

**Tytuł:**

**Opis techniczny oraz projekt procesowy systemu dystrybucji kriogenicznej helu dla akceleratora PolFEL oraz specyfikacja istotnych warunków zamówienia na potrzeby realizacji zadania „Dostawa i instalacja kriogenicznego systemu dystrybucji helu ciekłego dla Polskiego Lasera na Swobodnych Elektronach”**

Otwock 01/07/2021

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	6
2. Cel postępowania.....	6
3. System kriogeniczny lasera PolFEL.....	7
4. System Dystrybucji Kriogenicznej (CDS) .....	11
5. Warunki pracy.....	13
5.1. Tryby pracy.....	13
5.1.1. Tryb wychładzania całego CDS.....	15
5.1.2. Tryb wychładzania pojedynczego kriomodulu .....	16
5.1.3. Tryb gotowości .....	17
5.1.4. Tryb pracy nominalnej .....	17
5.1.5. Tryb odgrzewania pojedynczego kriomodulu .....	17
5.1.6. Tryb odgrzewania całego CDS .....	18
5.2. Dopływy ciepła .....	18
5.3. Strumień masy helu.....	19
6. Linia transferowa.....	20
6.1. Widok ogólny.....	20
6.2. Budowa .....	20
6.3. Instrumentacja.....	23
6.3.1. Informacje ogólne.....	23
6.3.2. Ciepłe zawory regulacyjne.....	24
6.3.3. Zawory ręczne .....	25
6.3.4. Zawory bezpieczeństwa.....	25
6.3.5. Płytki bezpieczeństwa .....	26
6.3.6. Kłapy bezpieczeństwa.....	27
6.3.7. Przetworniki ciśnienia .....	27
6.3.8. Wskaźniki ciśnienia.....	28
6.3.9. Pomiar temperatury .....	28
6.4. Wydajność hydrauliczna linii procesowych.....	29
6.5. IC1 Interkonekcja pomiędzy chłodziarką helu a linią transferową .....	30
7. Moduły zaworowe .....	31
7.1. Informacje ogólne .....	31
7.2. Moduł zaworowy kriomodulu działa .....	34
7.3. Moduły zaworowe 1-5 oraz moduł zaworowy kriomodulu testowego.....	36
7.4. Instrumentacja.....	38
7.4.1. Informacje ogólne.....	38
7.4.2. Kriogeniczne zawory regulacyjne .....	39
7.4.3. Ciepłe zawory regulacyjne.....	40
7.4.4. Zawory ręczne .....	40
7.4.5. Zawory bezpieczeństwa.....	41
7.4.6. Płytki bezpieczeństwa .....	42
7.4.7. Przetworniki ciśnienia .....	42
7.4.8. Wskaźniki ciśnienia.....	43
7.4.9. Pomiar temperatury .....	43
7.4.10. Pomiar przepływu.....	44
7.4.11. Zawory zwrotne .....	45
7.5. Elementy przyłączeniowe modułów zaworowych.....	45
7.5.1. Kłapy bezpieczeństwa.....	46
7.5.2. Porty pompowania próżni .....	47
7.6. Interkonekcje.....	47
7.6.1. Informacje ogólne.....	47
7.6.2. IC2 Interkonekcja pomiędzy kriomodulem działa a modulem zaworowym .....	47
7.6.3. IC3 Interkonekcja pomiędzy modułami zaworowymi a kriomodulami.....	48
8. Moduł zawracający .....	50
8.1. Informacje ogólne .....	50
8.2. Instrumentacja.....	53

8.2.1.	Informacje ogólne.....	53
8.2.2.	Kriogeniczne zawory regulacyjne .....	53
8.2.3.	Ciepłe zawory regulacyjne.....	54
8.2.4.	Zawory ręczne .....	55
8.2.5.	Zawory bezpieczeństwa.....	56
8.2.6.	Płytki bezpieczeństwa .....	56
8.2.7.	Przetworniki ciśnienia .....	56
8.2.8.	Wskaźniki ciśnienia.....	57
8.2.9.	Pomiar temperatury .....	57
8.2.10.	Zawory zwrotne .....	58
8.2.11.	Czujniki poziomu helu .....	59
8.2.12.	Grzałki.....	59
9.	Linie pomocnicze .....	59
9.1.	Informacje ogólne .....	59
9.2.	Instrumentacja.....	61
9.2.1.	Informacje ogólne.....	61
9.2.2.	Zawory ręczne .....	61
9.2.3.	Zawory bezpieczeństwa.....	62
9.2.4.	Przetworniki ciśnienia .....	63
9.2.5.	Wskaźniki ciśnienia.....	63
9.2.6.	Pomiar temperatury .....	63
10.	Ograniczenia przestrzenne dla konstrukcji CDS .....	64
11.	Instrumentacja .....	67
11.1.	Informacje ogólne .....	67
11.2.	Zawory.....	67
11.2.1.	Kriogeniczne zawory regulacyjne .....	67
11.2.2.	Ciepłe zawory regulacyjne.....	69
11.2.3.	Zawory ręczne .....	69
11.2.4.	Zawory bezpieczeństwa i płytki bezpieczeństwa .....	70
11.2.5.	Zawory zwrotne .....	70
11.3.	Pomiar ciśnienia .....	71
11.3.1.	Przetworniki ciśnienia .....	71
11.3.2.	Wskaźniki ciśnienia.....	71
11.4.	Pomiar temperatury.....	72
11.5.	Pomiar przepływu .....	73
11.6.	Czujniki poziomu.....	73
11.7.	Grzałki .....	73
12.	System sterowania i kontroli.....	74
13.	Wymagania techniczne .....	77
13.1.	Informacje ogólne .....	77
13.2.	Wybór materiałów .....	77
13.3.	Rury procesowe .....	77
13.4.	Ekran termiczny .....	78
13.5.	Płaszcz próżniowy .....	78
13.6.	Podpory i mocowania.....	79
13.6.1.	Podpory wewnętrzne .....	79
13.6.1.1.	Podpory stałe .....	79
13.6.1.2.	Podpory przesuwne .....	79
13.6.2.	Podpory zewnętrzne .....	80
13.6.2.1.	Podpory na moście .....	80
13.6.2.2.	Podpory w budynku lasera .....	80
13.6.2.3.	Podpory w budynku chłodziarki helu .....	83
13.7.	Pozycjonowanie .....	83
13.8.	Kompensacja skurczu termicznego .....	86
13.8.1.	Informacje ogólne.....	86
13.8.2.	Kompensatory .....	86
13.8.3.	Węże metalowe .....	86

14. Specyfikacja wykonania .....	87
14.1. Właściwości mechaniczne .....	87
14.2. Odporność radiacyjna .....	87
14.3. Poziom szczelności helowej .....	88
14.4. Szczelność zaworów .....	88
14.5. Wymagania hydrauliczne .....	88
15. Wymagania technologiczne .....	88
15.1. Spawanie .....	88
15.2. Lutowanie .....	90
15.3. Czyszczenie i przygotowanie powierzchni .....	90
16. Testy .....	91
16.1. Informacje ogólne .....	91
16.2. Testy u Wykonawcy .....	92
16.2.1. Informacje ogólne .....	92
16.2.2. Testy pojedynczego komponentu .....	92
16.2.2.1. Testy i badania spoin .....	92
16.2.2.2. Testy szczelności pojedynczych spoin .....	93
16.2.2.3. Test ciśnieniowy w tymczasowym zbiorniku próżniowym .....	93
16.2.2.4. Test szczelności całego komponentu .....	93
16.2.2.5. Szokowanie .....	93
16.2.2.6. Test szczelności w stanie zimnym .....	94
16.2.2.7. Odgrzewanie i test szczelności w stanie ciepłym .....	94
16.2.3. Test zespołów komponentów .....	94
16.2.3.1. Informacje ogólne .....	94
16.2.3.2. Testy i badania spoin .....	94
16.2.3.3. Test szczelności rur procesowych .....	94
16.2.3.4. Testy ciśnieniowe .....	94
16.2.3.5. Kontrola wizualna MLI .....	95
16.2.3.6. Testy szczelności płaszcz próżniowego .....	95
16.2.3.7. Testy szczelności zaworów .....	95
16.2.3.8. Testy funkcjonalne zaworów .....	96
16.2.3.9. Testy czujników temperatury .....	96
16.2.4. Testy funkcjonalne wyprodukowanych urządzeń .....	96
16.2.4.1. Informacje ogólne .....	96
16.2.4.2. Test szczelności płaszcz próżniowego .....	96
16.2.4.3. Test ciśnieniowy rur procesowych .....	96
16.2.4.4. Test szczelności rur procesowych .....	97
16.2.4.5. Schładzanie rur procesowych .....	97
16.2.4.6. Test szczelności rur procesowych w stanie zimnym .....	97
16.2.4.7. Odgrzewanie rur procesowych .....	97
16.2.4.8. Test szczelności rur procesowych w stanie ciepłym .....	97
16.2.4.9. Test szczelności zaworów .....	97
16.2.4.10. Testy funkcjonalne zaworów .....	98
16.2.4.11. Testy przetworników ciśnienia .....	98
16.2.4.12. Testy czujników temperatury .....	98
16.2.4.13. Testy grzałek .....	98
16.2.4.14. Testy wskaźników poziomu helu .....	99
16.2.4.15. Weryfikacja wymiarów .....	99
16.3. Testy w siedzibie Zamawiającego .....	99
16.3.1. Kontrola elementów dostarczonych do na miejsce instalacji .....	99
16.3.2. Kontrola położenia elementów .....	99
16.3.3. Testy i kontrola spoin .....	100
16.3.4. Test szczelności rur procesowych .....	100
16.3.5. Testy ciśnieniowe .....	100
16.3.6. Kontrola wizualna MLI .....	100
16.3.7. Test szczelności płaszcz próżniowego .....	100
16.3.8. Testy szczelności rur procesowych po zamknięciu płaszcz próżniowego .....	100

16.3.9. Testy szczelności nieizolowanych rurociągów .....	101
16.3.10. Testy ciśnieniowe nieizolowanych rurociągów .....	101
16.4. Testy odbiorowe .....	101
16.4.1. Informacje ogólne.....	101
16.4.2. Wstępne testy odbiorowe .....	101
16.4.2.1. Testy funkcjonalne .....	102
16.4.2.2. Pomiar parametrów termodynamicznych i hydraulicznych.....	102
16.4.3. Końcowe testy odbiorowe .....	102
17. Dostawa.....	102
18. Zakres dostawy .....	103
18.1. W zakresie zadania 1.....	103
18.1.1. Komponenty.....	103
18.1.2. Zakres prac .....	104
18.1.3. Dokumentacja.....	104
18.1.4. Części zapasowe .....	105
18.2. W zakresie zadania 2.....	105
18.2.1. Komponenty.....	105
18.2.2. Zakres prac .....	106
18.2.3. Dokumentacja.....	107
18.2.4. Części zapasowe .....	108
19. Prace instalacyjne w docelowej lokalizacji .....	108
20. Estakada na potrzeby rurociągów – dotyczy zakresu Zadania 1.....	109
21. Realizacja umowy .....	111
21.1. Informacje ogólne .....	111
21.2. Faza 1: Projekt koncepcyjny .....	111
21.3. Faza 2: Projekt techniczny .....	111
21.4. Faza 3: Projekt wykonawczy .....	111
21.5. Faza 4: Produkcja.....	112
21.6. Faza 5: Dostawa.....	113
21.7. Faza 6: Instalacja .....	113
21.8. Faza 7: Uruchomienie i odbiór.....	113
22. Kamienie milowe .....	114
23. Gwarancja .....	116
24. Zarządzanie projektem.....	116
24.1. Informacje ogólne .....	116
24.2. Kontrola projektu.....	117
24.2.1. Organizacja projektu.....	117
24.2.2. Plan projektu.....	117
24.2.3. Kontrola postępów .....	117
24.2.4. Spotkania na potrzeby realizacji projektu .....	118
25. Zarządzanie jakością.....	118
25.1. Informacje ogólne .....	118
25.2. Wprowadzanie zmian i modyfikacji.....	119
25.3. Odstępstwa.....	119
Lista załączników.....	119

## 1. WSTĘP

Niniejszy dokument powstał na potrzeby projektu „PolFEL – polski laser na swobodnych elektronach”. Opisuje on System Dystrybucji Kriogenicznej (CDS) służący dostarczaniu helu do kriostatowania kriomodulów przyspieszających akceleratora liniowego PolFEL. Dokument składa się ze szczegółowego opisu technicznego oraz projektu procesowego pozwalającego na stworzenie projektu technicznego oraz na budowę i montaż systemu dystrybucji kriogenicznej helu dla akceleratora PolFEL. Zadania te zostaną powierzone wyłonionemu w toku postępowania na udzielenie zamówienia publicznego Wykonawcy. Projekt zawiera szczegółowy opis elementów składowych systemu dystrybucji kriogenicznej wraz z wymaganiami dotyczącymi parametrów geometrycznych i gabarytowych poszczególnych jego części oraz pełny schemat P&ID. W opisie określono umiejscowienie podzespołów systemu względem infrastruktury budowlanej oraz przybliżono sposób łączenia poszczególnych modułów. Ponadto, projekt procesowy zawiera obszerny opis wszystkich funkcji systemu wraz z poszczególnymi trybami pracy oraz koniecznymi do uzyskania wydajnościami chłodniczymi. W opisie przedstawiono sposoby oczyszczania, wychładzania i ogrzewania całej instalacji, oraz poszczególnych jej części. Zdefiniowano szczegółowy zakres parametrów pracy dla zaworów regulacyjnych, bezpieczeństwa, zwrotnych i upustowych. Wyznaczono również zakresy pracy oraz umiejscowienie instrumentacji pomiarowej.

W dokumencie zdefiniowano również podział projektu technicznego i wykonawczego na etapy. Przedstawiono zakres każdego z etapów oraz opisano wymagania związane z realizacją tej inwestycji. Przedstawiono i opisano zakres testów wymaganych zarówno podczas budowy poszczególnych elementów systemu u producenta jak i podczas montażu w siedzibie Zamawiającego. Sprecyzowano zakres i sposób dostawy wszystkich elementów systemu.

## 2. CEL POSTĘPOWANIA

Celem niniejszego postępowania jest wyłonienie podmiotu (zwanego w dalszej części dokumentu Wykonawcą) który zrealizuje produkcję, dostawę, montaż i uruchomienie kompletnego Systemu Dystrybucji Kriogenicznej (składającego się z modułów zaworowych, linii transferowej, modułu zawracającego i linii pomocniczych). System ten w założeniach ma stanowić część infrastruktury badawczej PolFEL i będzie zdolny zaspokoić potrzeby kriogeniczne akceleratora PolFEL i stanowiska testowego kriomodulów, będąc zarazem otwartym na dalszą rozbudowę całego urządzenia w przyszłości.

Szczegółowy zakres dostawy opisano w rozdziale 18, przy czym zakres ten obejmuje dwa niezależne zadania, mające wspólnego Wykonawcę lecz rozliczane oddzielnie i finansowane z dwóch różnych źródeł:

- Zadanie 1: dostawa wszystkich komponentów niezbędnych do zbudowania systemu CDS dla akceleratora PolFEL określonego w rozdziale 1 powyżej, w szczególności dostawa modułu zaworowego kriomodułu źródła elektronów, modułów zaworowych kriomodulów przyspieszających 1-4, modułu zawracającego, linii transferowej i linii pomocniczych wraz z ich instalacją, uruchomieniem i wykonaniem testów całego systemu CDS. Zadanie to finansowane będzie w ramach Działania 4.2 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, wykorzystując współfinansowanie z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego na podstawie Umowy dofinansowania POIR.04.02.00-00-B002/18-00.
- Zadanie 2: poszerzenie funkcjonalności systemu CDS realizowanego w ramach Zadania 1 poprzez dostawę w szczególności modułu zaworowego (zwanego modułem zaworowym 5) umożliwiającego w przyszłości zainstalowanie we wskazanym miejscu linii akceleratora PolFEL kriomodułu przyspieszającego nr 5 wraz z odcinkiem linii transferowej łączącej moduł zaworowy 4 z modułem zaworowym 5 oraz towarzyszącymi im elementami linii pomocniczych, a także dostawę odcinka linii transferowej łączącej stanowisko testowe z dodatkowym modułem zaworowym stanowiska testowego, stanowiącym wkład partnera przemysłowego projektu PolFEL i udostępnionym przez Zamawiającego na potrzeby realizacji Zadania 2; przedmiotem

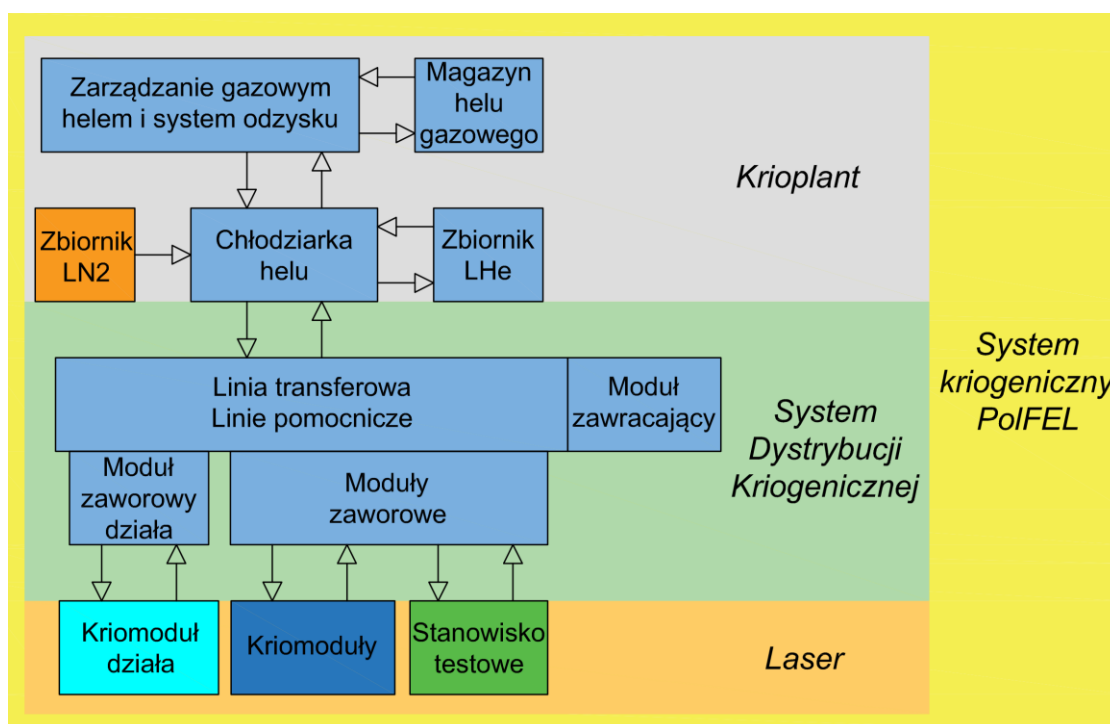
Zadania 2 jest również instalacja, uruchomienie wszystkich wskazanych powyżej komponentów oraz ich włączenie w system CDS realizowany w Zadaniu 1 tak, by tworzyły one funkcjonalną całość. Zadanie to finansowane będzie w ramach Osi Priorytetowej I Działania 1.1 Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020, wykorzystując współfinansowanie z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego na podstawie Umowy dofinansowania RPMA.01.01.00-14-e217/20-00

Szczegółowy opis Systemu Dystrybucji Kriogenicznej przedstawiono poniżej. Podział Zadań przedstawiono schematycznie na rys. 3.2. Należy podkreślić, że niezależnie od Zadania, wszystkie komponenty muszą spełniać kryteria techniczne zawarte w niniejszym dokumencie. Identyczne wymagania techniczne spełniać będzie moduł zaworowy stanowiący wkład własny partnera przemysłowego.

