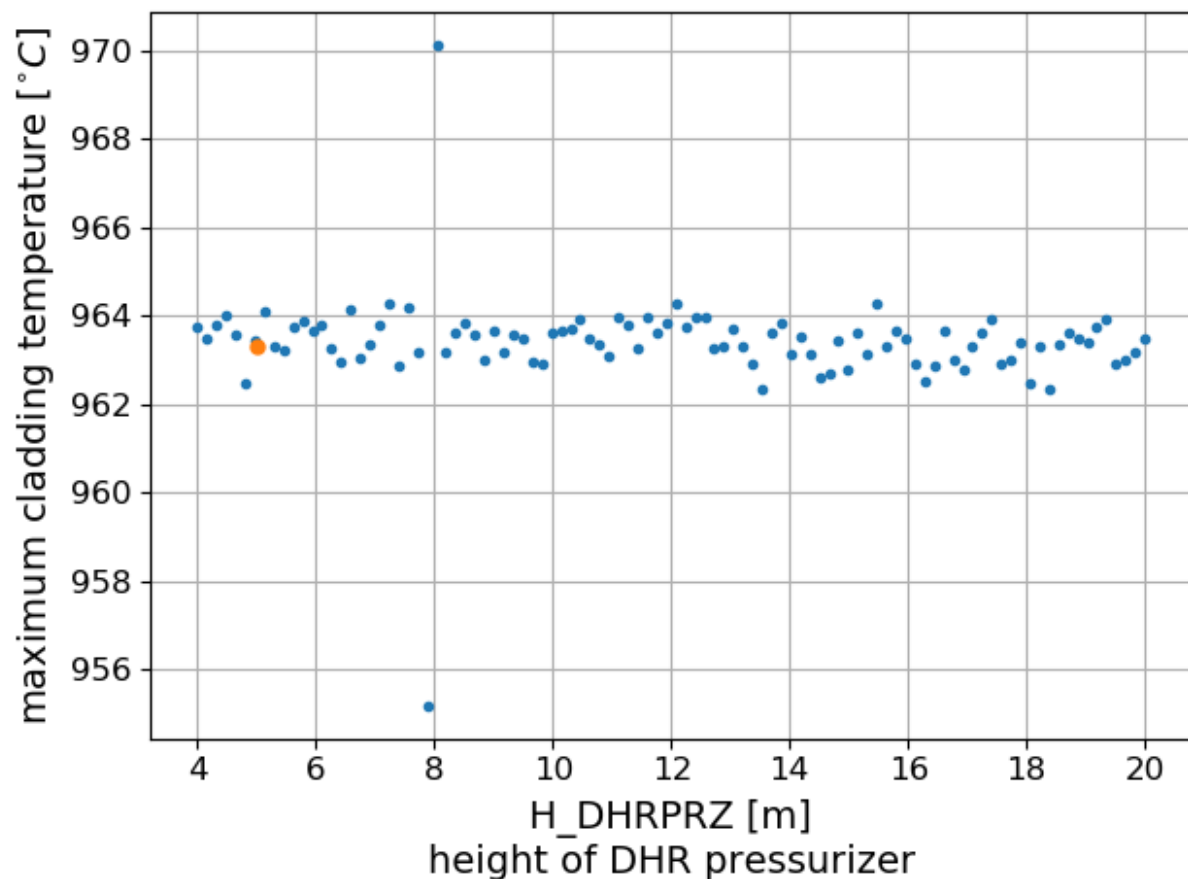
Wysokość	PCT (°C)
27 m (ref)	963.2
40 m	962.7

