

Chłodzenie ciekłym helem

Wielkiego Zderzacza Hadronów w CERN, cz. 2

LHC (Wielki Zderzacz Hadronów) jest największym akceleratorem na świecie, zarówno pod względem rozmiarów, jak i parametrów pracy na jakie został zaprojektowany. Jest on chłodzony ciekłym helem, który ma wiele zalet jako czynnik chłodniczy.

Chłodzenie LHC od 4,5K do 1,8K

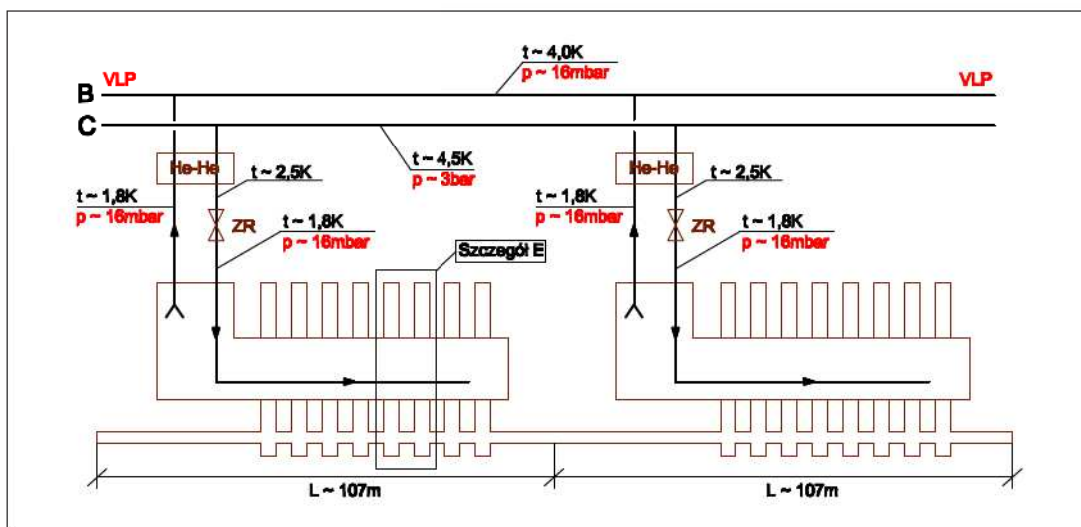
Główne magnesy LHC chłodzone są w kąpeli helowej. Ciepło generowane przez magnesy jest odbierane przez otaczający je nadciekły hel o parametrach 1,9 K oraz 1,2 bar. Ciepło pobrane przez nadciekły hel jest przekazywane do aktywnego obiegu chłodzenia w wymienniku rurowym. W wymienniku długości 107 m hel zostaje odparowany przy ciśnieniu 16 mbar, co od-

powiada temperaturze odparowania równej 1,8 K. Schemat chłodzenia przedstawiają rys. 1 i 2. Stacje testów dla magnesów LHC znajdują się na fot. 1.

Zastosowane rozwiązanie chłodzenia

1. Hel nadciekły na lewo od linii lambda (rys. 3 – punkt 1) ma ok. 1000-krotnie większą przewodność cieplną niż czysta miedź, co zapewnia szybki transport ciepła odebranego od magnesów.

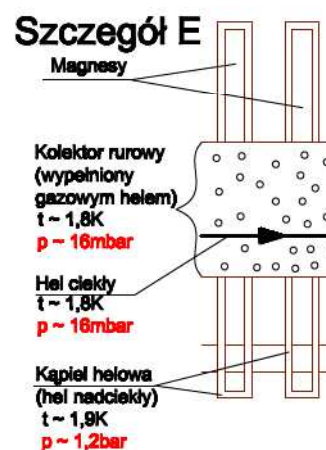
- Legenda
 S – sprężarka (śrubowy kompresor),
 S_c – sprężarki w cold compressorze o specjalnej konstrukcji i przeznaczeniu,
 T – turbina,
 W-He – wymiennik ciepła: hel – hel,
 He-He – wymiennik ciepła: hel – hel,
 ZR – zawór rozprężny,
 A – adsorber,
 HP – wysokie ciśnienie (~16 bar),
 LP – niskie ciśnienie (~1 bar – ciśnienie otoczenia),
 VLP – bardzo niskie ciśnienie (<1 bar).