### 3. SYSTEM KRIOGENICZNY LASERA POLFEL

System kriogeniczny PolFEL zostanie wypełniony helem schłodzonym w krioplancie do temperatury około 5 K. Hel wysłany zostanie w stanie nadkrytycznym do modułów zaworowych, następnie przekształcony do stanu nadciekłego, odparowany w kriomodulach i zawrócony do krioplantu. Na system kriogeniczny PolFEL składają się trzy główne elementy (rys. 3.1):

- krioplant, który dostarcza moc chłodniczą o wymaganym przepływie masowym helu nadkrytycznego i zimnego helu gazowego do modułów zaworowych,
- System Dystrybucji Kriogenicznej (CDS), który dostarcza hel w stanie nadkrytycznym i zimnym gazowym od krioplantu do kriomodułów i transportuje przetworzony hel z powrotem z kriomodułów do krioplantu,
- elementy lasera obejmujące kriomoduł działa – iniektor nadprzewodzący o częstotliwości radiowej (SRF), kriomoduły 1-4 oraz stanowisko testowe z kriomodulem testowym (z możliwością jego przeniesienia do linii akceleratora jako kriomoduł 5).



Rysunek. 3.1. Diagram system kriogenicznego PolFEL

System kriogeniczny PolFEL dostarcza hel na trzech poziomach temperatur:

- 40 K – 80 K na potrzeby ekranów termicznych kriomodulów oraz Systemu Dystrybucji Kriogenicznej
- 5 K na potrzeby kriostatowania sprzęgaczy mocy kriomodulów przyspieszających i kriomodulu działa
- 2 K na potrzeby kriostatowania wnęk rezonansowych kriomodulów

Kriomoduły PolFEL są niezależnymi jednostkami kriogenicznymi i będą chłodzone równolegle za pomocą Systemu Dystrybucji Kriogenicznej, będąc zasilane z dedykowanych modułów zaworowych.

Krioplant dostarczać będzie hel w dwóch stanach termodynamicznych: w stanie nadkrytycznym (5 K, 4 bara) oraz w zimnym stanie gazowym (40 K, 13 bara). Gazowy hel będzie używany do chłodzenia ekranów termicznych kriomodulów oraz samego systemu dystrybucji. Nadciekły hel o temperaturze 2 K, wymagany do kriostatowania wnęk SRF, będzie generowany wewnątrz modułów zaworowych dedykowanych dla każdego kriomodulu. Chłodzenie kriomodulów będzie się odbywać w następujący sposób: hel w stanie nadkrytycznym będzie przepływać wewnątrz linii transferowej do modułów zaworowych zlokalizowanych obok kriomodulów. Wewnątrz modułów zaworowych nastąpi odgałęzienie strumienia helu z głównej linii transferowej. Hel w stanie nadkrytycznym będzie w pierwszej kolejności dostarczany do kriomodulów w celu termalizacji sprzęgaczy mocy w temperaturze 5 K. Po termalizacji, hel w stanie nadkrytycznym będzie płynął z powrotem do modułów zaworowych, gdzie zostanie wstępnie schłodzony w wymienniku ciepła do temperatury 2.2 K, a następnie zdławiony w zaworze JT do postaci nadciekłej, potrzebnej do kriostatowania wnęk SRF. Uzyskany w ten sposób nadciekły hel będzie płynął do kriomodulów, gdzie odparuje odbierając ciepło generowane w kriomodulach. Po odparowaniu, pary helu pod ciśnieniem 30 mbara i temperaturze 2 K przepłyną z powrotem do modułów zaworowych, następnie przez niskociśnieniową część wymiennika ciepła, by następnie poprzez linię transferową trafić do krioplantu. Pary helu powrócą do krioplantu pod ciśnieniem ok. 27 mbara i przy temperaturze około 4 K. Następnie pary helu będą sprężane do ciśnienia ok. 300 mbara za pomocą zimnych kompresorów umieszczonych w coldboxie chłodziarki helu. Takie rozwiązanie pozwoli na odzyskanie mocy chłodniczej zimnych par helu przed ich sprężeniem do ciśnienia atmosferycznego w zestawie ciepłych pomp próżniowych.

Krioplant dostarczy hel w stanie nadkrytycznym do 4 kriomodulów nadprzewodzących (docelowo 6 kriomodulów po drugiej, przyszłej fazie budowy PolFELa) wyposażonych we wnęki RF. Dodatkowo, hel w stanie nadkrytycznym zostanie dostarczony do stanowiska testowego, umożliwiającego testowanie pojedynczego kriomodulu, niezależnego od akceleratora liniowego. Po zakończeniu programu testów, kriomodul testowy będzie mógł zostać przeniesiony do linii akceleratora, jako jego tymczasowy kriomodul 5. System Dystrybucji Kriogenicznej w ramach realizacji Zadania 2 zostanie dostosowany do dostarczania helu zarówno do stanowiska testowego, jak i do kriomodulu 5. Hel będzie dostarczany do modułów zaworowych, a później do kriomodulów przez wielokanałową kriogeniczną linię transferową. System Dystrybucji Kriogenicznej będzie obejmował również ciepłe linie pomocnicze. Linie pomocnicze będą pełniły 4 funkcje: usuwanie gazów z CDS, dostarczanie helu do przemywania instalacji, usuwanie helu z instalacji po zdarzeniu upustowym (otwarcie zaworów bezpieczeństwa), zapewnienie atmosfery helowej dla zaworów z osłoną helową.

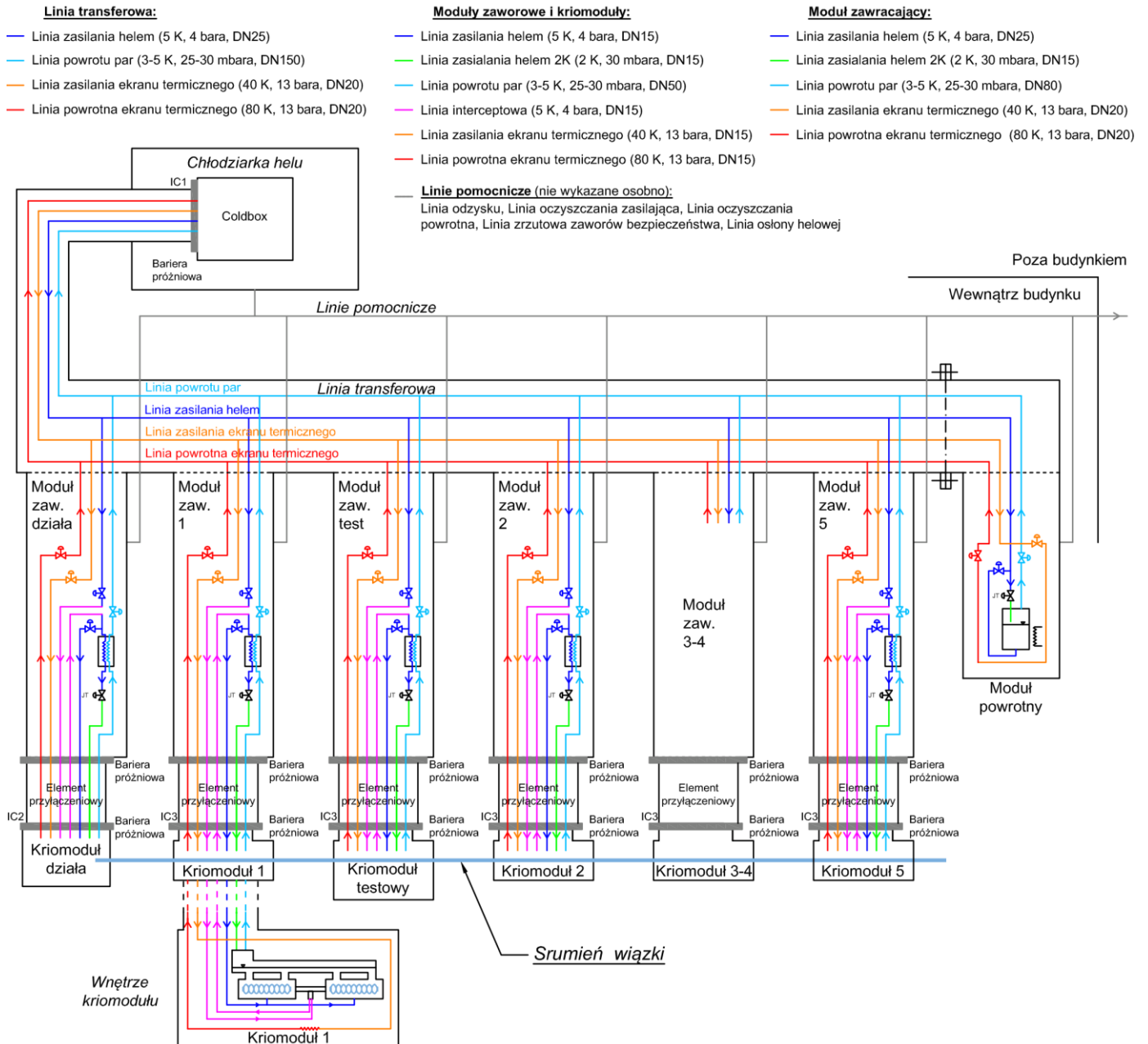
System kriogeniczny PolFEL wykorzystywać będzie następujące typy kriomodulów:

- kriomodul działa – 1 szt.,
- kriomodul przyspieszający – 4 szt. (6 szt. po ewentualnej, późniejszej rozbudowie linaka nazwanej fazą 2),
- kriomodul testowy – 1 szt. na stanowisku testowym lub jako kriomodul przyspieszający 5.

Linia transferowa oraz moduły zaworowe dostarczające hel do dodatkowego kriomodulu, o które linak ewentualnie zostanie uzupełniony w fazie 2, nie są przedmiotem zamówienia opisywanego w niniejszym dokumencie. Nie mniej jednak, linia transferowa oraz linie pomocnicze powinny być zaprojektowane biorąc pod uwagę możliwość uzupełnienia linaka o kriomodul w fazie 2.







Rysunek 3.3. Uproszczony schemat P&ID

#### 4. SYSTEM DYSTRYBUCJI KRIOGENICZNEJ (CDS)

Zadaniem Systemu Dystrybucji Kriogenicznej jest transfer helu między chłodziarką helu a kriomodułami, a także konwersja helu nadkrytycznego do stanu nadciekłego. Głównymi elementami Systemu Dystrybucji Kriogenicznej są (rys. 3.2 i 3.3):

- linia transferowa
- moduły zaworowe
- moduł zawracający
- linie pomocnicze

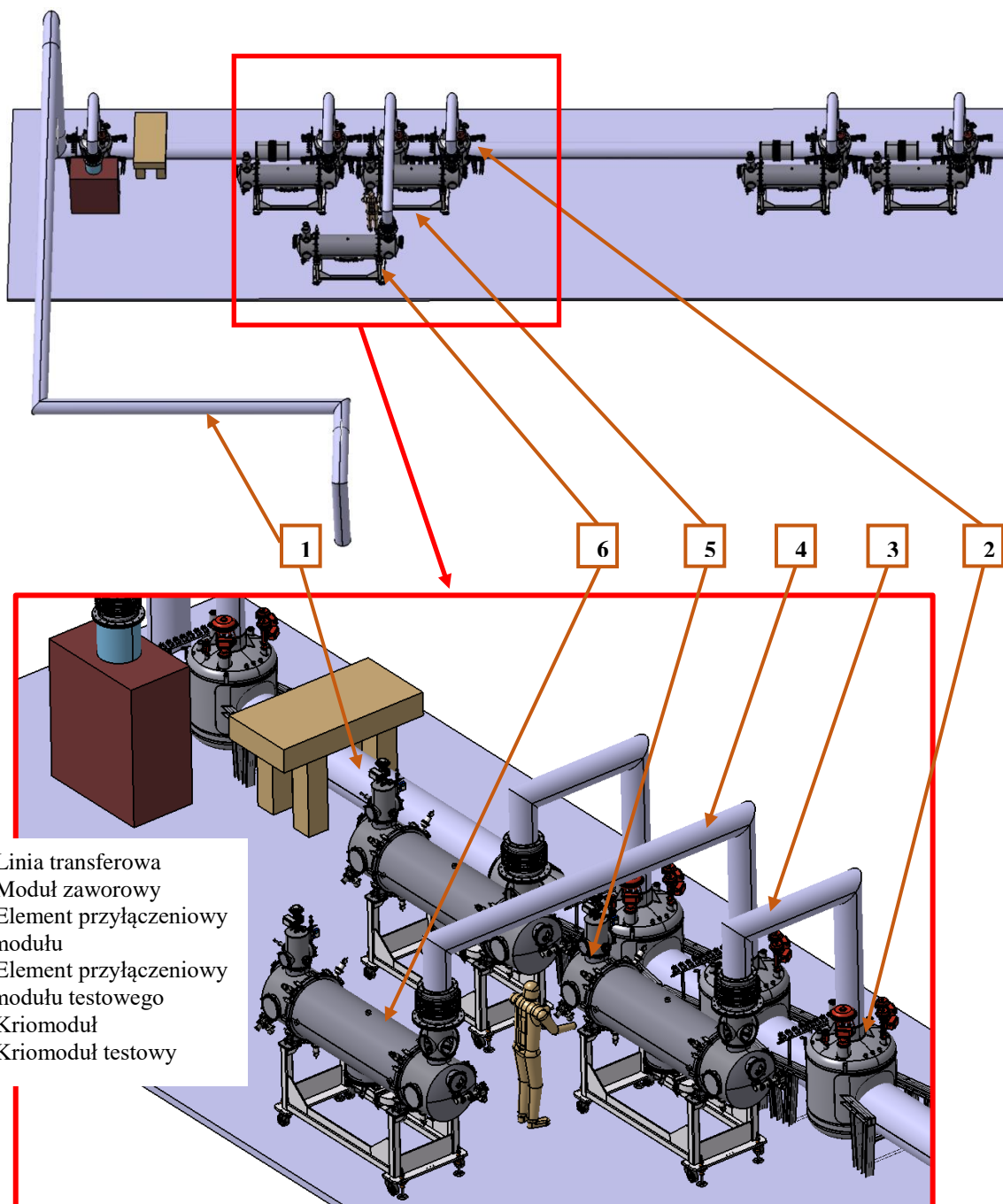
Jak wspomniano wcześniej, CDS ma dostarczać hel do kriomodułów w trzech stanach termodynamicznych:

- hel nadciekły o ciśnieniu 30 mbara oraz temp. ok 2 K
- hel nadkrytyczny o ciśnieniu 4 bara oraz temp. ok 5 K
- hel gazowy o ciśnieniu ok. 13 bara oraz temp. ok. 40 K

Hel w stanie nadkrytycznym o temperaturze 5 K wykorzystany jest do termalizacji sprzęgaczy mocy kriomodułów, hel w postaci nadciekłej do kriostatowania wnęk rezonansowych akceleratora, a hel o temperaturze 40 K wykorzystany jest do chłodzenia ekranów termicznych kriomodułów oraz linii transferowej. Ze względu na konieczność dostarczenia do kriomodułów helu w trzech różnych stanach termodynamicznych, strumienie helu przesyłane są z chłodziarki helu poprzez 4-kanałową linię transferową składającą się z dwóch linii zasilających i 2 linii powrotnych (strumień helu nadkrytycznego oraz helu gazowego), przy czym przejście helu z nadkrytycznego do nadciekłego odbywa się będzie w modułach zaworowych bezpośrednio przed podaniem go do kriomodułów.

Ponieważ przemiana z helu nadkrytycznego do nadciekłego realizowana jest w modułach zaworowych, niezbędne jest wykorzystanie indywidualnego modułu zaworowego dla każdego z kriomodułów.

Widok ogólny Systemu Dystrybucji Kriogenicznej PolFEL pokazano na rys. 4.