Średnica hydrauliczna rurociągu między wymiennikami

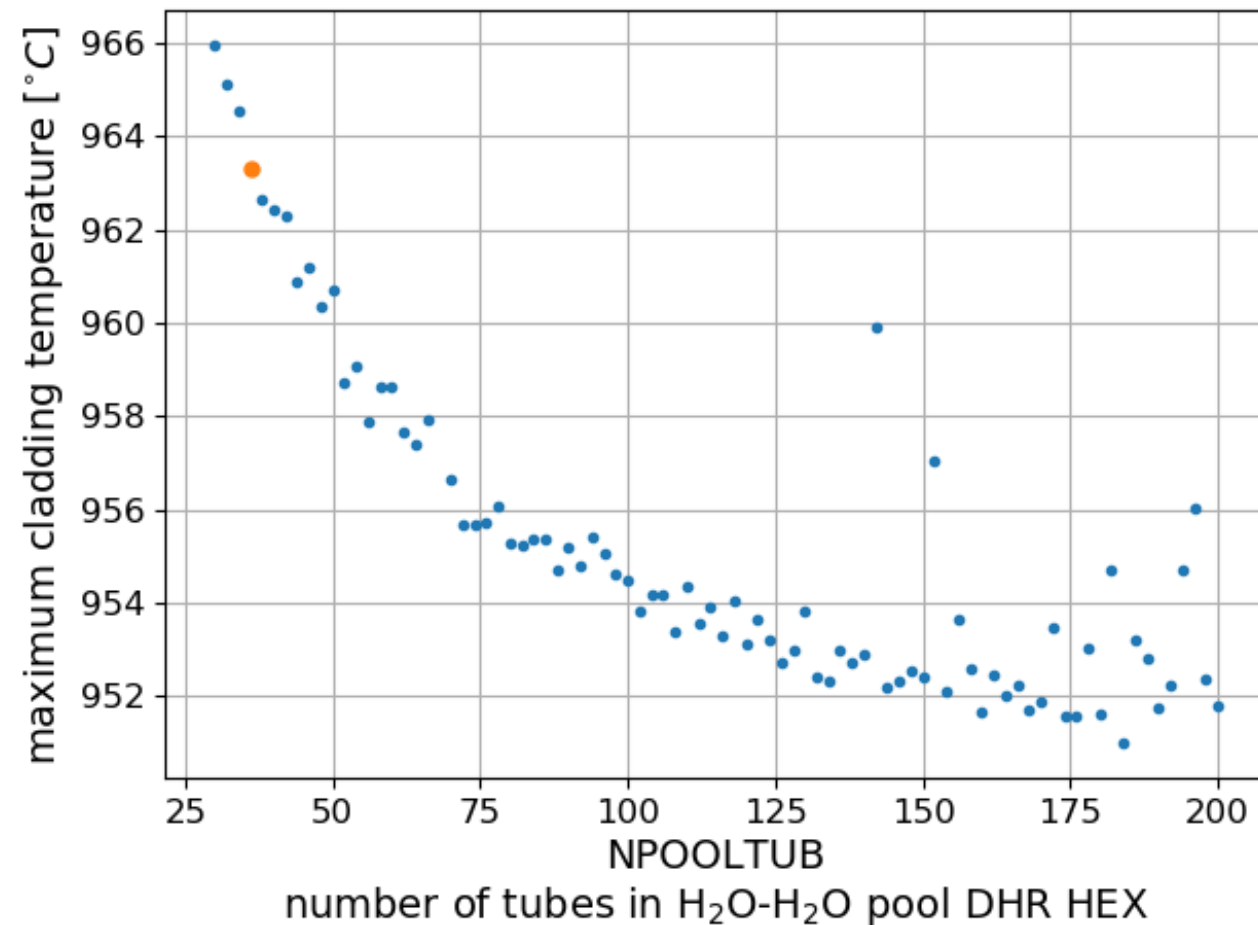


Wyniki

Wysokość stabilizatora DHR