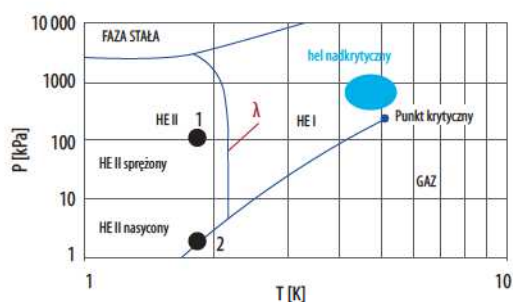
Rys. 1. Układ chłodzenia 1,9 K



Fot. 1. Hala testowania magnesów do LHC, fot. A. Frosik



Rys. 2. Szczegół systemu chłodzenia magnesów



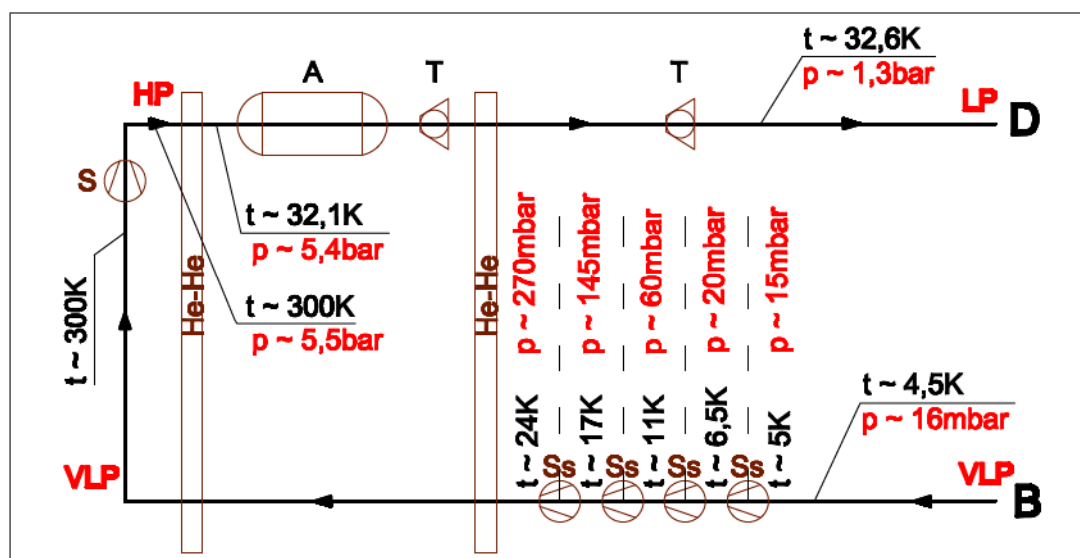
Rys. 3. Wykres fazowy helu

2. Odparowujący hel w aktywnym obiegu chłodzenia (rys. 2 – punkt 2) pozwala utrzymać sprężony

Podsumowanie

Wykorzystanie ciekłego helu daje wiele możliwości. Przede wszystkim:

1. hel jest ostatnią substancją w układzie okresowym pierwiastków przechodzącą w stan ciekły podczas obniżania temperatury, dzięki temu, mając skroplony hel uzyskuje się temperaturę płynu najniższą z możliwych,
2. nadciekły hel ma bardzo dobre właściwości przewodzenia ciepła, dzięki temu bardzo efektywnie odbiera ciepło chłodząc obiekt – magnesy,
3. chłodzenie helem nadciekłym jest wymagane w akceleratorze LHC, aby zapewnić pracę w stanie nadprzewodnictwa niobowo-tytanowych nadprzewodników prądu elektrycznego.



Rys. 4. Uproszczony schemat cold compressor

Legenda
 S – sprężarka (śrubowy kompresor),
 S₅ – sprężarki w cold compressorze o specjalnej konstrukcji i przeznaczeniu,
 T – turbina,
 W-He – wymiennik ciepła: hel – hel,
 He-He – wymiennik ciepła: hel – hel,
 ZR – zawór rozprężny,
 A – adsorber,
 HP – wysokie ciśnienie (~16 bar),
 LP – niskie ciśnienie (~1 bar – ciśnienie otoczenia),
 VLP – bardzo niskie ciśnienie (<1 bar).

nadciekły hel w stałej temperaturze na poziomie 1,9 K.

Cold compressor

W celu utrzymania ciśnienia odparowania helu w wymienniku rurowym na poziomie 16 mbar, konieczne jest zastosowanie urządzenia odbierającego hel z powrotnego kolektora B. Tym urządzeniem jest „cold compressor”, czyli rodzaj pompy helowej pracującej w przedziale temperatury 5÷25 K przy niskim ciśnieniu.

Cold compressor ma cztery sprężarki (rys. 4 pozycja S₅) o specjalnej konstrukcji pozwalające sprężyć hel do poziomu ok. 0,27 bar. Sprężenie pracy cold compressor z dodatkową sprężarką pracującą w temperaturze otoczenia, zastosowanie wymienników ciepła oraz turbin (rys. 4 pozycje S, He-He i T) pozwala na podniesienie ciśnienia helu do poziomu ~1,3 bar (linia D) i zawrótanie go do chłodzarki kriogenicznej.

Należy pamiętać, że system chłodzenia LHC musi być bezpieczny i stabilny. Ogromna rzesza inżynierów (również z Polski) dba o sprawność całego systemu, aby w przyszłości można było prowadzić dalsze badania nad materią oraz odkrywać tajemnice wszechświata. ■

Rafał Dąbrowa, Angelika Frosik

Za pomoc w przygotowaniu artykułu autorzy dziękują Krzysztofowi Brodzińskiemu z CERN

W artykule wykorzystano informacje zawarte w prezentacji K. Brodzińskiego „LHC cryogenics – design and operational principles” oraz Przewodniku po LHC (CERN) a także te znajdujące się w opracowaniach własnych powstałych na bazie materiałów zgromadzonych przez uczestników wyjazdu naukowo-dydaktycznego do CERN.