Rysunek 4. Widok 3D elementów Systemu Dystrybucji Kriogenicznej

## 5. WARUNKI PRACY

### 5.1. TRYBY PRACY

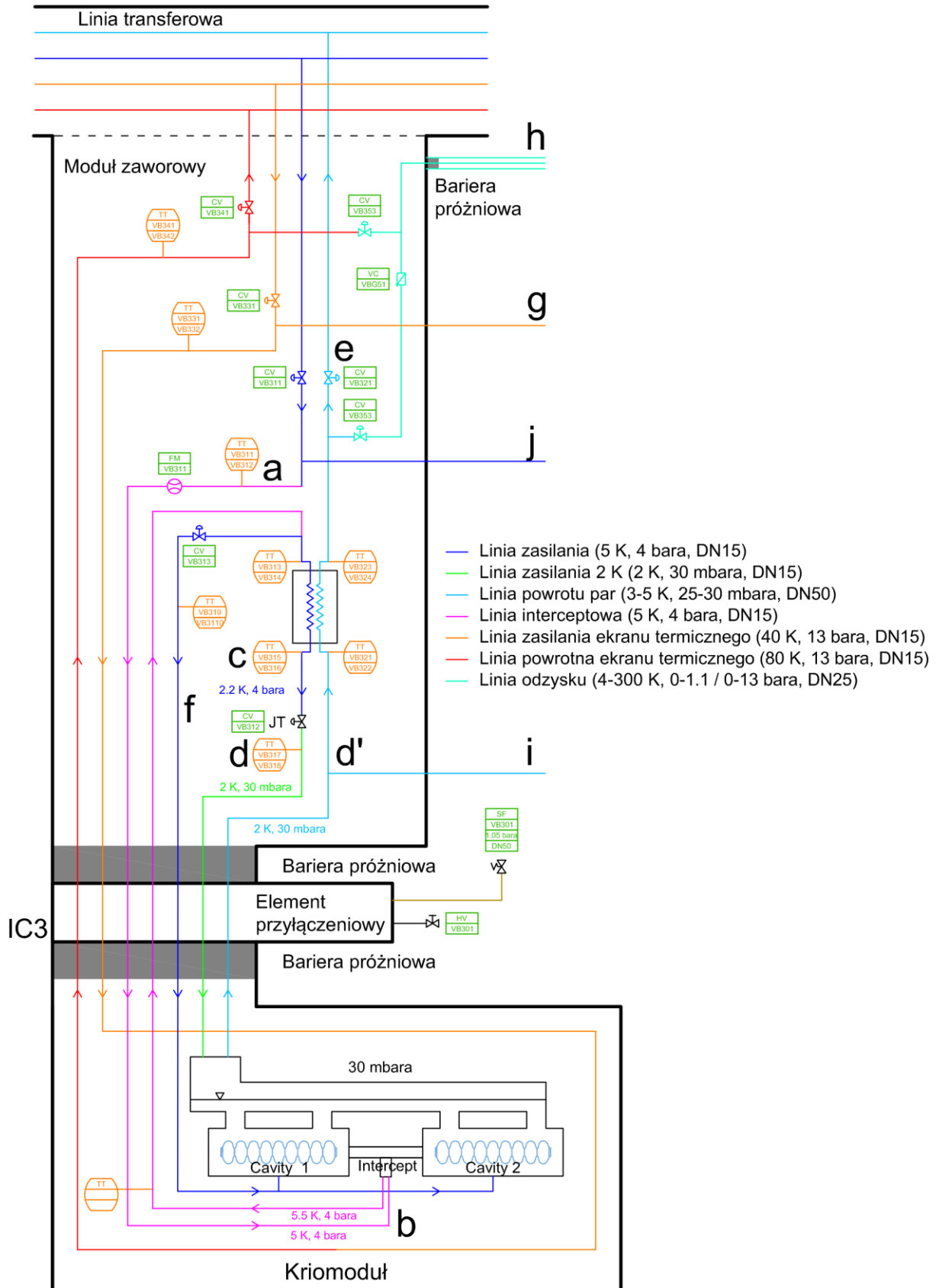
System Dystrybucji Kriogenicznej powinien zostać tak zaprojektowany, aby umożliwiał pracę układu kriogenicznego w następujących trybach pracy:

- **Tryb przedmuchu.** Ten tryb wykorzystywany jest do usunięcia powietrza i innych zanieczyszczeń ze wszystkich linii CDS i wypełnienia ich helem. Proces ten polega na kilkukrotnym, naprzemiennym odpompowywaniu gazu z linii CDS i napełnianiem ich helem do uzyskania żądanej czystości. Tryb ten jest wykonywany zarówno dla całego CDS równocześnie, jak i dla pojedynczego kriomodulu wraz z odpowiadającym mu modułem zaworowym.
- **Tryb wychładzania.** Ten tryb wykorzystywany jest do schłodzenia CDS oraz kriomodulów od temperatury otoczenia do temperatury pracy. Podczas wychładzania, w zależności od potrzeb, realizowany jest jeden z dwóch scenariuszy:
  - Wychładzanie całego CDS równocześnie
  - Wychładzanie pojedynczego kriomodulu wraz z odpowiadającym mu modułem zaworowym w przypadku, gdy pozostałe elementy CDS są już wychłodzone do temperatury pracy nominalnej.
- **Tryb gotowości.** Ten tryb pracy jest aktywny w momencie, gdy kriomoduly oraz CDS wychłodzone są do temperatury pracy (2 K), jednak układ liniaka nie jest obciążony dynamicznymi dopływami ciepła. CDS dostarcza z chłodziarki do kriomodulów strumienie helu wystarczające do odebrania z układu wyłącznie statycznych dopływów ciepła.
- **Tryb pracy nominalnej.** W tym trybie CDS dostarcza z chłodziarki do kriomodulów strumienie helu w celu odebrania zarówno statycznych, jak i dynamicznych dopływów ciepła z kriomodulów oraz linii transferowej i modułów zaworowych.
- **Tryb odgrzewania.** Tryb ten wykorzystywany jest do wygrzania CDS do temperatury otoczenia. Podczas odgrzewania, grzałki umieszczone wewnątrz kriomodulów oraz modułu zawracającego odparowują ciekły hel oraz odgrzewają wszystkie linie CDS. Układ chłodziarki helu odbiera odparowany hel i magazynuje go w gazowych zbiornikach ciśnieniowych. Podczas odgrzewania, w zależności od potrzeb, realizowany jest jeden z dwóch scenariuszy:
  - Odgrzewanie całego CDS równocześnie
  - Odgrzewanie pojedynczego kriomodulu wraz z odpowiadającym mu modułem zaworowym w przypadku, gdy pozostałe elementy CDS pozostają wychłodzone do temperatury pracy nominalnej.

Poszczególne tryby pracy systemu kriogenicznego PolFEL omówiono poniżej na podstawie przykładowego połączenia modułu zaworowego z kriomodulem (rys. 5.1.1).

Dodatkowo podczas projektowania, rozpatrzyć należy następujące tryby awaryjne:

- Utrata próżni w linii transferowej
- Utrata próżni w kriomodule
- Utrata próżni w linii wiązki
- Utrata zasilania elektrycznego



Rysunek 5.1.1. Uproszczony widok pojedynczego modułu zaworowego z kriomodulem

### 5.1.1. TRYB WYCHŁADZANIA CAŁEGO CDS

Wychładzanie CDS będzie przebiegać w pięciu fazach.

**Pierwsza faza** to schładzanie CDS od temperatury 300 K do temperatury ekranów termicznych (40 K – 70 K). W tej fazie chłodziarka helu dostarcza hel o kontrolowanym gradiencie temperatury pomiędzy liniami zasilającymi i powrotnymi. Gradient ten nie powinien przekraczać 30 K, a maksymalna prędkość schładzania nie powinna być większa niż 30 K/h. Pierwsza faza wykonywana jest na wszystkich liniach procesowych równocześnie (wliczając w to linię transferową, moduły zaworowe, kriomoduly i moduł zawracający). Pierwsza faza wychładzania kończy się po wychłodzeniu wszystkich obwodów CDS do temperatury 70 K.

**Druga faza** wykonywana w celu schłodzenia kriomodulów od temperatury ekranów termicznych (40 K – 70 K) do 15 K. W tej fazie, chłodziarka helu dostarcza hel o kontrolowanym gradiencie temperatury pomiędzy linią zasilającą helem nadkrytycznym a linią powrotu par w taki sposób, by nie przekroczyć 30 K gradientu temperatur i maksymalnej prędkości schładzania 30 K/h. Począwszy od tej fazy, we wszystkich liniach zasilających oraz powrotnych ekranów termicznych CDS, podawany będzie hel o parametrach nominalnych. Faza ta będzie prowadzona na wszystkich liniach zasilających i wszystkich modułach zaworowych równocześnie, a zakończy się, gdy wszystkie kriomoduly zostaną schłodzone do temperatury 15 K.

**Trzecia faza** polega na wychłodzeniu linii zasilania helem nadkrytycznym oraz linii powrotu par wewnątrz linii transferowej do temperatury około 5 K. Chłodziarka helu podaje do linii zasilania helem nadkrytycznym hel o kontrolowanych parametrach, tak by nie przekroczyć maksymalnej prędkości schładzania 30 K/h. Podczas tej fazy, moduły zaworowe podają hel do kriomodulów wyłącznie liniami zasilającymi ekran termiczny. Hel z linii powrotnych ekranu termicznego przekazywany jest do linii transferowej. Podczas tej fazy wewnątrz kriomodulów może, na skutek dopływów ciepła, wzrastać ciśnienie. W celu utrzymania ciśnienia wewnątrz kriomodulów na stałym poziomie, nadmiar helu odprowadzany jest linią odzysku (punkt „h” rys. 5.1.1) do systemu odzysku w chłodziarce. Kriomoduly utrzymywane są w stałej temperaturze 15 K. W przypadku wzrostu temperatury wewnątrz kriomodulów, jej wartość jest obniżana z wykorzystaniem niewielkiego strumienia helu z linii zasilającej. Faza trzecia jest zakończona, gdy linia zasilająca helem nadkrytycznym uzyska parametry nominalne (5 K i 4 bara).

**Czwarta faza** polega na szybkim schłodzeniu kriomodulów od temperatury 15 K do 5 K. W tej fazie, chłodziarka helu podaje do linii transferowej hel nadkrytyczny o temperaturze 5 K i ciśnieniu 4 bara. Hel przepływa przez linię zasilającą helem nadkrytycznym wewnątrz linii transferowej do modułu zaworowego (punkt „a” na rys. 5.1.1). W module zaworowym hel przepływa przez linię interceptu w celu wychłodzenia sprzęgaczy mocy kriomodulu, a następnie powraca do modułu zaworowego. Strumień helu wpływa do linii zalewania omijając wymiennik ciepła, a następnie przepływa przez zawór VBx13, gdzie jest zdławiony do ciśnienia 1.1 bara i temperatury 4.3 K. Strumień helu w postaci dwufazowej mieszaniny przepływa bezpośrednio do kriomodulu (punkt „f” na rys. 5.1.1), schładzając go poprzez odparowanie. Następnie odparowany hel jest zawracany do modułu zaworowego (punkt „d” rys. 5.1.1) i ostatecznie linią odzysku (punkt „h” rys. 5.1.1) powraca do systemu odzysku helu umieszczonego w chłodziarce. Masowy przepływ ciekłego helu do kriomodulu nie powinien być mniejszy niż 8 g/s, aby zapewnić szybkie chłodzenie z prędkością ok. 2 – 3 K na minutę. Ta faza szybkiego chłodzenia jest wykonywana sekwencyjnie dla jednego kriomodulu na raz. Każdy kriomodul przed fazą szybkiego wychładzania powinien być utrzymywany w stałej temperaturze 15 K. Każdy kriomodul wychłodzony do temperatury 4.3 K powinien być napełniony ciekłym helem i utrzymywany w tej temperaturze do zakończenia fazy trzeciej.

Po schłodzeniu wszystkich kriomodulów i wypełnieniu ich ciekłym helem o temperaturze 4.3 K, faza szybkiego wychładzania kończy się i rozpoczyna się faza piąta.

**Piąta faza** ma na celu obniżenie temperatury ciekłego helu wewnątrz kriomodułów od temperatury 4.3 K do 2 K. Podczas tej fazy nastąpi przejście helu do stanu nadciekłego. W modułach zaworowych przepływy helu w przewodach zasilających zostaną zredukowane do nominalnych 4 g/s. W układzie chłodziarki helu uruchomione zostaną zimne pompy próżniowe obniżające ciśnienie wewnątrz linii powrotu par CDS do 30 mbara. Faza ta prowadzona będzie z wykorzystaniem wszystkich modułów zaworowych i zakończy się, gdy wszystkie kriomoduly zostaną schłodzone do temperatury 2 K i napełnione helem w postaci nadciekłej.

### 5.1.2. TRYB WYCHŁADZANIA POJEDYNCZEGO KRIOMODULU

CDS powinien umożliwiać wychłodzenie pojedynczego kriomodulu, wraz z odpowiadającym mu modułem zaworowym w sytuacji, gdy pozostałe elementy CDS utrzymywane będą w temperaturze pracy nominalnej. W tym przypadku, wszystkie wychłodzone elementy CDS powinny się znajdować w trybie gotowości opisanym w rozdziale 5.1.3. Wychłodzenie pojedynczego kriomodulu będzie przebiegać w czterech fazach.

**Pierwsza faza** to schładzanie ekranu termicznego kriomodulu. Moduł zaworowy będzie pobierać linią zasilającą ekran termiczny strumień helu z linii transferowej o ciśnieniu 13 bara oraz temperaturze 40 K i będzie go mieszać ze strumieniem helu podawanym przez linię oczyszczania zasilającą (linia „g” na rys. 5.1.1) tak, aby gradient temperatur pomiędzy linią zasilającą ekran termiczny a powrotną ekranu termicznego nie przekraczał 30 K. Strumień helu po wychłodzeniu ekranu termicznego odbierany będzie linią odzysku (linia „h” na rys. 5.1.1). Po wychłodzeniu ekranu termicznego do temperatur nominalnych, strumień helu z pętli ekranowej zostanie skierowany do linii transferowej.

**Druga faza** będzie wykonywana w celu schłodzenia pozostałych zimnych linii kriomodulu oraz modulu zaworowego od temperatury 300 K do 15 K. Chłodziarka helu będzie dostarczać hel w stanie nadkrytycznym pod ciśnieniem 4 bara i w temperaturze 5 K. Hel będzie przepływać przez linię zasilającą helem nadkrytycznym wewnątrz linii transferowej do modulu zaworowego (punkt „a” na rys. 5.1.1) gdzie zostanie zmieszany ze strumieniem helu podawanym przez linię oczyszczania zasilającą (linia „j” na rys. 5.1.1) tak, aby gradient temperatur pomiędzy linią zasilającą (punkt „a” na rys. 5.1.1) a powrotną (punkt „d’ ” na rys. 5.1.1) nie przekraczał 30 K. W module zaworowym hel będzie przepływać przez linię interceptu w celu wychłodzenia sprzęgaczy mocy kriomodulu, a następnie będzie powracać do modulu zaworowego. Strumień helu kierowany będzie do linii zalewania „f” (rys. 5.1.1), omijając wymiennik ciepła i przepływając przez zawór VBx13, gdzie zostanie zdławiony do ciśnienia 1.1 bara. Strumień helu będzie przepływać bezpośrednio do kriomodulu (punkt „f” na rys. 5.1.1), schładzając go. Następnie strumień helu będzie zawracany do linii odzysku helu (punkty „d’ ” i „h” na rys. 5.1.1). Faza ta będzie prowadzona do czasu, gdy kriomodul zostanie schłodzony do temperatury 15 K.

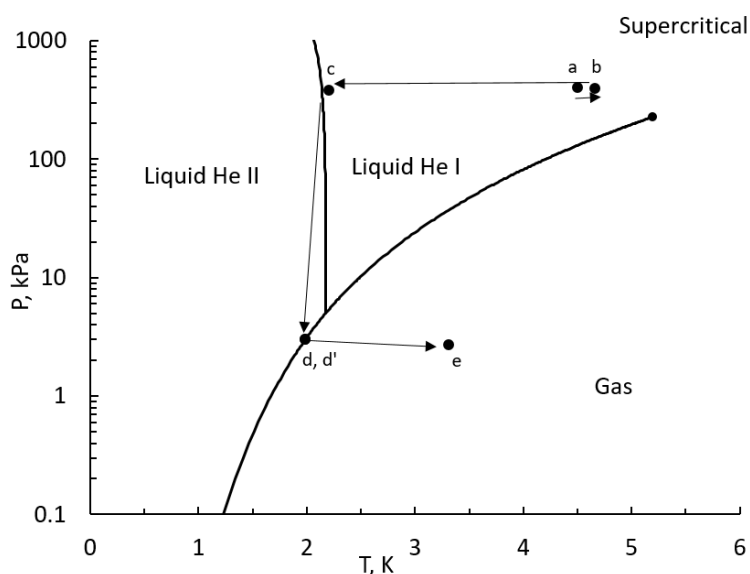
**Trzecia faza** polega na szybkim schłodzeniu kriomodulu od temperatury 15 K do 5 K. Schemat przepływu helu w module zaworowym jest taki sam jak w fazie drugiej. Jediną różnicą jest wysoki przepływ helu do schładzanego kriomodulu. W tej fazie w linii „f” (rys. 5.1.1), pojawiać się będzie przepływ dwufazowy. Masowy przepływ ciekłego helu do kriomodulu nie powinien być mniejszy niż 8 g/s, aby zapewnić szybkie chłodzenie z prędkością ok. 2 – 3 K na minutę. Po szybkim wychłodzeniu kriomodulu i napełnieniu go ciekłym helem o temperaturze 4.3 K, faza szybkiego wychładzania kończy się i rozpoczyna się faza czwarta.

**Czwarta faza** ma na celu obniżenie temperatury ciekłego helu wewnątrz schładzanego kriomodulu od temperatury 4.3 K do 2 K. Podczas tej fazy nastąpi przejście helu do stanu nadciekłego. W module zaworowym przepływ helu w przewodach zasilających zostanie zredukowany do nominalnych 4 g/s. Następnie linia odzysku „h” (rys. 5.1.1) zostanie zamknięta i nastąpi powolne otwarcie zaworu odprowadzającego pary helu do linii transferowej poprzez linię „e” (rys. 5.1.1) do czasu obniżenia się ciśnienia w kriomodule do nominalnej wartości (30 mbara).