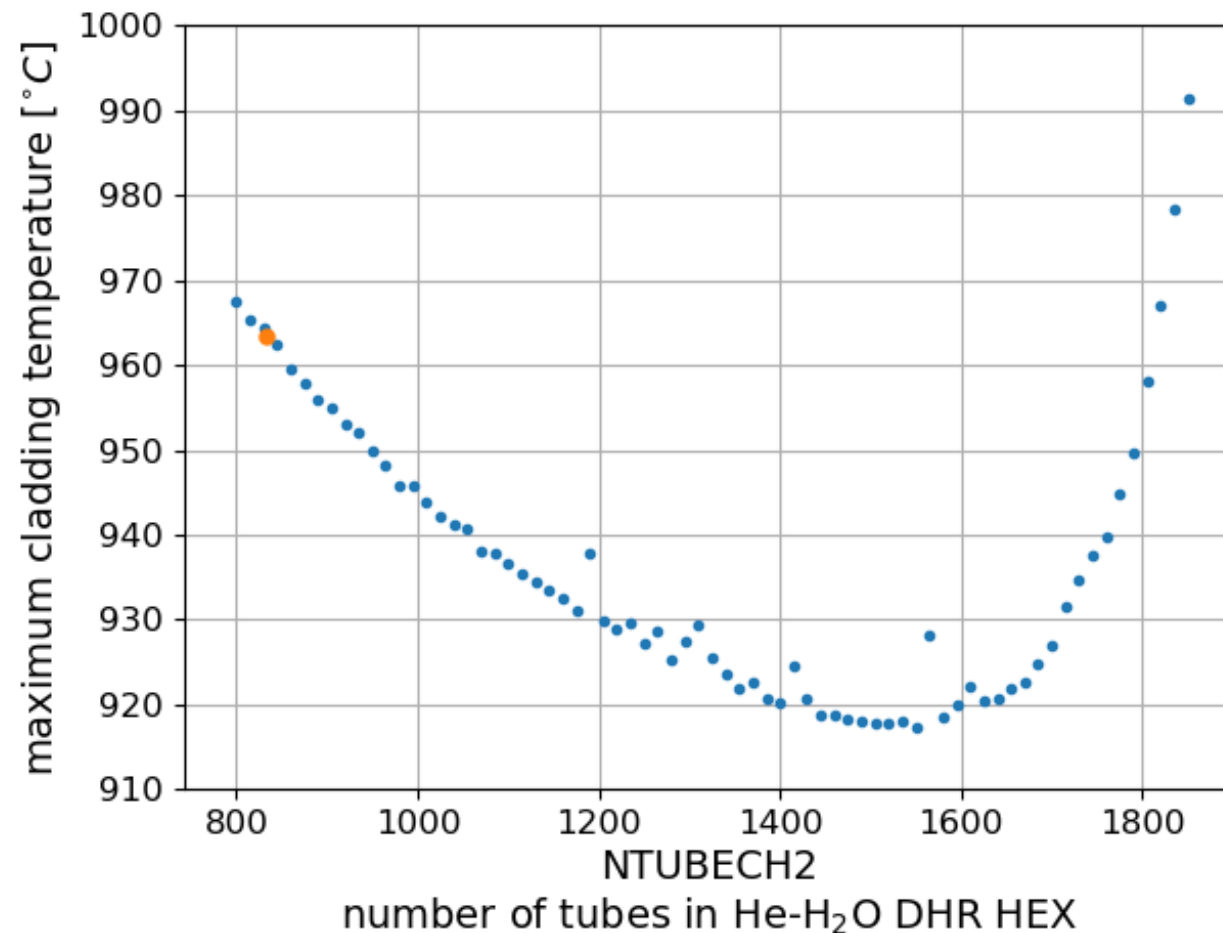
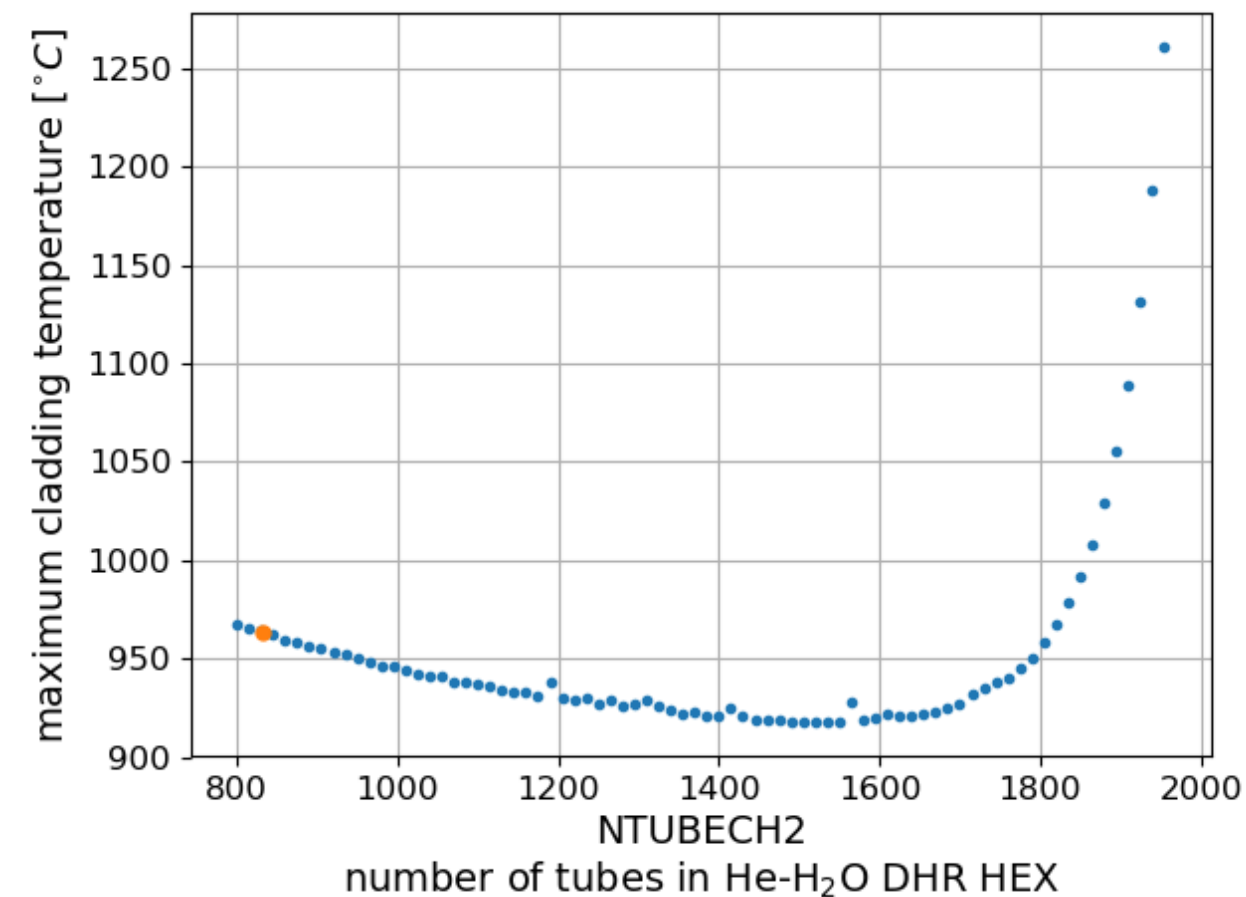
Liczba rurek w wymienniku wodno-wodnym



