

Valentina Venturi
W9/K1

Thermodynamic and technological optimization of complex cryogenic insulation systems

Valentina Venturi
Praca doktorska

Streszczenie doktoratu

Przyszłe akceleratory, jak studiowany w CERNie Future Circular Collider (FCC), będą znacząco większe niż obecnie działający Wielki Zderzacz Hadronów (ang. Large Hadron Collider - LHC) z konsekwentnie rosnącymi potrzebami na efektywne kriogeniczne rozwiązania kriostatów. Pięć razy większa niż w LHC powierzchnia tzw. „zimnej masy”, czyni izolację kriostatów krytycznym parametrem wpływającym na koszty eksploatacji. Superizolacja (ang. Multilayer Insulation Systems - MLI), czyli system izolacji wielowarstwowej, pozostaje najczęściej wybieraną technologią w przypadku dużych akceleratorów. Jest używana w kriogenice i przestrzeni kosmicznej, gdzie jej główną funkcją jest znaczące ograniczenie wymiany ciepła przez promieniowanie w wysokiej próżni. MLI składa się z od kilku do kilkudziesięciu cienkich warstw izolującego materiału pokrytego wysoce refleksyjnym aluminium. Materiał oddzielający warstwy aluminium ma możliwie niską przewodność termiczną, ograniczającą wymianę ciepła pomiędzy warstwami. Technologia MLI stanowi dobre optimum wydajności termicznej i nakładów finansowych. Projekty kriostatów mogą zawierać różne warianty ekranów radiacyjnych o temperaturach pomiędzy temperaturą pokojową, a temperaturą zimnej masy, z optymalnie dobraną izolacją wielowarstwową. Temperatura ekranu radiacyjnego jest kluczowym parametrem determinującym moc chłodzenia w stanie ustalonym. Całkowita moc chłodzenia kriostatu jest sumą mocy koniecznej do utrzymania ekranu w ustalonej temperaturze oraz mocy koniecznej do schłodzenia zimnej masy, która z kolei zależy od skuteczności MLI na ekranie. W literaturze fachowej niewiele jest badań opisujących efektywność zastosowania MLI na ekranie o temperaturze w przedziale od 20 K do 60 K przy temperaturze zimnej masy 4.2 K. Z tego powodu w CERNie stworzony został program kwalifikacji izolacji wielowarstwowej MLI w różnych konfiguracjach, ograniczających promieniowanie ciepłe między ekranem o temperaturze 20 K – 60 K a zimną masą o temperaturze 4.2 K w próżni degradowanej od 10^{-7} mbar do 10^{-4} mbar. Badania zostały przeprowadzone w CERNie na kriostacie zapewnionym przez Politechnikę Wrocławską. Kriostat ten, uprzednio zaprojektowany dla temperatur 77 - 300 K został zmodyfikowany do pracy w temperaturze ciekłego helu. Płachty MLI przygotowano zgodnie z oryginalną metodologią dla kontrolowanej gęstości warstw. Niniejsza praca pokazuje wszystkie kroki modyfikacji stanowiska eksperymentalnego wykonane w celu przeprowadzenia pomiarów różnych konfiguracji MLI przy różnych ciśnieniach gazu rezydualnego, jak również podstawy modelu matematycznego zbudowanego do oszacowania efektywności MLI oraz optymalizacji temperatury aktywnie chłodzonego ekranu dla FCC. Wyniki kampanii pomiarowej pokazują, że skuteczność MLI nie poprawia się znacząco gdy cieplejsza ze stron ma temperaturę niższą niż 45 - 50 K Zebrane dane są używane w celu egzergetycznego oszacowania minimalnej mocy chłodzenia dla FCC w funkcji temperatury ekranu termicznego. Wynikająca z powyższego oszacowania optymalna temperatura ekranu jest równa 53 K a odpowiadająca jej moc chłodzenia wynosi 6 W/m.