### 5.1.3. TRYB GOTOWOŚCI

W trybie gotowości linia „f” (rys. 5.1.1) zostanie zamknięta, a hel przepływa przez wymiennik ciepła (punkt „c” na rys. 5.1.1 oraz rys. 5.1.3), gdzie zostanie wstępnie schłodzony, a następnie zdławiony w zaworze Joule-Thompsona (JT). Zdławiony hel zmieni stan na nadciekły i osiągnie temperaturę 2 K i ciśnienie 30 mbara (punkt „d” na rys. 5.1.1 oraz rys. 5.1.3). Nadciekły hel wpływa do kriomodulu, wypełniając zbiornik dwufazowego helu. Odparowany hel powraca z kriomodulu linią „d’ ” (rys. 5.1.1) i przepływa przez niskociśnieniową sekcję wymiennika ciepła (punkt „e” na rys. 5.1.1 oraz rys. 5.1.3). W tym trybie układ chłodziarki helu utrzymuje ciśnienie w linii powrotu par na stałym poziomie 30 mbara.



Rysunek 5.1.3. Wykres T-S przemian helu podczas trybu gotowości oraz trybu pracy nominalnej. Punkty a, b, c, d, d’ oraz e odpowiadają punktom na rys. 5.1.1.

### 5.1.4. TRYB PRACY NOMINALNEJ

Z termodynamicznego punktu widzenia tryb pracy nominalnej podobny jest do trybu gotowości. Jedyną różnicą jest to, że w nominalnym trybie pracy chłodziarka helu zwiększa przepływ helu do linii zasilającej, aby uwzględnić nie tylko statyczne, ale również dynamiczne dopływy ciepła do kriomodulów. Maksymalne obciążenie chłodziarki pokazano w tabeli 5.3. Hel zostanie dostarczony do kriomodulu działa, 5 kriomodulów przyspieszających oraz jednego kriomodulu testowego. W przypadku braku możliwości regulacji strumienia helu podawanych przez chłodziarkę, nadmiar helu w każdej fazie powinien przepływać przez moduł zawierający.

Maksymalne dopuszczalne obciążenia cieplne dla CDS oraz kriomodulów pokazano w tabeli 5.2. Wartości dopływów ciepła oszacowano biorąc pod uwagę ekrany termiczne, izolacje termiczne i radiacyjne, zawory, podpory stałe i przesuwne, bariery próżniowe i oprzyrządowanie pomiarowe.

### 5.1.5. TRYB ODGRZEWANIA POJEDYNCZEGO KRIOMODULU

Odrzewanie pojedynczego kriomodulu wraz z modułem zaworowym będzie przebiegać w trzech fazach.

**Pierwsza faza** polega na odparowaniu ciekłego helu z kriomodulu. Linia zasilająca helem nadkrytycznym zostanie zamknięta. Następnie za pomocą grzałek znajdujących się wewnątrz kriomodulu nastąpi odparowanie helu nadciekłego zgromadzonego w kriomodule. Pary helu zostaną odprowadzone do chłodziarki linią powrotu par wewnątrz linii transferowej.

**Druga faza** polega na obniżeniu ciśnienia w liniach ekranowych do ciśnienia 1.1 bara oraz na podniesieniu ciśnienia w kriomodule do ciśnienia 1.1 bara. Obniżenie ciśnienia w liniach ekranowych realizowane jest poprzez odprowadzenie nadmiaru helu do linii odzysku (linia „h” na rys. 5.1.1). Podwyższanie ciśnienia w kriomodule polega na powolnym podwyższaniu temperatury kriomodulu przy zamkniętych zaworach na liniach zasilających i powrotnych.

**Trzecia faza** polega na odgrzewaniu wszystkich linii modułu zaworowego i kriomodulu wraz z odbiorem strumienia helu do linii odzysku (linia „h” oraz „i” na rys. 5.1.1). Podczas etapu odgrzewania tempo zmian temperatury nie powinno być wyższe niż 30 K/h.

### 5.1.6. TRYB ODGRZEWANIA CAŁEGO CDS

Odgrzewanie CDS będzie przebiegać w dwóch fazach.

**Pierwsza faza** polega na podwyższeniu ciśnienia wewnątrz linii powrotu par oraz kriomodulów do ciśnienia 1.1 bara. Realizowane to jest poprzez wyłączenie zimnych kompresorów wewnątrz chłodziarki helu.

**Druga faza** wykonywana jest w celu odgrzania kriomodulów do temperatury 300 K. W tej fazie chłodziarka helu dostarcza będzie hel o kontrolowanym gradiencie temperatury pomiędzy liniami zasilającymi i powrotnymi. Gradient nie powinien przekraczać 30 K, a prędkość wygrzewania 30 K/h. Hel z linii powrotnych przekazywany jest linią transferową do chłodziarki. Faza ta realizowana jest równocześnie dla wszystkich zimnych rur procesowych CDS.

### 5.2. DOPŁYWY CIEPŁA

Wykonawca, podczas projektowania CDS powinien wyznaczyć rzeczywiste dopływy ciepła do linii transferowej, modułów zaworowych i modułu zawracającego, których wartości mogą być różne od szacunkowych wykazanych w tabeli 5.2 oraz 5.3, biorąc pod uwagę rzeczywistą konstrukcję zaprojektowanego przez Wykonawcę CDS. Zmiany dopływów ciepła na etapie projektowania muszą być konsultowane między Zamawiającym a Wykonawcą.

**Tabela 5.2. Maksymalne dopływy ciepła do kriomodulów oraz CDS**

	2K <sup>1)</sup>			5K	40 K ekran
	Dopływy statyczne	Dopływy dynamiczne	Suma	Dopływy statyczne	Dopływy statyczne
Kriomoduł	10 W	61 W	71 W (4.64 g/s) <sup>1) 2)</sup>	3 W	30 W (2 g/s) <sup>4)</sup>
Kriomoduł testowy	10 W	61 W	71 W (4.64 g/s) <sup>1) 2)</sup>	3 W	30 W (2 g/s) <sup>4)</sup>
Kriomoduł działa	7 W	8 W	15 W (1.2 g/s) <sup>1) 2)</sup>	10 W	34 W (2.3 g/s) <sup>4)</sup>
Moduł zaworowy	1 W	-	1 W (0.20 g/s) <sup>1)</sup>	8 W	14.6 W (0.97 g/s) <sup>4)</sup>
Moduł zawracający	2 W	-	2 W (0.20 g/s) <sup>1) 2)</sup>	5 W	14.6 W (0.97 g/s) <sup>4)</sup>
Linia transferowa na 1 metr długości	-	-	-	0.2 W	2.26 W

1) Strumień helu nadkrytycznego o temp. 5 K i ciśnieniu 4 bara potrzebny do zdławienia w module zaworowym i przekazania w postaci dwufazowej do kriomodulu. Ciepło parowania helu przyjęte jako 20 J/g; założona zawartość cieczy w strumieniu dwufazowym wynosi 80% w przypadku kriomodulów przyspieszających i 70% w przypadku kriomodulu działa.

2) Sumaryczny strumień helu nadkrytycznego (5 K i 4 bara) bierze pod uwagę dopływy ciepła z termalizacji sprzęgaczy mocy (dopływy statyczne do linii interceptu (5 K)).

3) Równowartość strumienia helu nadkrytycznego w temp. 5 K i ciśnieniu 4 bara.

4) Strumień helu w temp. 40 K oraz ciśnieniu 13 bara na potrzeby ekranu termicznego.

### 5.3. STRUMIEŃ MASY HELU

Tabela 5.3 pokazuje podsumowanie zapotrzebowania na hel dla CDS i kriomodulów przy nominalnych warunkach pracy. Dla konserwatywnego podejścia uzasadnione jest zwiększenie przedstawionych masowych przepływów helu o około 20%.

**Tabela 5.3. Zapotrzebowanie na hel przy 5 kriomodulach pracujących w warunkach nominalnych**

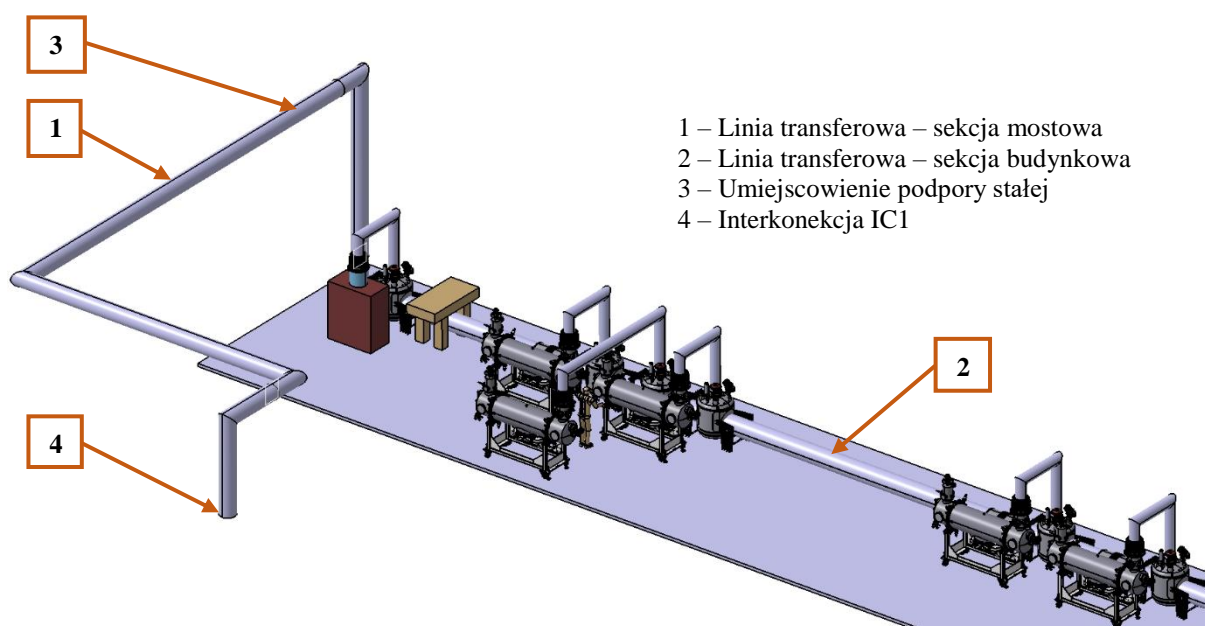
	Strumień helu nadkrytycznego T = 5 K, P = 4 bara			Strumień helu gazowego T = 40 K, P = 13 bara		
	Strumień jednostkowy	Liczba elementów	Suma	Strumień jednostkowy	Liczba elementów	Suma
Kriomoduł	4.64 g/s	5 szt.	23.2 g/s	2 g/s	5 szt.	10 g/s
Kriomoduł działa	1.2 g/s	1 szt.	1.2 g/s	2.3 g/s	1 szt.	2.3 g/s
Moduł zaworowy	0.2 g/s	7 szt.	1.4 g/s	0.97 g/s	7 szt.	6.79 g/s
Moduł zawracający	0.2 g/s	1 szt.	0.2 g/s	0.97 g/s	1 szt.	0.97 g/s
		<b>Suma</b>	<b>26 g/s</b>		<b>Suma</b>	<b>20 g/s</b>

Strumienie helu podane w tabeli 5.3 są minimalnymi strumieniami wymaganymi do poprawnej pracy CDS. Biorąc pod uwagę odpowiedni margines bezpieczeństwa oraz przyszłą rozbudowę systemu o kolejne kriomoduly, linia transferowa powinna pozwolić na przepływ helu o wyższym strumieniu. Strumienie helu oraz dopuszczalne spadki ciśnień dla każdej z rur procesowych podano w tabeli 6.4.

## 6. LINIA TRANSFEROWA

### 6.1. WIDOK OGÓLNY

Linia transferowa CDS łączy krioplant z modułami zaworowymi. Zadaniem linii transferowej jest dostarczanie helu w stanie nadkrytycznym od systemu chłodziarki helu do modułów zaworowych oraz usuwanie odparowanego helu z modułów zaworowych i transportowanie go z powrotem do chłodziarki. Linia transferowa jest podzielona na dwie części: sekcję mostową i sekcję budynkową, których punktem rozdzielającym jest podpora stała. Ogólny widok linii transferowej przedstawiono na rys. 6.1.

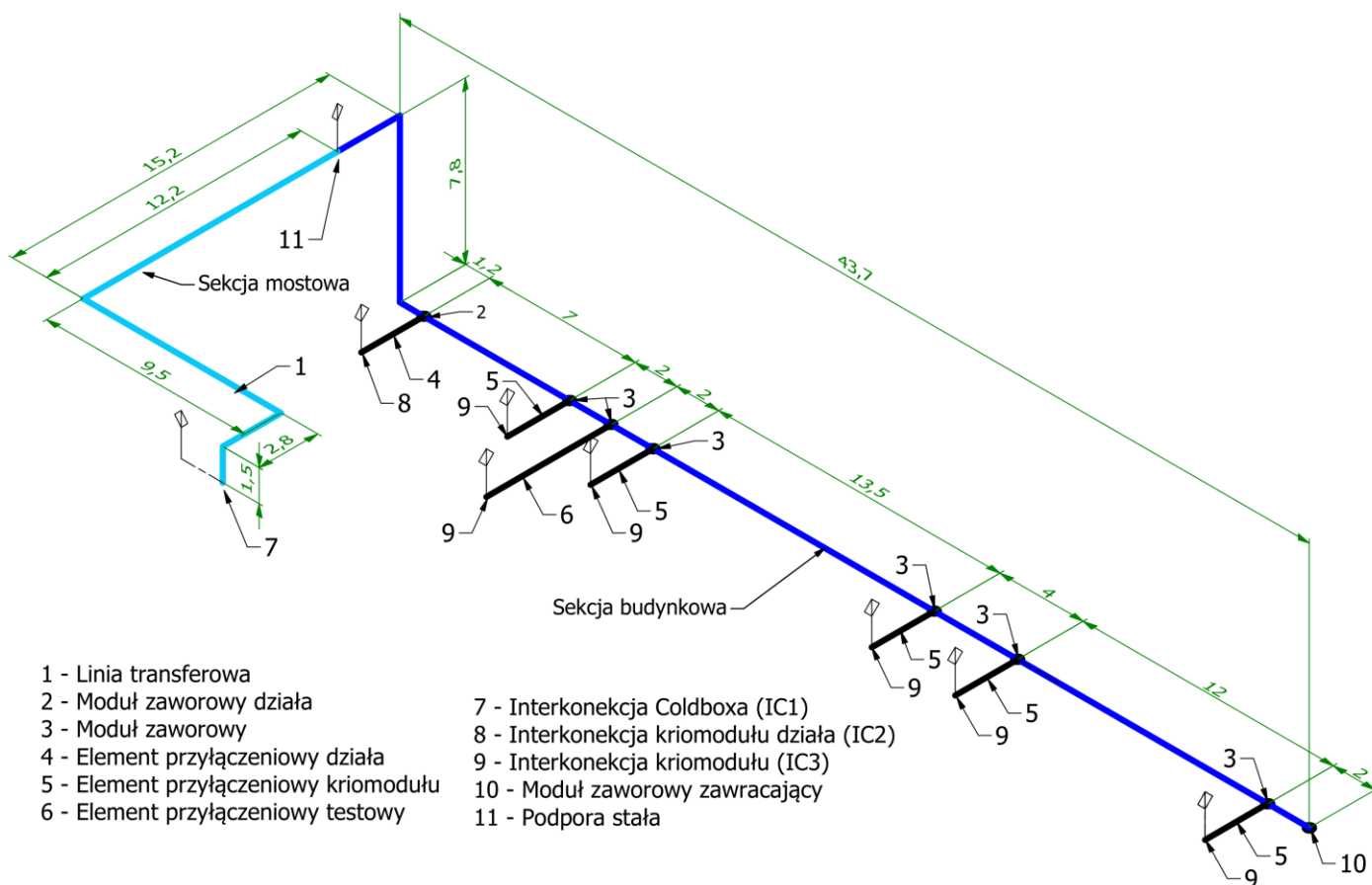


Rysunek 6.1. Uproszczony widok linii transferowej

Sekcja mostowa linii transferowej łączy chłodziarkę helu z halą lasera i przebiega po moście opisanym w rozdziale 20. Sekcja budynkowa łączy ze sobą poszczególne moduły zaworowe. Na styku obu sekcji linii transferowej zostanie zainstalowana podpora stała, utrzymująca obie sekcje w ustalonej pozycji. Podpora ta musi być wentylowana, by stworzyć jedną przestrzeń próżniową dla obydwu sekcji. Każda sekcja musi być wyposażona w przyłącze do pompowania próżni i zawór bezpieczeństwa płaszcza próżniowego. Port pompowania próżni i zawór bezpieczeństwa dla odcinka mostowego linii transferowej powinny zostać umieszczone wewnątrz budynku chłodziarki helu. Port pompowania próżni oraz zawór bezpieczeństwa dla sekcji budynkowej linii transferowej powinny zostać zlokalizowane w hali lasera. Dokładna pozycja tych portów pozostaje do uzgodnienia na etapie projektowania pomiędzy Wykonawcą i Zamawiającym.

### 6.2. BUDOWA

Linia transferowa to izolowana próżniowo wielokanałowa linia z czterema kanałami specjalnie zaprojektowanymi do przesyłania strumieni helu o różnych parametrach temperatury i ciśnienia, potrzebnych do kriostatowania kriomodułów linaka. Całkowita długość linii transferowej wynosi około 82 m. Rysunek 6.2.1 pokazuje zewnętrzną geometrię całej linii transferowej z rozmieszczonymi na niej głównymi komponentami.



Rysunek 6.2.1. Zewnętrzna geometria linii transferowej (wymiary zaokrąglone do 0.1 metra)

Rysunek 6.2.1 pokazuje umiejscowienie interkonekcji IC1, IC2 i IC3. Przez interkonekcję rozumie się miejsce połączenia dwóch, niezależnym elementów Systemu Dystrybucji Kriogenicznej. Każda interkonekcja zawiera połączenia między odpowiednimi rurami procesowymi, osłonami termicznymi i płaszczami próżniowymi elementów łączących.