Liczba rurek	PCT (°C)
36 (ref)	963.2
130	953.8

Wyniki

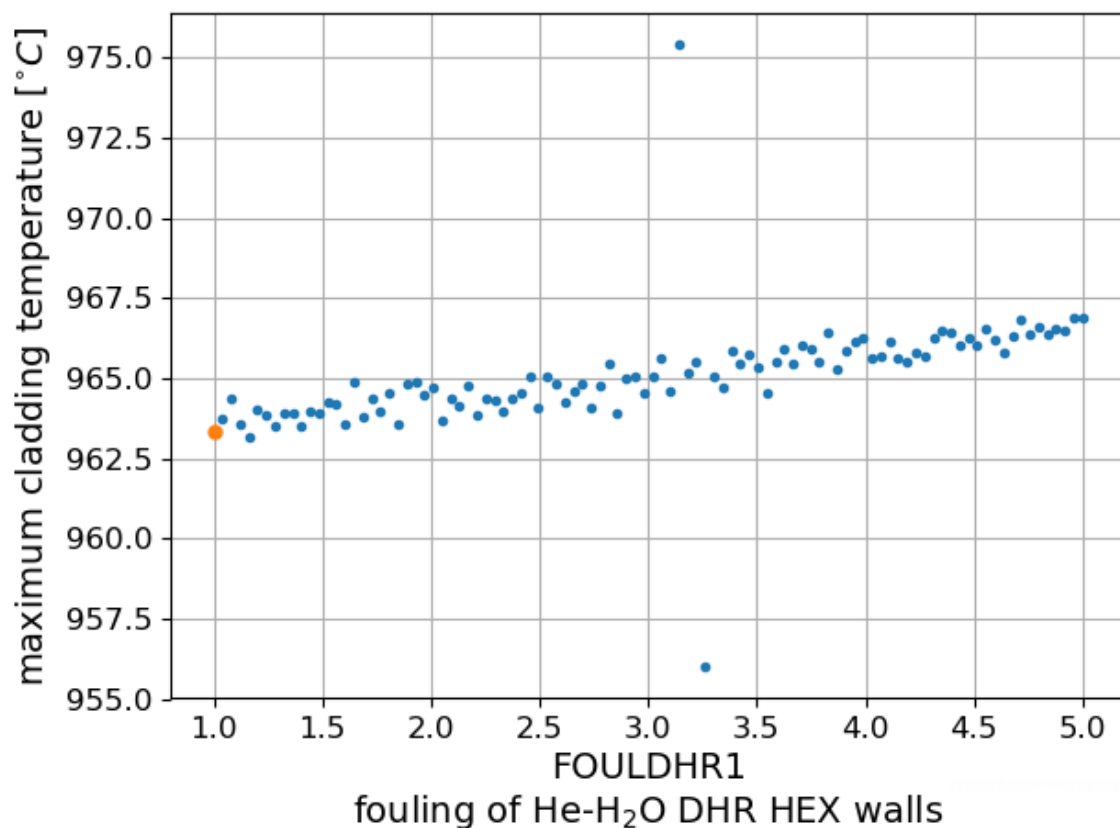
Liczba rurek w wymienniku helowo-wodnym



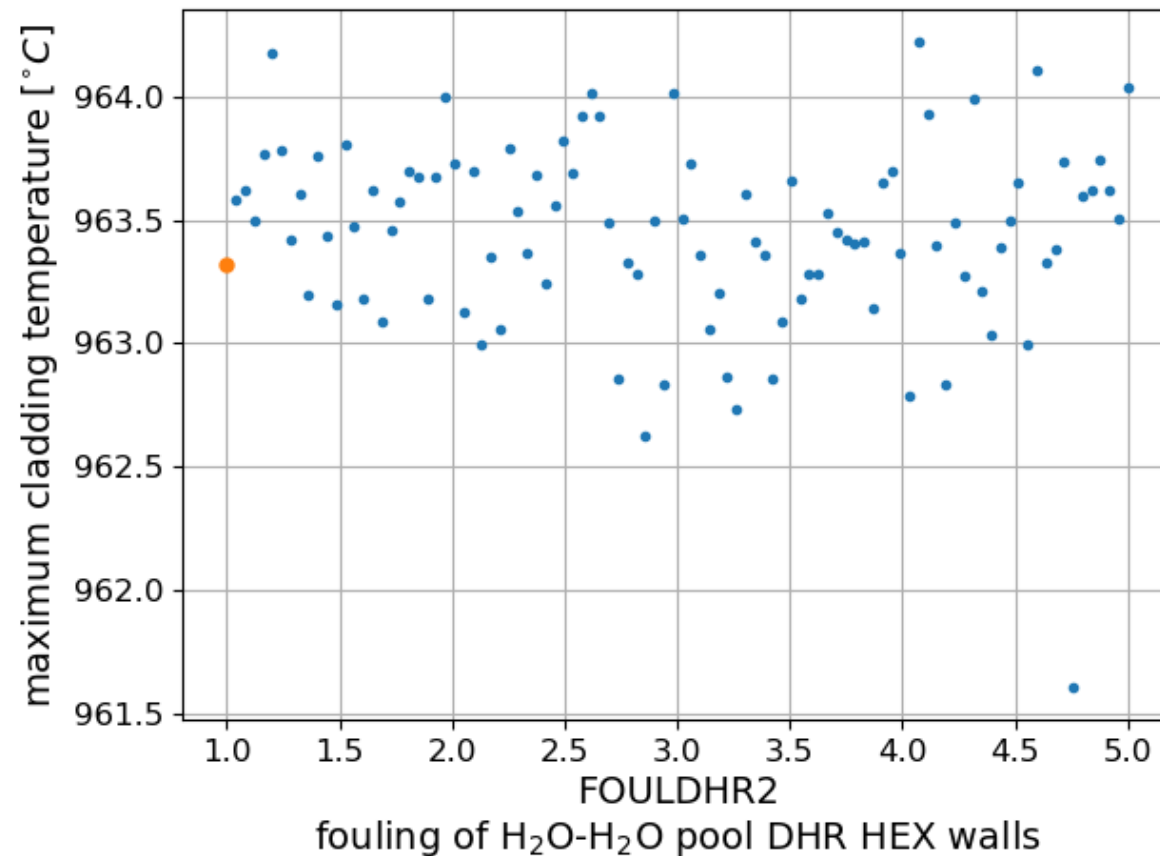
Liczba rurek	PCT (°C)
832 (ref)	963.2
1500	917.7

Wyniki

„fouling” wymiennika helowo-wodnego



„fouling” wymiennika wodno-wodnego



$$R_w = f \cdot \frac{e_w}{\lambda_w}$$

gdzie: R_w - opór cieplny ściany, f - fouling ściany,
 e_w - grubość ściany, λ_w - przewodność ściany

Podsumowanie wpływu analizy względem jednego parametru

Parametry o dużym wpływie na wynik

- Różnica wysokości między wymiennikami (HDHR2)
- Powierzchnia wymiany ciepła wymienników (NPOOLTUB i NTUBECH2)
- Średnica hydrauliczna rury

Parametru o niewielkim wpływie na wynik

- „Fouling” obu wymienników
- Wysokość stabilizatora

parametr	x_{old}	x_{new}	dT ($^{\circ}C$)	$\frac{dT}{\Delta x_w}$ ($^{\circ}C$)
NTUBECH2	832	1500	-45.6	-56.8
NPOOLTUB	36	130	-9.5	-3.6
HDHR2	27 m	40 m	-0.6	-1.3

