

Streszczenie rozprawy doktorskiej

mgr inż. Pawła Dudy

Tytuł rozprawy doktorskiej:

**TERMO-HYDRAULICZNO-MECHANICZNA OPTIMALIZACJA KONSTRUKCJI
RUROCIĄGÓW DO PRZESYŁU WYBRANYCH PŁYNÓW KRIOGENICZNYCH**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski**

W pracy przedstawiono sposoby transportu czynników kriogenicznych za pomocą jedno i wielokanałowych rurociągów. Opisano przykłady zastosowania linii kriogenicznych i zaprezentowano ich budowę, przedstawiając dokładnie typowe węzły konstrukcyjne występujące w rurociągach kriogenicznych.

Dokonano wprowadzenia do drugiej zasady termodynamiki i prawa Gouya-Stodoli pod kątem wykorzystania ich do optymalizacji i oceny urządzeń cieplno-przepływowych. Na podstawie literatury zaprezentowano szereg przykładów wykorzystania metod opartych na drugiej zasadzie termodynamiki do optymalizacji procesów cieplnych, konstrukcji i oceny wielu urządzeń cieplno-przepływowych. Bazując na przedstawionych przykładach, postawiono tezę mówiącą o możliwości wykorzystania metody opartej na minimalizacji produkcji entropii do całościowej optymalizacji kriogenicznych linii kriogenicznych.

W dalszej części pracy przedstawiono źródła strat występujących podczas przepływu czynników przez rurociągi kriogeniczne oraz opisano sposoby wyznaczania strumieni entropii generowanych na wymienionych nieodwracalnościach. W sposób szczegółowy zaprezentowano wszystkie źródła entropii występujące w jednokanałowych liniach kriogenicznych. Wykorzystując metodę minimalizacji produkcji entropii dokonano optymalizacji konstrukcji rurociągu jednokanałowego. Przedstawiono metodę pozwalającą na wyznaczenie optymalnej średnicy kanału przepływowego, przy jednoczesnym uwzględnieniu nieodwracalności związanych ze spadkami ciśnienia i dopływami ciepła do przepływającego czynnika kriogenicznego. Dzięki wprowadzeniu wskaźnika entropii N_S możliwe stało się porównanie jakości systemów o różnych parametrach (inne czynniki kriogeniczne, różne strumienie masy i temperatury pracy): mówi on o tym, jak bardzo dany system odbiega od stanu optymalnego, w którym przyrosty entropii są najmniejsze z możliwych do osiągnięcia.

W kolejnej części pracy przedstawiono budowę wewnętrzną wielokanałowych rurociągów kriogenicznych. W sposób szczegółowy opisano każdy typ podpór występujących w liniach wielokanałowych, zarówno dla ekranu radiacyjnego, jak i dla rur procesowych. Opisano funkcję pełnioną przez ekrany radiacyjne w urządzeniach kriogenicznych oraz – wykorzystując metodę opartą na minimalizacji produkcji entropii – zaprezentowano przykład wyznaczenia optymalnej wartości temperatury ekranu, dla której suma przyrostów entropii na skutek dopływów ciepła do transportowanego czynnika jest najmniejsza.

W pracy przedstawiono również analizę wpływu zwiększenia ciśnienia projektowego na sprawność rurociągu wielokanałowego. Zaprezentowana analiza wykonana była przez autora na potrzeby określenia optymalnej konstrukcji dla planowanej linii kriogenicznej, zasilającej przyszły akcelerator FCC (*Future Circular Collider*). W tym celu również wykorzystano metodę opartą na drugiej zasadzie termodynamiki, co pozwoliło stwierdzić, że najlepszym rozwiązaniem – pod względem minimalizacji produkcji entropii oraz obniżenia

wskaźnika awaryjności – będzie innowacyjna konstrukcja, wykorzystująca rury procesowe wykonane z Invaru®.

W kolejnym etapie, dla zweryfikowania tezy i założeń zawartych w pracy, posłużono się wielokanałową linią kriogeniczną XATL1. Linia ta została zaprojektowana przez zespół z Politechniki Wrocławskiej przy dużym wkładzie autora pracy. Obecnie Linia XATL1 wykorzystywana jest w ośrodku naukowym DESY w Hamburgu w celu zasilania stanowisk testowych elementów lasera XFEL (*European X-ray Free Electron Laser*). Linię XATL1 w niniejszej pracy wykorzystano jako ekwiwalent stanowiska badawczego. Wykorzystanie metody opartej na drugiej zasadzie termodynamiki i prawie Gouya-Stodoli pozwoliło na dokonanie oceny odbiorczej linii. Dzięki danym pomiarowym zebranych podczas rozruchu i pracy linii XATL1 przeprowadzono ocenę zgodności parametrów pracy linii ze specyfikacją, wyznaczono i porównano stratę mocy użytecznej dla zbudowanego rurociągu i dla parametrów pracy wymaganych w specyfikacji technicznej. W dalszym etapie pracy dokonano analizy entropowej wszystkich podpór występujących w rurociągu XATL1, co pozwoliło na opracowanie wniosków, które mogą być wykorzystane jako zalecenia podczas projektowania przyszłych konstrukcji linii kriogenicznych. Dzięki przeprowadzonej analizie możliwe było zweryfikowanie konstrukcji niektórych z podpór rurociągu XATL1 oraz zaproponowanie bardziej optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych. Przeprowadzenie optymalizacji oraz oceny porównawczej jedno- i wielokanałowych kriogenicznych linii przesyłowych umożliwiło bezpośrednie potwierdzenie tezy i założeń zawartych w pracy. Dzięki wykorzystaniu modelu linii XATL1 udało się opracować wytyczne i zalecenia dotyczące projektowania kriogenicznych linii przesyłowych.

Paweł Duda