System Dystrybucji Kriogenicznej posiada trzy typy interkonekcji (jak na rys. 6.2.1):

- **Interkonekcja 1 (IC1)** – połączenie pomiędzy coldboxem chłodziarki helu a linią transferową,
- **Interkonekcja 2 (IC2)** – połączenie pomiędzy elementem przyłączeniowym modułu zaworowego działła a kriomodulem działła,
- **Interkonekcja 3 (IC3)** – połączenie pomiędzy elementami przyłączeniowymi pozostałych modułów zaworowych a odpowiadającymi im kriomodulami przyspieszającymi lub kriomodulowi testowemu.

Wszystkie wykorzystywane typy interkonekcji wyposażone są w bariery próżniowe w celu odizolowania przestrzeni próżniowej CDS od przestrzeni próżniowej chłodziarki helu oraz od przestrzeni próżniowej kriomodulów. W obu przypadkach bariera próżniowa jest odpowiednio częścią systemu chłodziarki helu oraz kriomodulów.

Linia transferowa odpowiada za transport helu w różnych stanach termodynamicznych od chłodziarki do modułów zaworowych. Projekt musi przewidywać będzie dwie sekcje linii transferowej ze wspólną izolacją próżniową:

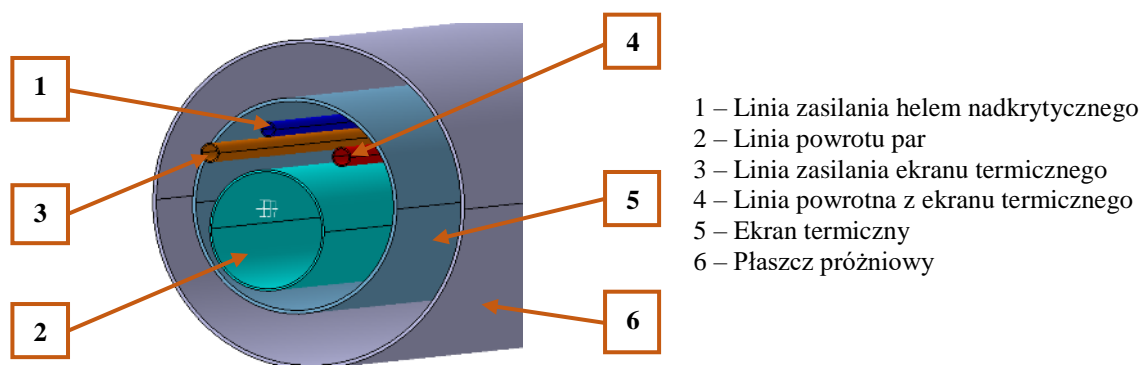
- **Linia transferowa – sekcja mostowa**, rozpoczyna się interkonekcją IC1 w coldboxie chłodziarki helu. Następnie przebiega po estakadzie na wysokości około 7.5 m, skąd jest wprowadzona na dach budynku lasera, gdzie się kończy w okolicy otworu wlotowego w stropie budynku.
- **Linia transferowa – sekcja budynkowa**, rozpoczyna się będzie na dachu budynku lasera przy otworze w stropie, przez który jest wprowadzona w dół do środka hali, gdzie łączy się z modułem działa i przebiega będzie aż do modułu zwracającego. Na tej sekcji są umieszczone wszystkie moduły zaworowe.

Każda z sekcji powinna posiadać co najmniej po jednym porcie do pompowania próżni typu ISO1609 DN160 lub równoważnym. Port powinien być zakończony dopasowanym zaworem próżniowym zabezpieczonym odpowiednią zaślepką.

Obie sekcje linii transferowej powinny składać się z czterech linii procesowych zabezpieczonych przed dopływem ciepła wspólnym ekranem termicznym umieszczonych wewnątrz zbiornika próżniowego. Cztery linie procesowe to:

- **Linia zasilania helem nadkrytycznym** – linia przekazująca strumień helu nadkrytycznego o temperaturze 5 K i ciśnieniu 4 bara od chłodziarki helu do modułów zaworowych.
- **Linia powrotu par** – linia przekazująca pary helu o obniżonym ciśnieniu ok. 30 mbara i temperaturze ok. 4 K od modułów zaworowych do chłodziarki helu.
- **Linia zasilająca ekran termiczny** – linia dostarczająca hel gazowy o temperaturze ok. 40 K i ciśnieniu ok. 16.7 bara od chłodziarki helu do wszystkich elementów Systemu Dystrybucji Kriogenicznej w celu chłodzenia ekranów termicznych.
- **Linia powrotna ekranu termicznego** – linia transportująca hel gazowy o temperaturze ok. 80 K i ciśnieniu ok. 16 bara od ekranów termicznych CDS do chłodziarki helu. Linia ta powinna być zwarta termicznie ze wszystkimi ekranami termicznymi Systemu Dystrybucji Kriogenicznej.

Przykładowy, proponowany przekrój linii transferowej przedstawia rysunek 6.2.2. Parametry projektowe linii transferowej i linii procesowych podano w tabeli 6.2.1.



Rysunek 6.2.2. Proponowany przekrój linii transferowej

Tabela 6.2.1. Parametry projektowe linii transferowej

Nr	Nazwa	Rozmiar	Średnica zew. [mm]	Ciśnienie projektowe [bara]	Ciśnienie nominalne [bara]	Temperatura nominalna [K]
1	Linia zasilania helem nadkrytycznym	DN25	33.7	18	4	5
2	Linia powrotu par	DN150	168.3	5	0.025 – 0.03	3 – 5
3	Linia zasilania ekranu termicznego	DN20	26.9	18	13	40
4	Linia powrotna ekranu termicznego	DN20	26.9	18	13	80
5	Ekran termiczny	DN300	300	-	-	40 – 80
6	Płaszcz próżniowy	DN400 – 450	406.4 – 457	1.5	1x10E-6	300

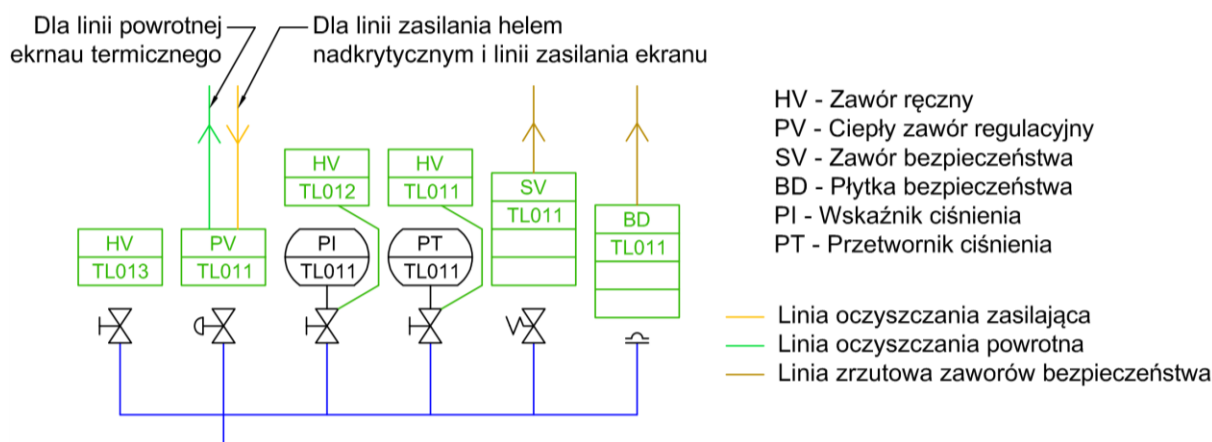
### 6.3. INSTRUMENTACJA

#### 6.3.1. INFORMACJE OGÓLNE

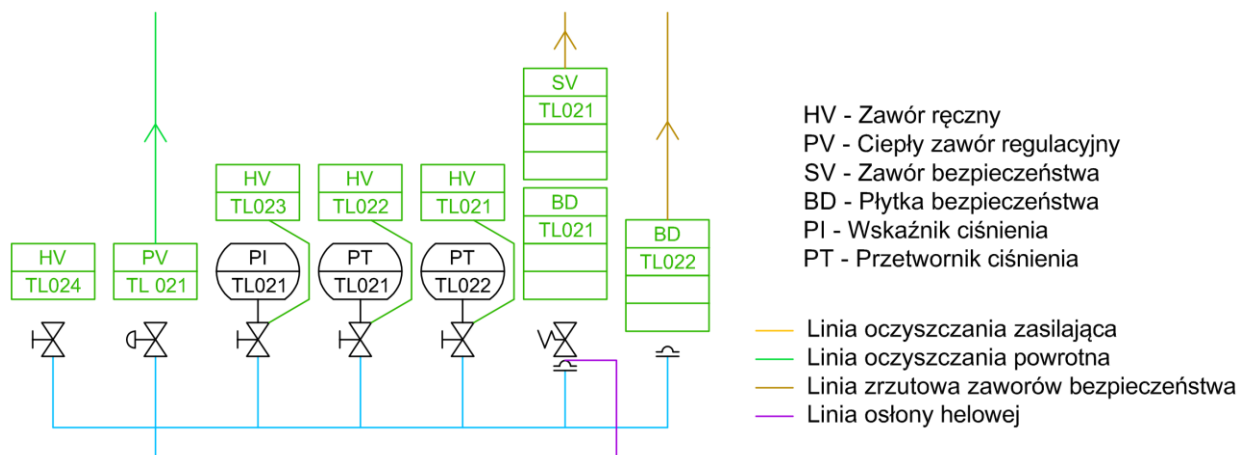
Każda linia procesowa linii transferowej powinna być wyposażona w następujące elementy:

- 1 ciepły zawór regulacyjny
- 3 zawory ręczne (4 zawory dla linii powrotu par)
- 1 wskaźnik ciśnienia
- 1 przetwornik ciśnienia (2 przetworniki dla linii powrotu par)
- 1 zawór bezpieczeństwa
- 1 płytkę bezpieczeństwa (2 płytki dla linii powrotu par)

Instrumentacja wymieniona powyżej powinna być zamontowana w ciepłych kolektorach, których schematy poglądowe pokazano na rys. 6.3.1.1 oraz 6.3.1.2. Oba kolektory powinny być zainstalowane na module zawracającym. Rysunek 6.3.1.1 przedstawia schemat konstrukcji kolektora dla linii zasilającej helem nadkrytycznym oraz dla obu linii helowych chłodzenia ekranu termicznego. Ze względu na to, że linia powrotu par wymaga wyższej precyzji w pomiarze ciśnienia, wymagane jest użycie dodatkowego przetwornika i wskaźnika ciśnienia. Z tego powodu wymagany jest kolektor innej konstrukcji niż dla pozostałych linii procesowych. Kolektor dla linii powrotu par pokazano na rys. 6.3.1.2.



Rysunek 6.3.1.1. Schemat kolektora linii zasilającej helem nadkrytycznym oraz dla obu linii chłodzenia ekranu termicznego dla linii transferowej



Rysunek 6.3.1.2. Schemat kolektora linii powrotu par dla linii transferowej

### 6.3.2. CIEPŁE ZAWORY REGULACYJNE

Linia transferowa powinna posiadać zawory regulacyjne pracujące w temperaturze otoczenia, tzw. ciepłe zawory regulacyjne. Umożliwiają one zdalną sterowanie podczas napełniania linii procesowych heliem, oraz odpompowywania gazu z wnętrza linii procesowych podczas procesu przedmuchu (ang. purge).

Ciepłe zawory regulacyjne powinny być zamontowane na kolektorach linii transferowej przedstawionych w rozdziale 6.3.1.

Omawiane zawory wymieniono poniżej w tabeli 6.3.2, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne zaworów opisano w rozdziale 11.1.2.

Tabela 6.3.2. Ciepłe zawory regulacyjne linii transferowej

Nr	Zawór	Umiejscowienie / Funkcja	Typ zaworu	PN	DN	K <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	T <sub>in</sub> [K]	m [g/s]	p <sub>in</sub> [bara]
1	PV TL 011	Linia zasilania heliem nadkrytycznym / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	4
2	PV TL 021	Linia powrotu par / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	1.3
3	PV TL 031	Linia zasilania ekranu termicznego / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13
4	PV TL 041	Linia powrotna ekranu termicznego / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego



### 6.3.3. ZAWORY RĘCZNE

Zawory ręczne pełnią dwie funkcje w linii transferowej. Pierwszą z nich jest izolowanie urządzeń pomiarowych takich jak przetworniki ciśnienia, manometry itp. Drugą jest możliwość użycia ich jako portów serwisowych do celów takich jak testy, serwisy, przeglądy, podłączanie dodatkowych urządzeń. Zawory ręczne pracują w temperaturze otoczenia.

Zawory ręczne powinny być zamontowane na kolektorach linii transferowej przedstawionych w rozdziale 6.3.1.

Zawory ręczne wymieniono poniżej w tabeli 6.3.3, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.3.

Tabela 6.3.3. Zawory ręczne linii transferowej

Nr	Zawór	Linia	Typ zaworu / Funkcja	PN	DN	T <sub>in</sub> [K]
1	HV TL 011	Linia zasilania helem nadkrytycznym	ręczny, odcinający zintegrowany z przetwornikiem ciśnienia	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
2	HV TL 021	Linia powrotu par				
3	HV TL 022	Linia powrotu par				
4	HV TL 031	Linia zasilania ekranu termicznego				
5	HV TL 041	Linia powrotna ekranu termicznego				
6	HV TL 012	Linia zasilania helem nadkrytycznym	ręczny, odcinający/ manometr	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
7	HV TL 022	Linia powrotu par				
8	HV TL 032	Linia zasilania ekranu termicznego				
9	HV TL 042	Linia powrotna ekranu termicznego				
10	HV TL 013	Linia zasilania helem nadkrytycznym	ręczny, odcinający/ portu serwisowy	25	15	300
11	HV TL 023	Linia powrotu par				
12	HV TL 033	Linia zasilania ekranu termicznego				
13	HV TL 043	Linia powrotna ekranu termicznego				

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

### 6.3.4. ZAWORY BEZPIECZEŃSTWA

Linie procesowe linii transferowej powinny być zabezpieczone zestawem co najmniej 4 zaworów bezpieczeństwa przystosowanych do pracy z czynnikiem kriogenicznym. Zawory bezpieczeństwa powinny otworzyć się, gdy ciśnienie wewnątrz rurociągu przekroczy zadane ciśnienie, np. podczas awarii któregoś z elementów lub utraty próżni w płaszczu próżniowym.

Zawory bezpieczeństwa powinny być zamontowane na kolektorach linii transferowej przedstawionych w rozdziale 6.3.1.

Zawory bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 6.3.4, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.4.

**Tabela 6.3.4. Zawory bezpieczeństwa linii transferowej**

Nr	Zawór	Funkcja	d <sub>o</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	SV TL 011	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii zasilania helem nadkrytycznym	12	4.5	920	5.0	18
2	SV TL 021	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii powrotu par	63	4.5	3 600	5.0	4
3	SV TL 031	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii zasilania ekranu termicznego	9	40	154	40	18
4	SV TL 041	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii powrotnej ekranu termicznego	9	40	154	70	18

### 6.3.5. PŁYTKI BEZPIECZEŃSTWA

Oprócz zaworów bezpieczeństwa, linia transferowa powinna posiadać zestaw 5 płytek bezpieczeństwa przystosowanych do pracy z czynnikiem kriogenicznym, które poza zaworami bezpieczeństwa dodatkowo zabezpieczą poszczególne rury procesowe przed nadmiernym wzrostem ciśnienia.

Płytki bezpieczeństwa powinny być zamontowane na kolektorach linii transferowej przedstawionych w rozdziale 6.3.1.

Płytki bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 6.3.5, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.4.

**Tabela 6.3.5. Płytki bezpieczeństwa linii transferowej**

Nr	Zawór	Funkcja	d <sub>o</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	BD TL 011	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii zasilania helem nadkrytycznym	24	4.5	920	5.0	20
2	BD TL 021	Zabezpieczenie linii powrotu par przed zasysaniem powietrza przez zawór bezpieczeństwa	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>
3	BD TL 022	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii powrotu par	100	4.5	3 600	5.0	4.8
4	BD TL 031	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii zasilania ekranu termicznego	15	40	154	40	20
5	BD TL 041	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii powrotnej ekranu termicznego	15	40	154	70	20

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

### 6.3.6. KLAPY BEZPIECZEŃSTWA

Płaszcz próżniowy linii transferowej powinien być chroniony klapami bezpieczeństwa, aby uniknąć wzrostu ciśnienia wewnątrz płaszcza próżniowego w wyniku pęknięcia jednej z rur procesowych i wycieku helu do przestrzeni próżniowej. W tym celu powinny być zastosowane klapy bezpieczeństwa na każdym z odcinków linii (sekcji mostowej i budynkowej, rys. 6.2.1) w ilości odpowiednio dobranej do objętości helu w instalacji i objętości przestrzeni próżniowej. Dobór klap serwisowych jest obowiązkiem Wykonawcy.

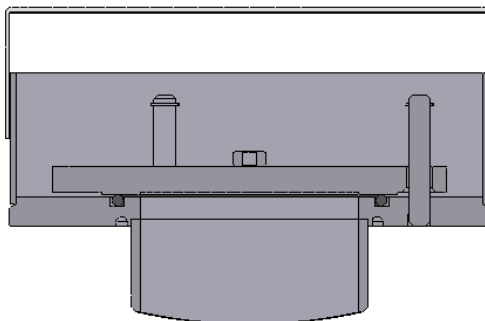
Klapy bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 6.3.6, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 13.5.

**Tabela 6.3.6. Klapy bezpieczeństwa płaszcza próżniowego linii transferowej**

Nr	Kłapa	Funkcja	$d_0$ [mm]	$T_{min}$ [K]	$m$ [g/s]	$T_{calc}$ [K]	$P_{calc}$ [bara]
1	SF TL 001	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz płaszcza próżniowego	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>
2	SF TL 002	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz płaszcza próżniowego	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

Przykład konstrukcji klapy bezpieczeństwa pokazano na rys. 6.3.6.