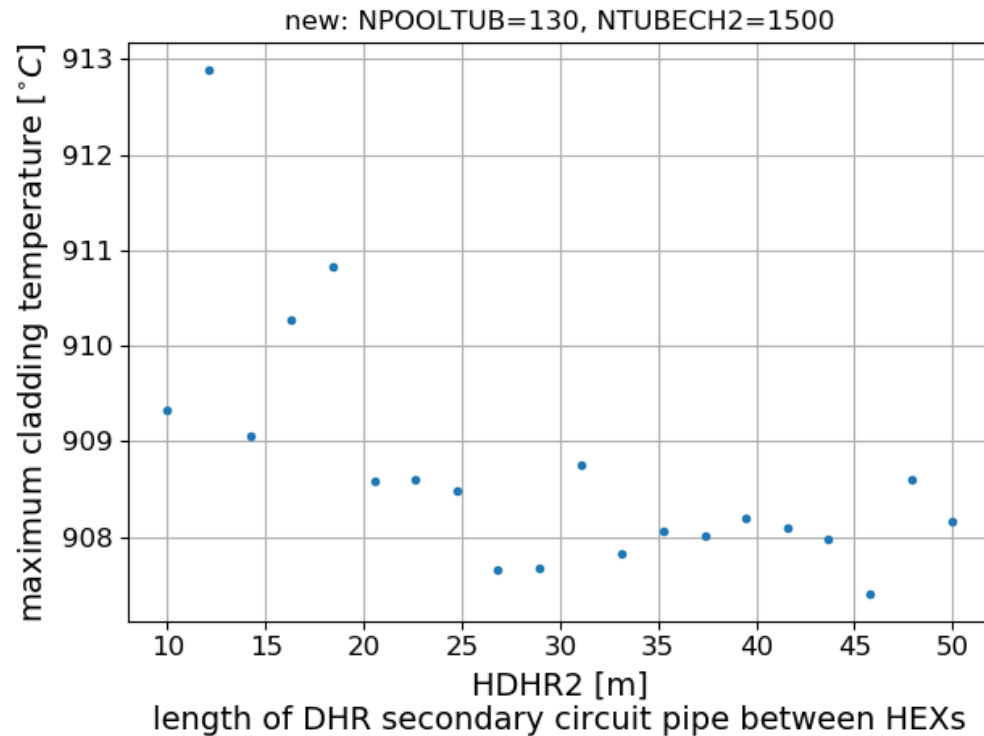
gdzie: x_{old} , x_{new} - stara i nowa wartość parametru, dT - zmiana maksymalnej temperatury koszulki paliwowej, Δx_w - względna zmiana wartości parametru, zdefiniowana jako:

$$\Delta x_w = \frac{x_{new} - x_{old}}{x_{old}}$$

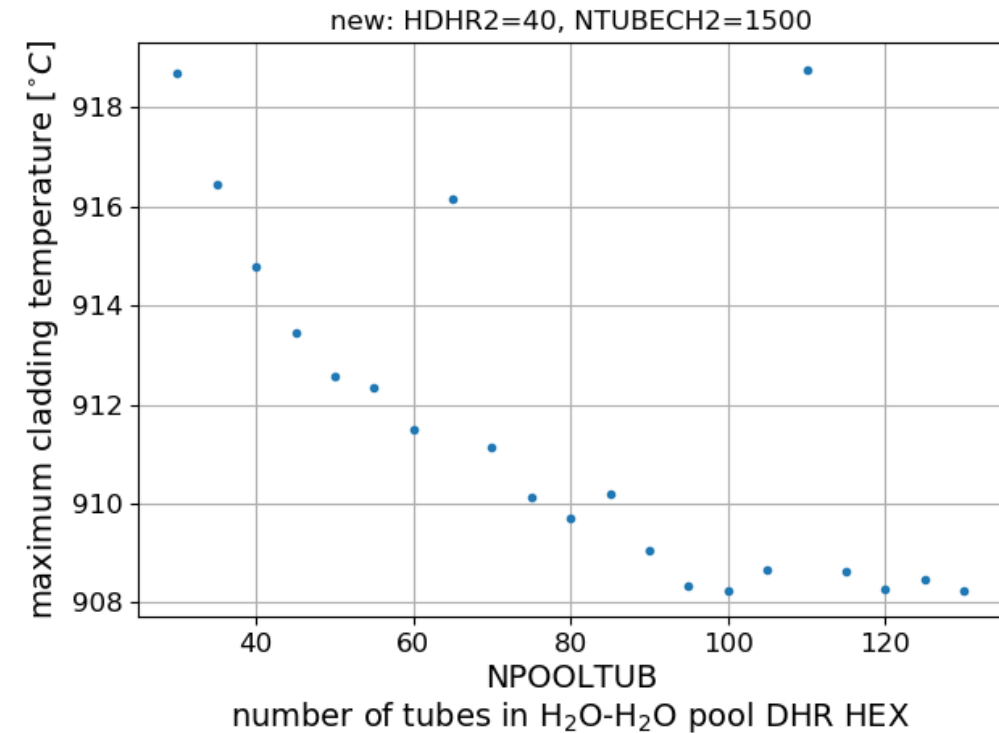
Wyniki C.D.