**Rysunek 6.3.6. Przykład konstrukcji klapy bezpieczeństwa**

### 6.3.7. PRZETWORNIKI CIŚNIENIA

Pomiar ciśnienia w linii transferowej powinien być realizowany przez czujniki zintegrowane z przetwornikami ciśnienia. Urządzenia te pozwolą na prawidłowy odczyt ciśnienia helu w każdej linii procesowej oraz kontrolę jego wartości z centrum sterowania CDS. Ponieważ ciśnienie w przewodzie powrotnym helu będzie osiągać zarówno niskie jak i wysokie wartości, dlatego na tej linii powinny zostać zainstalowane dwa przetworniki ciśnienia, po jednym dla niskiego i wysokiego zakresu pomiarowego.

Przetworniki ciśnienia powinny być zamontowane w kolektorach linii transferowej przedstawionych w rozdziale 6.3.1.

Przetworniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 6.3.7, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.1.

**Tabela 6.3.7. Przetworniki ciśnienia linii transferowej**

Nr	Przetwornik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PT TL 011	Linia zasilania helem nadkrytycznym	0 – 6
2	PT TL 021	Linia powrotu par	0 – 6
3	PT TL 022	Linia powrotu par	0 – 30x10E-3
4	PT TL 031	Linia zasilania ekranu termicznego	0 – 25
5	PT TL 041	Linia powrotna ekranu termicznego	0 – 25

### 6.3.8. WSKAŹNIKI CIŚNIENIA

Wskaźniki ciśnienia (manometry) powinny być analogowymi urządzeniami umożliwiającymi szybki odczyt ciśnienia wewnątrz linii procesowych bez potrzeby kontaktu z centrum sterowania CDS.

Wskaźniki ciśnienia powinny być zamontowane w kolektorach linii transferowej przedstawionych w rozdziale 6.3.1.

Wskaźniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 6.3.8, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.2.

**Tablica 6.3.8. Manometry linii transferowej**

Nr	Wskaźnik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PI TL 011	Linia zasilania helem nadkrytycznym	0 – 6
2	PI TL 021	Linia powrotu par	0 – 6
3	PI TL 031	Linia zasilania ekranu termicznego	0 – 25
4	PI TL 041	Linia powrotna ekranu termicznego	0 – 25

### 6.3.9. POMIAR TEMPERATURY

Czujniki temperatury, zwane termometrami, powinny pozwolić na odczyt i kontrolę temperatury helu w poszczególnych liniach procesowych i innych częściach linii transferowej. Powinny być instalowane parami w celu redundancji odczytu temperatury (jak pokazano na schemacie P&ID w załączniku I), aby uniknąć utraty sygnału i kontroli nad procesem w przypadku awarii jednego z czujników.

Czujniki temperatury powinny być zamontowane wewnątrz linii transferowej bezpośrednio na odpowiednich rurach procesowych oraz w miejscach pomiaru pokazanych na schemacie P&ID (załącznik I).

Czujniki temperatury wymieniono poniżej w tabeli 6.3.9, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.3.

**Tabela 6.3.9. Czujniki temperatury dla linii transferowej**

Nr	Czujnik temperatury	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [K]
1	TT TL 011	Linia zasilania helem nadkrytycznym	2 – 300
2	TT TL 012		
3	TT TL 013	Linia powrotu par	2 – 300
4	TT TL 014		
5	TT TL 015	Linia zasilania ekranu termicznego	40 – 300
6	TT TL 016		
7	TT TL 017	Linia powrotna ekranu termicznego	40 – 300
8	TT TL 018		

#### 6.4. WYDAJNOŚĆ HYDRAULICZNA LINII PROCESOWYCH

Maksymalne dopuszczalne spadki ciśnienia podczas przepływu helu wewnątrz linii procesowych dla CDS w nominalnych warunkach pracy podano w tabeli 6.4. W celu uzyskania konserwatywnego podejścia, masowe natężenia przepływu helu zostały zwiększone o 20% w porównaniu z nominalnymi.

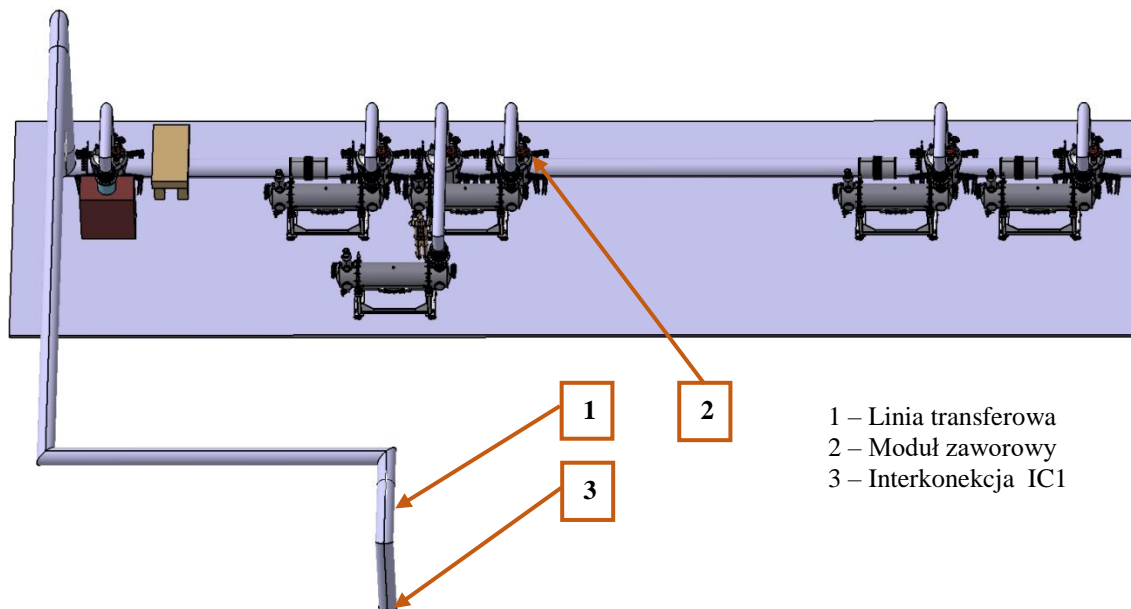
**Tabela 6.4. Maksymalne dopuszczalne spadki ciśnień podczas przepływu helu w liniach procesowych CDS dla warunków nominalnych**

Nr	Linia procesowa	Maksymalny dopuszczalny spadek ciśnienia	Strumień helu	Ciśnienie nominalne	Temperatura nominalna
1	Linia zasilania helem nadkrytycznym	50 mbar	35 g/s	4.0 bara	5 K
2	Linia powrotu par	3 mbar	35 g/s	30 mbara	3.0 – 5.0 K
3	Linia zasilania ekranu termicznego	250 mbar	25 g/s	13 bara	40 K
4	Linia powrotna ekranu termicznego	250 mbar	25 g/s	13 bara	70 K

Wartości strumieni helu przedstawione w tabeli 6.4. mają zastosowanie tylko do głównych linii procesowych w linii transferowej. Dla linii procesowych odgałęzionych wewnątrz modułów zaworowych, elementów łączących i kriomodułów, te wartości strumieni helu będą różne. Projekt CDS podczas wyznaczania rzeczywistego spadku ciśnienia w liniach procesowych powinien uwzględniać chropowatości wewnętrznych powierzchni rur oraz liczby kolanek, kształtek, elementów kompensacyjnych itp. Rzeczywisty spadek ciśnienia nie powinien przekroczyć maksymalnego dopuszczalnego spadku ciśnienia przedstawionego w tabeli 6.4. Szczególną uwagę należy zwrócić na linię powrotu par, gdzie spadek ciśnienia ma zasadnicze znaczenie dla poprawności działania chłodziarki helu.

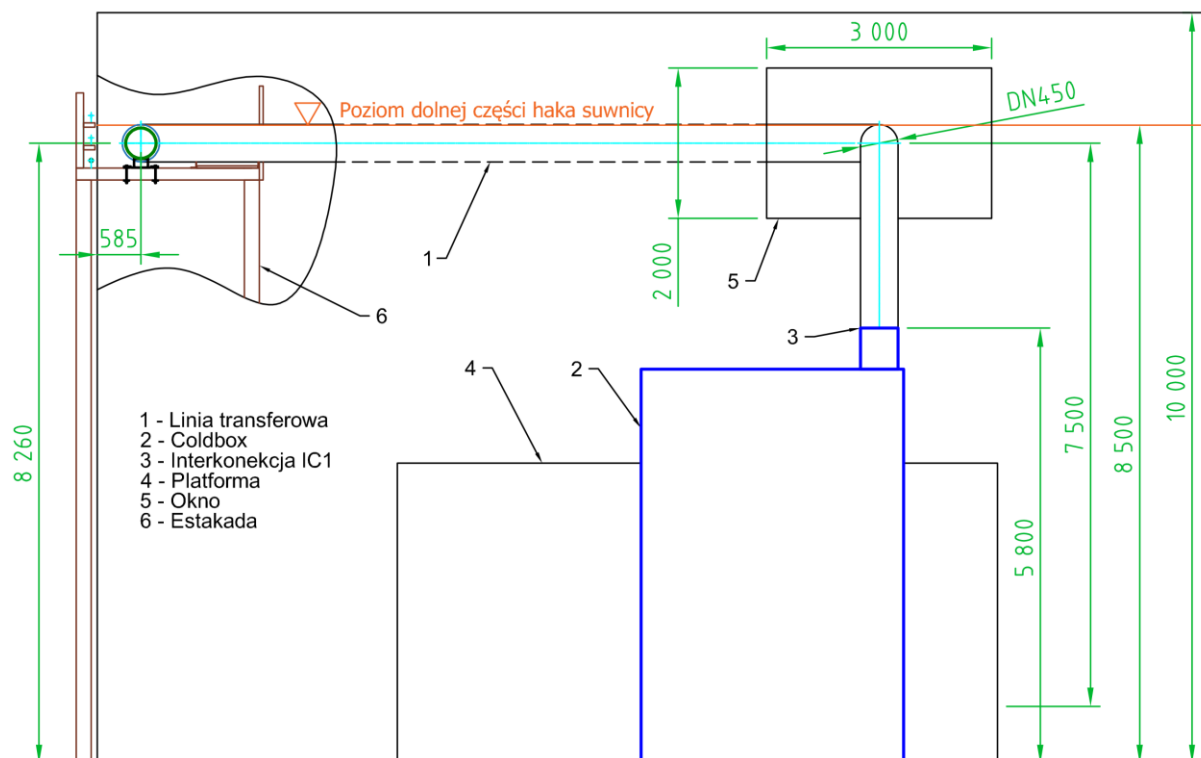
## 6.5. IC1 INTERKONEKCJA POMIĘDZY CHŁODZIARKĄ HELU A LINIĄ TRANSFEROWĄ

Linia transferowa łączy się z coldboxem chłodziarki w miejscu oznaczonym jako IC1 na rys. 6.5.1.



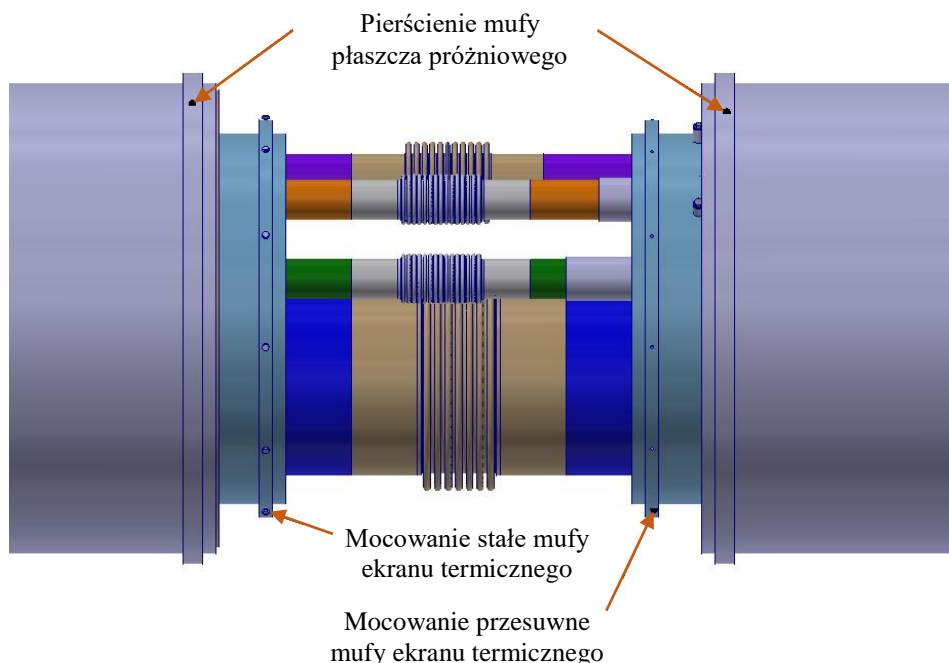
Rysunek 6.5.1. Umieszczenie IC1 pomiędzy coldboxem chłodziarki a linią transferową

Miejsce potencjalnego występowania interkonekcji IC1 przedstawiono na rys. 6.5.2.



### Rysunek 6.5.2. Budynek skraplarki helowej – miejsce występowania interkonekcji IC1

Przykładowe rozwiązanie interkonekcji pokazano na rys. 6.5.3.



### Rysunek 6.5.3. Przykład konstrukcji interkonekcji (na rysunku nie pokazano mufy ekranu termicznego ani mufy płaszcz próżniowego)

Płaszcz próżniowy powinien być wyposażony w pierścienie, do których przyspawana będzie mufa płaszcz. Płaszcz próżniowy linii transferowej powinien mieć wystarczająco dużo wolnego miejsca na zewnętrznej powierzchni, aby mufa płaszcz mogła być łatwo odsunięta i umieszczona poza obszarem roboczym w trakcie montażu.

Konstrukcja powinna zapewniać wystarczająco dużo wolnej przestrzeni, aby umożliwić spawanie rur procesowych. Na każdej rurze procesowej po połączeniu powinno zostać nawinięte co najmniej 10 warstw MLI. Wyjątkiem jest rura powrotu helu ekranu termicznego, która powinna pozostać bez izolacji MLI. Ekran termiczny powinien być wyposażony w mufę przyłączeniową umożliwiającą łatwe zakrycie miejsc spawania rur procesowych oraz umożliwiać jej łatwy demontaż w razie potrzeby. Po zamontowaniu mufy ekranu termicznego w docelowym miejscu, należy nawinąć na nią minimum 30 warstw MLI. W celu zamknięcia płaszcz próżniowego należy zastosować mufę o średnicy większej niż płaszcz zewnętrzny linii transferowej. Jeśli to możliwe, elementy łączące powinny dać się łatwo zdemontować, na wypadek zaistnienia konieczności przeprowadzenia potencjalnych napraw, rewizji itp.

## 7. MODUŁY ZAWOROWE

### 7.1. INFORMACJE OGÓLNE

Moduły zaworowe to izolowane próżniowo zbiorniki zawierające zawory kriogeniczne i wymienniki ciepła (dochładacze helu w stanie nadkrytycznym). Zadaniem modułów zaworowych jest połączenie kriomodułów z linią transferową. W modułach zaworowych następuje rozgałęzienie linii transferowych na mniejsze linie, którymi dostarczany jest hel do kriomodułów i jednocześnie którymi odbierany jest odparowany hel

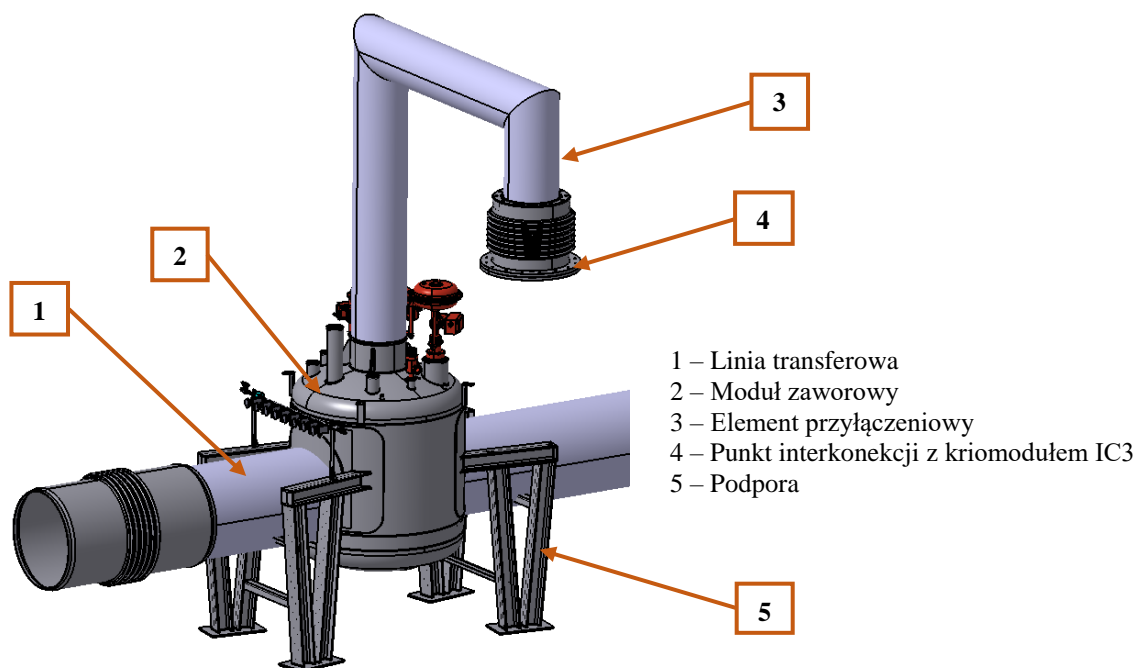
od kriomodulów i przekazywany z powrotem do linii transferowej. Głównym zadaniem modułów zaworowych jest wstępne schłodzenie helu w stanie nadkrytycznym (4 bara, 5 K) w wymienniku ciepła typu Hampson i zdławienie go do 30 mbara w celu uzyskania mieszanki helowo-parowej (83% fazy ciekłej) o temperaturze 2 K, która jest potrzebna do kriostatowania kriomodulów. Dzięki zaworom regulacyjnym, czujnikom temperatury i przetwornikom ciśnienia zainstalowanych w modułach zaworowych możliwe jest regulowanie przepływu strumienia masy helu dostarczanego do kriomodulów.

Każdy moduł zaworowy powinien być wyposażony w zawory bezpieczeństwa i płytkę bezpieczeństwa zamontowane na kolektorach podobnych do tych montowanych na linii transferowej. Urządzenia zabezpieczające powinny chronić każdą rurę procesową przed nadmiernym wzrostem ciśnienia. W celu określenia strumienia helu dostarczanego do kriomodulów, każdy z modułów zaworowych powinien być wyposażony w przepływomierz.

Moduły zaworowe powinny być wyposażone w przyłącza linii pomocniczych, które będą używane w nienominalnych warunkach pracy, np. podczas przepłukiwania instalacji. Przyłącza powinny również umożliwiać zbieranie par helu po otwarciu zaworów bezpieczeństwa. Wszystkie zawory, przetworniki i linie pomocnicze wymienione powyżej są przedstawione na głównym schemacie P&ID (załącznik I).

Połączenie modułu zaworowego z kriomodulem realizowane jest za pomocą elementu przyłączeniowego (poz. 3, rys. 7.1), którego w zależności od rodzaju modułu rozróżniane są trzy rodzaje, opisane szerzej w rozdziale 7.5. Element przyłączeniowy powinien mieć konstrukcję podobną do wielokanałowej linii transferowej, jednak ze względu na zmniejszone strumienie masowe helu, które są dostarczane do pojedynczego modułu kriogenicznego, średnice rur procesowych elementu przyłączeniowego powinny być mniejsze niż odpowiadające im linie procesowe wewnątrz linii transferowej (tabela 7.1). Element przyłączeniowy powinien być również wyposażony w dodatkowe dwie linie procesowe zasilające i odbierające hel w stanie nadkrytycznym z linii interceptowej kriomodulu, która służy do termalizacji sprzęgaczy mocy. Szczegółowy opis trybów pracy modułów zaworowych przedstawiono w rozdziale 5.1. Element przyłączeniowy powinien zostać połączony z kriomodulem za pomocą interkonekcji IC3, co pozwoli skompensować niewielkie różnice w położeniu pomiędzy modulem zaworowym a kriomodulem. Szczegółowy opis interkonekcji IC3 oraz wymagania dotyczące dopuszczalnych wartości sił przedstawiono w rozdziale 7.6.3. Widok izometryczny przykładowego modułu zaworowego pokazano na rys. 7.1.





**Rysunek 7.1. Moduł zaworowy z elementem przyłączeniowym i systemem pozycjonowania – rysunek poglądowy**

Parametry projektowe linii procesowych modułu zaworowego przedstawiono w tabeli 7.1.

**Tabela 7.1. Parametry projektowe zimnych linii procesowych modułu zaworowego**

Nr	Linia procesowa	Rozmiar	Średnica zew. [mm]	Ciśnienie projektowe [bara]	Ciśnienie robocze [bara]	Temperatura pracy [K]
1	Linia zasilania helum nadkrytycznym	DN15	21.3	18	4	5
2	Linia powrotu par	DN50	60.3	5	0.030	2
3	Linia schładzania	DN15	21.3	5	1.3	5
4	Linia interceptowa zasilanie / powrót	DN15	21.3	18	4	5
5	Linia zasilania helum 2K	DN15	21.3	5	0.030	2
6	Linia ekranu termicznego zasilanie / powrót	DN15	21.3	18	13	40/80
7	Linia odzysku	DN25	33.7	18	0 – 1.1 0 – 13	4 – 300

Dodatkowo, każdy moduł zaworowy powinien być podłączony do linii pomocniczych:

- Linia oczyszczania zasilająca
- Linia oczyszczania powrotna
- Linia zrzutowa zaworów bezpieczeństwa
- Linia osłony helowej

Mimo, iż wszystkie moduły zaworowe składają się z identycznych rur procesowych i mają taką samą zasadę działania, istnieją dwie konstrukcje modułów zaworowych w zależności od ich funkcji:

- Moduł zaworowy kriomodulu działa (rys. 7.2)
- Moduł zaworowy kriomodulów przyspieszających – moduły te oznaczone są jako moduły zaworowe 1-5 oraz moduł zaworowy kriomodulu testowego (rys. 7.3).

Wszystkie moduły zaworowe powinny posiadać podobną budowę i spełniać takie same funkcje.

Każdy z modułów zaworowych powinien zawierać następujące urządzenia:

- 8 kriogenicznych zaworów regulacyjnych
- 4 ciepłe zawory regulacyjne
- 11 ciepłych zaworów ręcznych
- 3 zawory bezpieczeństwa
- 2 płytki bezpieczeństwa
- 4 przetworniki ciśnienia
- 3 wskaźniki ciśnienia
- 9 czujników temperatury zainstalowanych redundantnie
- 1 przepływomierz
- 1 kriogeniczny zawór zwrotny
- 1 ciepły zawór zwrotny

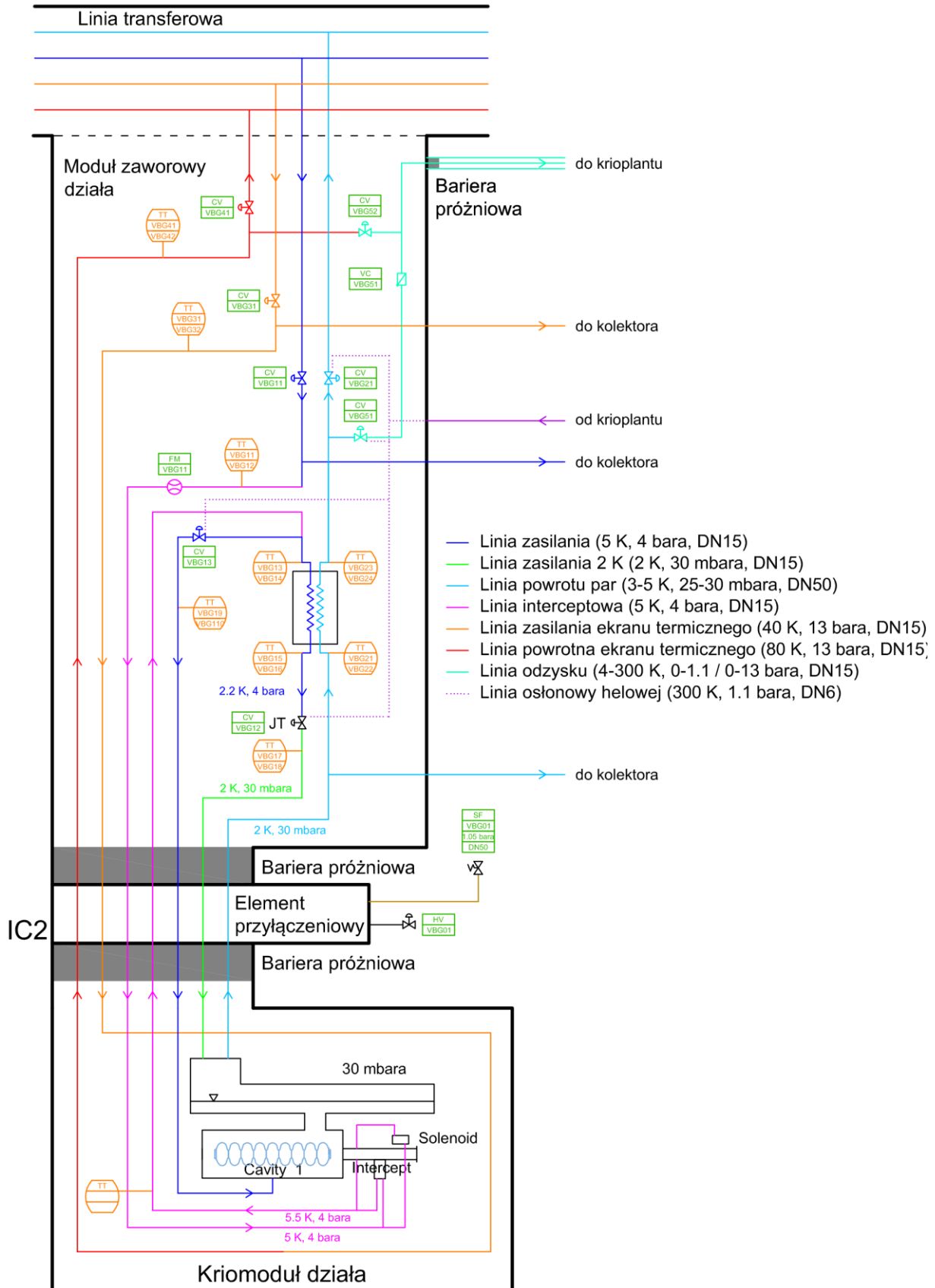
## 7.2. MODUŁ ZAWOROWY KRIOMODULU DZIAŁA

Moduł zaworowy dla kriomodulu działa to pierwszy moduł zaworowy na linii transferowej CDS. Jego zadaniem jest dostarczanie helu do kriomodulu działa poprzez element przyłączeniowy. Połączenie pomiędzy elementem przyłączeniowym modułu zaworowego a kriomodulem działa oznaczone jest jako interkonekcja IC2.

Główną różnicą między modulem zaworowym kriomodulu działa a modułami zaworowymi 1-5 jest wymiennik ciepła, który będzie mieć inną objętość i/lub konstrukcję niż wymienniki ciepła umieszczone w modułach zaworowych 1-5.

Moduł zaworowy kriomodulu działa wykorzystuje element przyłączeniowy typu JCG opisany w rozdziale 7.5.

P&ID ukazany na rys. 7.2 przedstawia przepływ helu w module zaworowym oraz przyłączonym do niego kriomodule działa, a także wskazuje w sposób uproszczony położenie elementów takich jak zawory, czujniki, wymiennik ciepła itp. Rysunek pokazuje również umiejscowienie interkonekcji IC2.



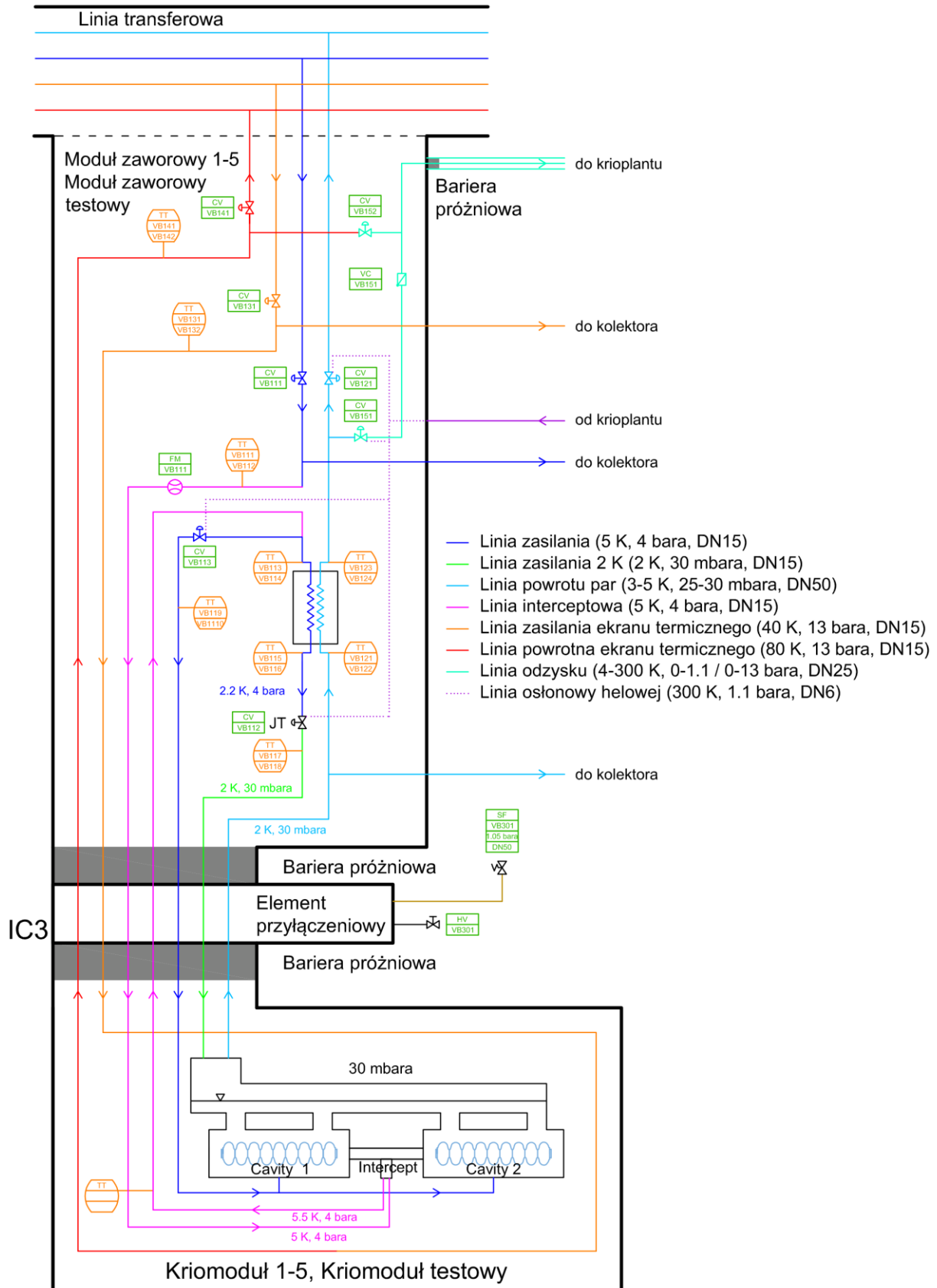
Rysunek 7.2. P&ID modułu zaworowego dział z kriomodulem dział

### **7.3. MODUŁY ZAWOROWE 1-5 ORAZ MODUŁ ZAWOROWY KRIOMODUŁU TESTOWEGO**

Moduły zaworowe 1-5 i moduł zaworowy kriomodulu testowego zasilają w hel odpowiednio kriomoduly 1-5 i kriomodul testowy poprzez element przyłączeniowy. Połączenie pomiędzy elementem przyłączeniowym modułu zaworowego a odpowiadającym mu kriomodulem oznaczone jest jako interkonekcja IC3.

Moduły zaworowe 1-5 wykorzystują element przyłączeniowy typu JCM, a moduł zaworowy kriomodulu testowego typ JCT. Oba typy elementów przyłączeniowych opisano w rozdziale 7.5.

P&ID ukazany na rys. 7.3 przedstawia przepływ helu w module zaworowym oraz przyłączonym do niego odpowiednim kriomodule (przyspieszającym lub testowym), a także wskazuje w sposób uproszczony położenie elementów takich jak zawory, czujniki, wymiennik ciepła itp. Rysunek pokazuje również umiejscowienie interkonekcji IC3.



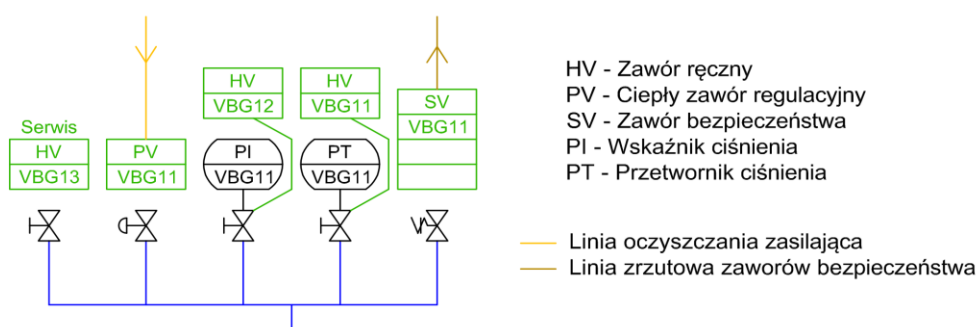
Rysunek 7.3. P&ID modułu zaworowego 1-5 z kriomodulem 1-5 (modułu testowego z kriomodulem testowym)

## 7.4. INSTRUMENTACJA

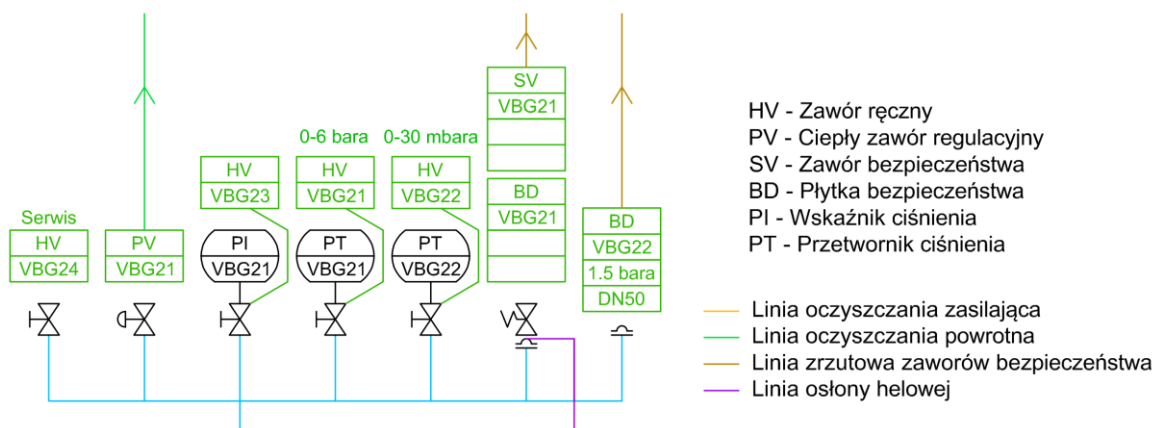
### 7.4.1. INFORMACJE OGÓLNE

Oprzeżądowanie modułów zaworowych wymieniono poniżej w tabelach 7.4.2. do 7.4.9. System identyfikacji oparty jest na zasadzie, że wszystkie moduły zaworowe będą posiadać takie same oprzeżądowanie. Aby jednoznacznie zidentyfikować dany element w obrębie całej instalacji, poszczególne urządzenia powinny posiadać identyczną część oznaczenia, zawierając dodatkowo przedrostek wskazujący na numer modułu zaworowego.