Optymalna ilość rurek w wymienniku helowo-wodnym

- Poprawiona ilość rurek w wymienniku wodno-wodnym
- Zmiana wysokości między wymiennikami

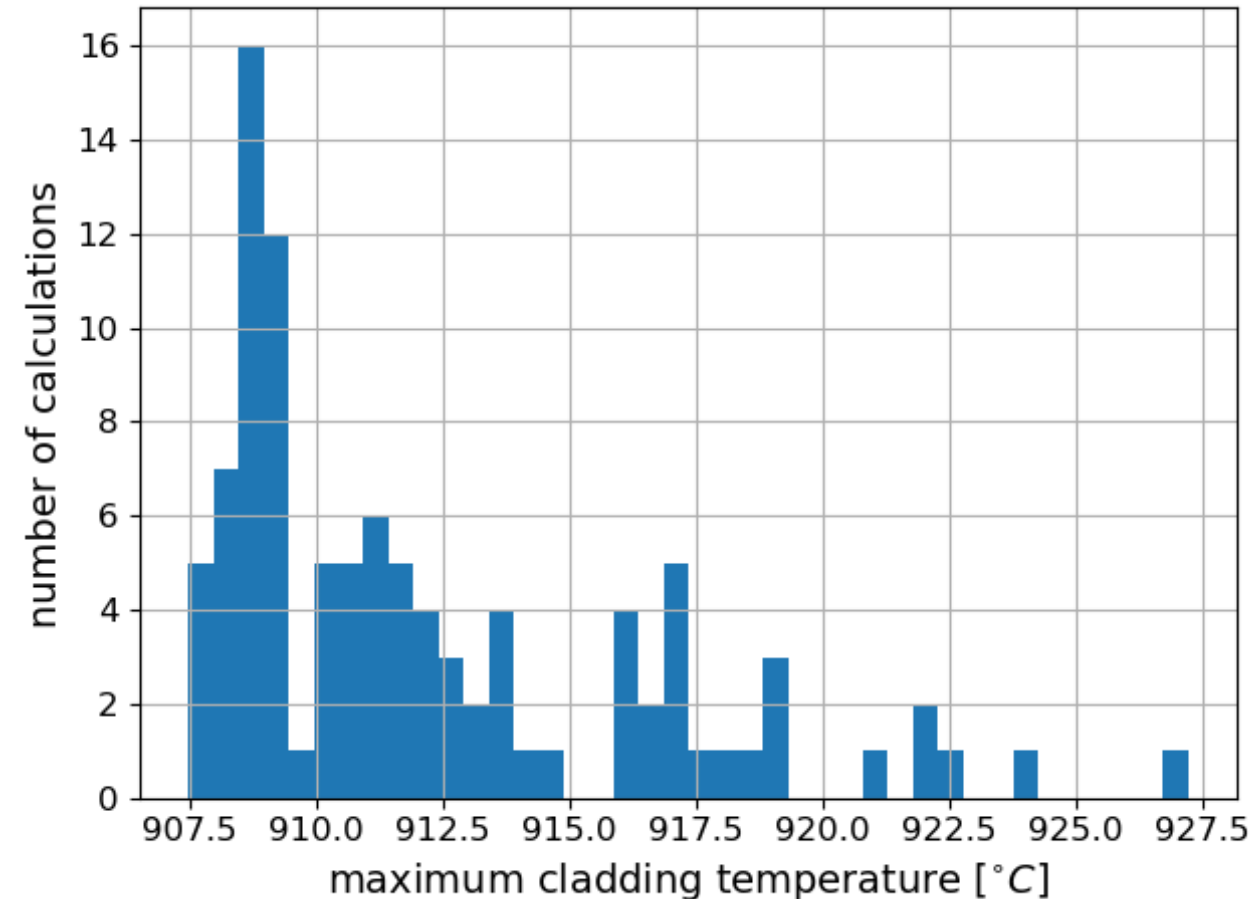
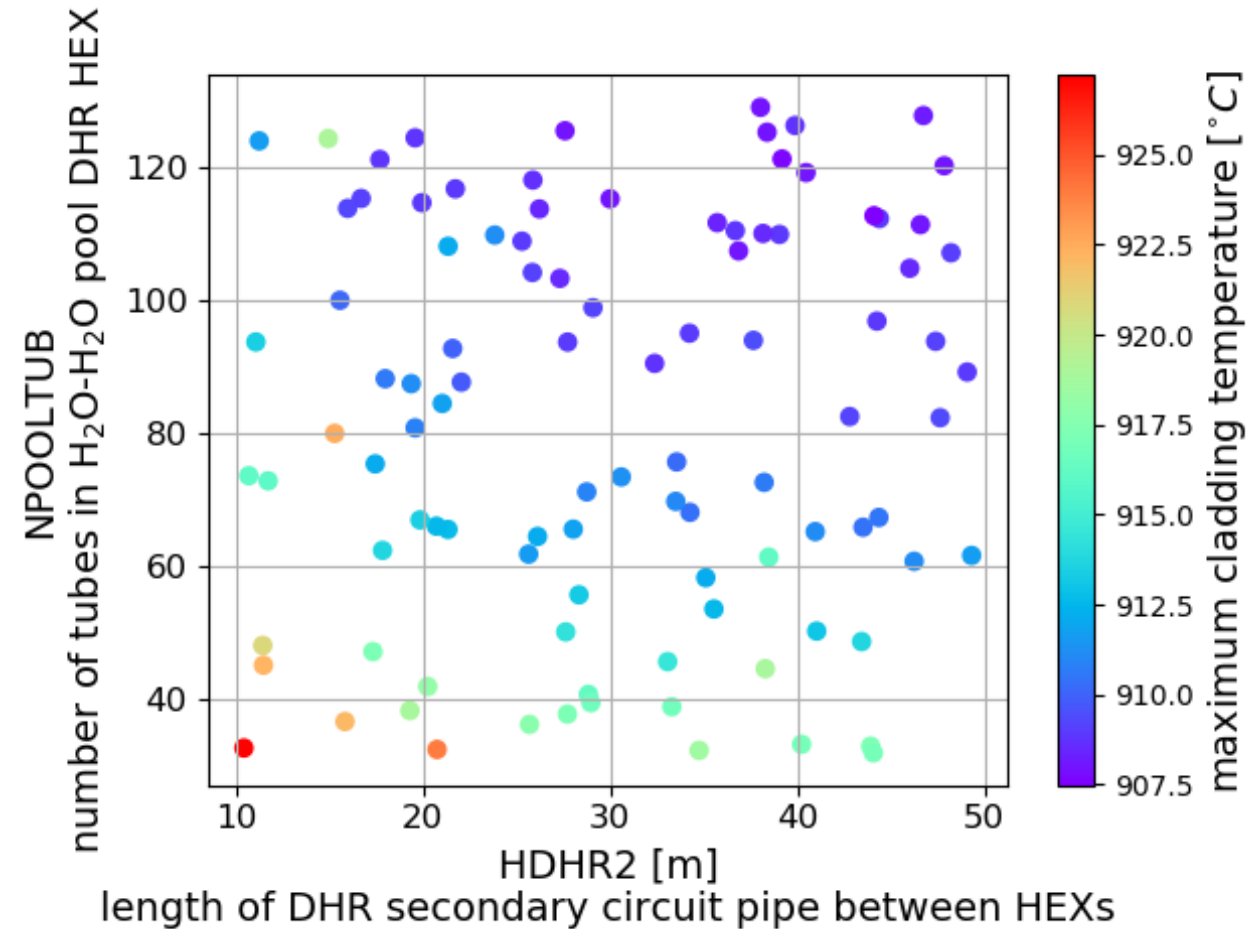


- Poprawiona wysokość między wymiennikami
- Zmiana ilości rurek w wymienniku wodno-wodnym



Wyniki C.D.

- Optymalna ilość rurek w wymienniku helowo-wodnym
- Kombinowane zmiany wysokości między wymiennikami oraz liczby rurek w wymienniku wodno-wodnym



Konkluzje

- Najmniejszą wartość PCT otrzymano dla:
 - Różnica wysokości między wymiennikami: 44.1 m
 - Liczba rurek w wymienniku wodno-wodnym: 113
 - Liczba rurek w wymienniku helowo-wodnym: 1500
- Dzięki zmianie powyższych parametrów obniżono PCT o 55.8 °C:
 - PCT ref = 963.3 °C
 - PCT opt = 907.5 °C
- Dodatkowo zidentyfikowano najistotniejsze parametry systemu DHR wpływające na PCT

Dalsza praca

- Projekt VINCO jest praktycznie zakończony
 - Kontynuacja projektu VINCO będzie dotyczyła obliczeń walidujących modele obliczeniowe kodu CATHARE na podstawie eksperymentów wykonanych na słowackiej pętli helowej.
- Analiza czułościowa
 - Rozszerzenie analizy czułościowej o parametry z publikacji konferencyjnej pt: **„UNCERTAINTY ANALYSES OF TRANSIENTS ON THE ALLEGRO REACTOR”** z konferencji BEPU
 - Adekwatna analiza dla awarii LOCA
 - Publikacja wyników.