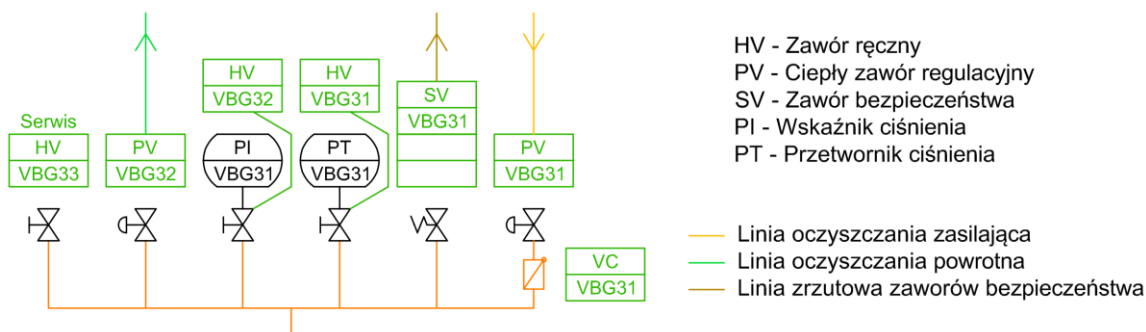
Oprzeżądowanie modułów zaworowych powinno być częściowo zamontowane wewnątrz modułów zaworowych (kriogeniczne zawory sterujące, czujniki temperatury), a częściowo poza nimi na ciepłych kolektorach, których przykłady obrazują rysunki 7.4.1. do 7.4.3.



Rysunek 7.4.1. Schemat kolektora linii zasilania helu nadkrytycznym modułu zaworowego



Rysunek 7.4.2. Schemat kolektora linii powrotu par modułu zaworowego



Rysunek 7.4.3. Schemat kolektora linii zasilania helu ekranu termicznego modułu zaworowego

#### 7.4.2. KRIOGENICZNE ZAWORY REGULACYJNE

Każdy moduł zaworowy powinien zawierać 8 kriogenicznych zaworów regulacyjnych, których zadaniem będzie sterowanie strumieniem helu.

Zawory kriogeniczne powinny być umieszczone wewnątrz przestrzeni próżniowej modułu zaworowego.

Omawiane zawory wymieniono poniżej w tabeli 7.4.2, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne zaworów opisano w rozdziale 11.1.1.

**Tabela 7.4.2. Zawory kriogeniczne dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Zawór	Umiejscowienie / Funkcja	Typ	PN	DN	Kv [m <sup>3</sup> /h]	T <sub>in</sub> [K]	m [g/s]	p <sub>in</sub> [bara]	DP [mbar]
1	CV VB x11	Linia zasilania helu nadkrytycznym / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	0.2 (0.5*)	5	5 (12*)	4.0	0.06
2	CV VB x12	Linia zasilania helu nadkrytycznym / zawór JT	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	0.06	2.2	5	4.0	3 997
3	CV VB x13	Linia zasilania helu nadkrytycznym. / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	10	0.1	5	12	4.0	2 700
4	CV VB x21	Linia powrotu par / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie otwarty	25	40	45 (5.3*)	4 (9*)	5 (12*)	30x10E-3 (1.2*)	0.45 (10*)
5	CV VB x31	Linia zasilania ekranu termicznego / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	5	40	3	13	0.3
6	CV VB x41	Linia powrotna ekranu termicznego / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie otwarty	25	15	5	45	3	12.5	0.3
7	CV VB x51	Linia odzysku powrotu par / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	25	15	4.5 - 300	7	1.2	10
8	CV VB x52	Linia odzysku ekranu termicznego / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	25	10	45 - 300	11	13	10

\* – warunki panujące w liniach procesowych podczas etapu szybkiego wychładzania kriomodulu (zaznaczono, jeżeli inne niż warunki nominalne)

### 7.4.3. CIEPŁE ZAWORY REGULACYJNE

Każdy moduł zaworowy powinien posiadać 4 zawory regulacyjne pracujące w temperaturze otoczenia, tzw. ciepłe zawory regulacyjne. Umożliwiają one zdalne sterowanie podczas napełniania linii procesowych helem, oraz odpompowywania gazu z wnętrza linii procesowych podczas procesu przedmuchu (ang. purge).

Ciepłe zawory regulacyjne powinny być zamontowane na kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 7.4.1.

Omawiane zawory wymieniono poniżej w tabeli 7.4.3, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne zaworów opisano w rozdziale 11.1.2.

**Tabela 7.4.3. Ciepłe zawory regulacyjne dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Zawór	Umiejscowienie / Funkcja	Typ zaworu	PN	DN	K <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	T <sub>in</sub> [K]	m [g/s]	p <sub>in</sub> [bara]
1	PV VB x11	Linia zasilania helem nadkrytycznym / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	4
2	PV VB x21	Linia powrotu par / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	1.3
3	PV VB x31	Linia zasilania ekranu termicznego / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13
4	PV VB x32	Linia powrotna ekranu termicznego / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

### 7.4.4. ZAWORY RĘCZNE

Zawory ręczne pełnią trzy funkcje w modułach zaworowych. Pierwszą z nich jest izolowanie urządzeń pomiarowych takich jak przetworniki ciśnienia, manometry itp. Drugą jest możliwość użycia ich jako portów serwisowych do celów takich jak testy, serwisy, przeglądy, podłączanie dodatkowych urządzeń itp. Trzecią kategorię stanowi zawór odcinający linię osłony helowej dla zaworów podciśnieniowych. Zawory ręczne pracować będą w temperaturze otoczenia.

Zawory ręczne powinny być zamontowane na kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 7.4.1.

Zawory ręczne wymieniono poniżej w tabeli 7.4.4, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.3.



**Tabela 7.4.4. Zawory ręczne dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Zawór	Linia	Typ zaworu / Funkcja	PN	DN	T <sub>in</sub> [K]
1	HV VB x11	Linia zasilania helem nadkrytycznym	ręczny, odcinający, zintegrowany z przetwornikiem ciśnienia	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
2	HV VB x21	Linia powrotu par				
3	HV VB x22	Linia powrotu par				
4	HV VB x31	Linia zasilania ekranu termicznego				
5	HV VB x12	Linia zasilania helem nadkrytycznym	ręczny, odcinający / manometr	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
6	HV VB x23	Linia powrotu par				
7	HV VB x32	Linia zasilania ekranu termicznego				
8	HV VB x13	Linia zasilania helem nadkrytycznym	ręczny, odcinający / port serwisowy	25	15	300
9	HV VB x24	Linia powrotu par				
10	HV VB x33	Linia zasilania ekranu termicznego				
11	HV VB x81	Linia zasilania helem osłonowym	ręczny, odcinający	25	10	N/A

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

#### 7.4.5. ZAWORY BEZPIECZEŃSTWA

Zimne linie procesowe każdego z modułów zaworowych wraz z kriomodułami powinny być zabezpieczone zestawem minimum 3 zaworów bezpieczeństwa przystosowanych do pracy z czynnikiem kriogenicznym. Każdy odcinek zimnych linii procesowych, w którym istnieje możliwość zamknięcia zimnego helu pod ciśnieniem, powinien być wyposażony w odpowiedni zawór bezpieczeństwa.

Zawory bezpieczeństwa powinny być zamontowane na kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 7.4.1.

Zawory bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 7.4.5, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.4.

**Tabela 7.4.5. Zawory bezpieczeństwa dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Zawór	Funkcja	d <sub>0</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	SV VB x11	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii zasilania helem nadkrytycznym	5	4.5	85	7.6	18
2	SV VB x21	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz zbiornika kriomodulu	40	2.0	165	4.9	1.3
3	SV VB x31	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii ekranu termicznego	14	40	241	45	18

#### 7.4.6. PŁYTKI BEZPIECZEŃSTWA

Oprócz zaworów bezpieczeństwa, każdy kriomoduł powinien posiadać płytki bezpieczeństwa przystosowane do pracy z czynnikiem kriogenicznym. Stanowią one dodatkowe zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem ciśnienia w kriomodułach.

Płytki bezpieczeństwa powinny być zamontowane na kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 7.4.1. Płytki bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 7.4.6, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.4.

**Tabela 7.4.6. Płytki bezpieczeństwa dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Płytki	Funkcja	d <sub>0</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	BD VB x21	Zabezpieczenie linii powrotu par przed zasysaniem powietrza przez zawór bezpieczeństwa	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>
2	BD VB x22	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz zbiornika kriomodulu	47.5	2.0	950	4.9	1.5

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

#### 7.4.7. PRZETWORNIKI CIŚNIENIA

Pomiar ciśnienia wewnątrz linii procesowych modułu zaworowego powinien być realizowany przez czujniki zintegrowane z przetwornikami ciśnienia. Urządzenia te pozwolą na prawidłowy odczyt ciśnienia helu w każdej linii procesowej oraz kontrolę jego wartości z centrum sterowania CDS. Ponieważ ciśnienie w przewodzie powrotnym helu osiąga zarówno niskie jak i wysokie wartości, dlatego na tej linii powinny zostać zainstalowane dwa przetworniki ciśnienia, po jednym dla niskiego i wysokiego zakresu pomiarowego.

Przetworniki ciśnienia powinny być zamontowane w kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 7.4.1.

Przetworniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 7.4.7, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.1.

**Tabela 7.4.7. Przetworniki ciśnienia dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Przetwornik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PT VB x11	Linia zasilania helem nadkrytycznym	0 – 6
2	PT VB x21	Linia powrotu par	0 – 6
3	PT VB x22	Linia powrotu par	0 – 30x10E-3
4	PT VB x31	Linia zasilania ekranu termicznego	0 – 25

#### 7.4.8. WSKAŹNIKI CIŚNIENIA

Wskaźniki ciśnienia (manometry) powinny być analogowymi urządzeniami umożliwiającymi szybki odczyt ciśnienia wewnątrz linii procesowych bez potrzeby kontaktu z centrum sterowania CDS.

Wskaźniki ciśnienia powinny być zamontowane w kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 7.4.1.

Wskaźniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 7.4.8, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.2.

**Tabela 7.4.8. Wskaźniki ciśnienia dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu dział), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Nr	Wskaźnik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PI VB x11	Linia zasilania helem nadkrytycznym	0 – 6
2	PI VB x21	Linia powrotu par	0 – 6
3	PI VB x31	Linia zasilania ekranu termicznego	0 – 25

#### 7.4.9. POMIAR TEMPERATURY

Czujniki temperatury, zwane termometrami, powinny pozwolić na odczyt i kontrolę temperatury helu w poszczególnych liniach procesowych i innych częściach modułów zaworowych. Powinny być instalowane parami w celu redundancji odczytu temperatury (jak pokazano na rys. 7.2 oraz 7.3), aby uniknąć utraty sygnału i kontroli nad procesem w przypadku awarii jednego z czujników.

Czujniki temperatury powinny być zamontowane bezpośrednio na odpowiednich rurach procesowych oraz w miejscach pomiaru pokazanych na rys. 7.2 oraz 7.3.

Czujniki temperatury wymieniono poniżej w tabeli 7.4.9, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.3.

**Tabela 7.4.9. Czujniki temperatury dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu dział), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego))**

Nr	Czujnik temperatury	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [K]
1 2	TT VB x11 TT VB x12	Linia zasilania helem nadkrytycznym – wlot z linii transferowej	2 – 300
3 4	TT VB x13 TT VB x14	Linia zasilania helem nadkrytycznym – wlot do wymiennika ciepła	2 – 300
5 6	TT VB x15 TT VB x16	Linia zasilania helem nadkrytycznym – wylot z wymiennika ciepła	2 – 300
7 8	TT VB x17 TT VB x18	Linia zasilania helem 2K	2 – 300
9 10	TT VB x19 TT VB x110	Linia zasilania helem nadkrytycznym – linia zalewania kriomodulu	2 – 300
11 12	TT VB x21 TT VB x22	Linia powrotu par – wlot do wymiennika ciepła	2 – 300
13 14	TT VB x23 TT VB x24	Linia powrotu par – wylot z wymiennika ciepła	2 – 300
15 16	TT VB x31 TT VB x32	Linia zasilania ekranu termicznego	40 – 300
17 18	TT VB x41 TT VB x42	Linia powrotna ekranu termicznego	40 – 300

#### 7.4.10. POMIAR PRZEPLYWU

Przeływomierze powinny umożliwiać pomiar strumienia masy helu, który dostarczany jest do każdego kriomodulu.

Domyślnym miejscem instalacji przeływomierza jest wewnątrz modulu zaworowego, co zostało przedstawione na rys. 7.2 oraz 7.3, ale dopuszcza się również montaż wewnątrz elementów przyłączeniowych modułów zaworowych.

Przeływomierz wymieniono poniżej w tabeli 7.4.10, wskazując jego główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.5.

**Tabela 7.4.10. Przeływomierze dla modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu dział), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego))**

Przeływomierz	Funkcja	Rozmiar
FM VB x01	Pomiar strumienia helu zasilającego kriomodul	DN15

#### 7.4.11. ZAWORY ZWROTNE

W modułach zaworowych powinny zostać zamontowane dwa zawory zwrotne. Pierwszy z nich, zainstalowany wewnątrz zbiornika próżniowego modułu zaworowego, ma za zadanie zabezpieczyć linię powrotu par przed wpływaniem do niej helu o wysokim ciśnieniu pochodzącym z linii zasilania ekranu termicznego. Drugi zawór zwrotny, montowany na kolektorze linii zasilania ekranu termicznego, ma za zadanie zabezpieczyć linię oczyszczania zasilającą i podłączone do niej linie przed przedostaniem się do niej helu o wysokim ciśnieniu pochodzącym z linii ekranu termicznego. Pierwszy z nich powinien być przystosowany do pracy w warunkach kriogenicznych, natomiast drugi będzie pracował w temperaturze otoczenia.

Zawory zwrotne wymieniono poniżej w tabeli 7.4.11, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.5.

**Tabela 7.4.11. Zawory zwrotne (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działła), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego))**

Nr	Zawór zwrotny	Miejsce montażu	PN	DN	T <sub>min</sub> [K]
1	VC VB x31	Kolektor linii zasilania ekranu termicznego	20	15	300
2	VC VB x51	Linia odzysku w zbiorniku modułu zaworowego	20	25	4

#### 7.5. ELEMENTY PRZYŁĄCZENIOWE MODUŁÓW ZAWOROWYCH

Element przyłączeniowy to układ sprzęgający, który umożliwi przesył helu z modułów zaworowych do kriomodułów. Każdy element przyłączeniowy powinien być z jednej strony przyspawany do modułu zaworowego, a z drugiej strony zakończony interfejsem, który w połączeniu z interfejsem po stronie kriomodulu będzie tworzyć szczelne połączenie pomiędzy modułem zaworowym a kriomodulem, IC2 (w przypadku połączenia z kriomodulem działła) lub IC3 (w przypadku połączenia z kriomodulem 1-5 lub kriomodulem testowym).

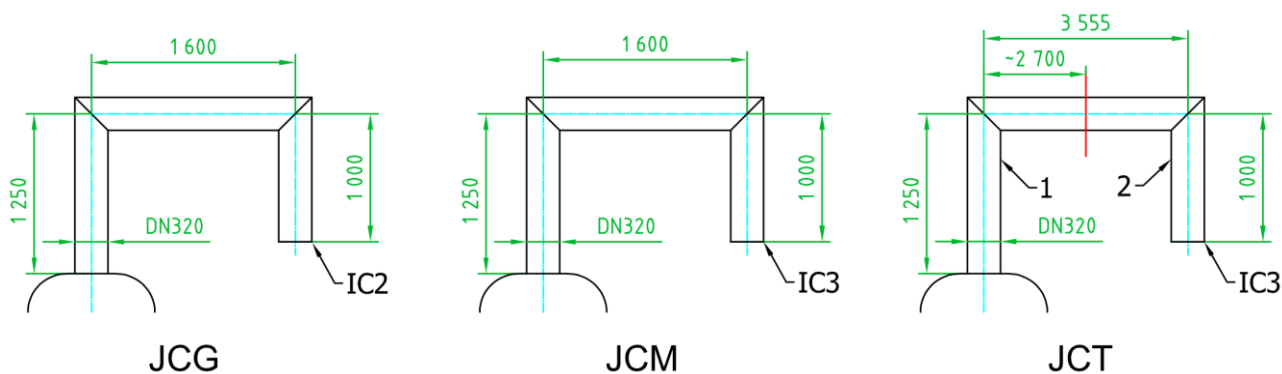
Rozróżniane są trzy typy elementów przyłączeniowych zależnie od kriomodulu jaki zasilają:

- **Element przyłączeniowy kriomodulu działła (JCG)** – połączenie pomiędzy kriomodulem działła a dopowiadającym mu modułem zaworowym działła
- **Element przyłączeniowy kriomodulu przyspieszającego (JCC)** – połączenie pomiędzy kriomodulem przyspieszającym 1-5 a dopowiadającym mu modułem zaworowym 1-5
- **Element przyłączeniowy kriomodulu testowego (JCT)** – połączenie pomiędzy kriomodulem testowym a dopowiadającym mu modułem zaworowym testowym

Zasadniczo budowa i funkcja wszystkich elementów przyłączeniowych są podobne. Elementy przyłączeniowe różnią się między sobą jedynie długością ramion i rodzajem interfejsu, jakim są zakończone po stronie kriomodulu (IC2 lub IC3).

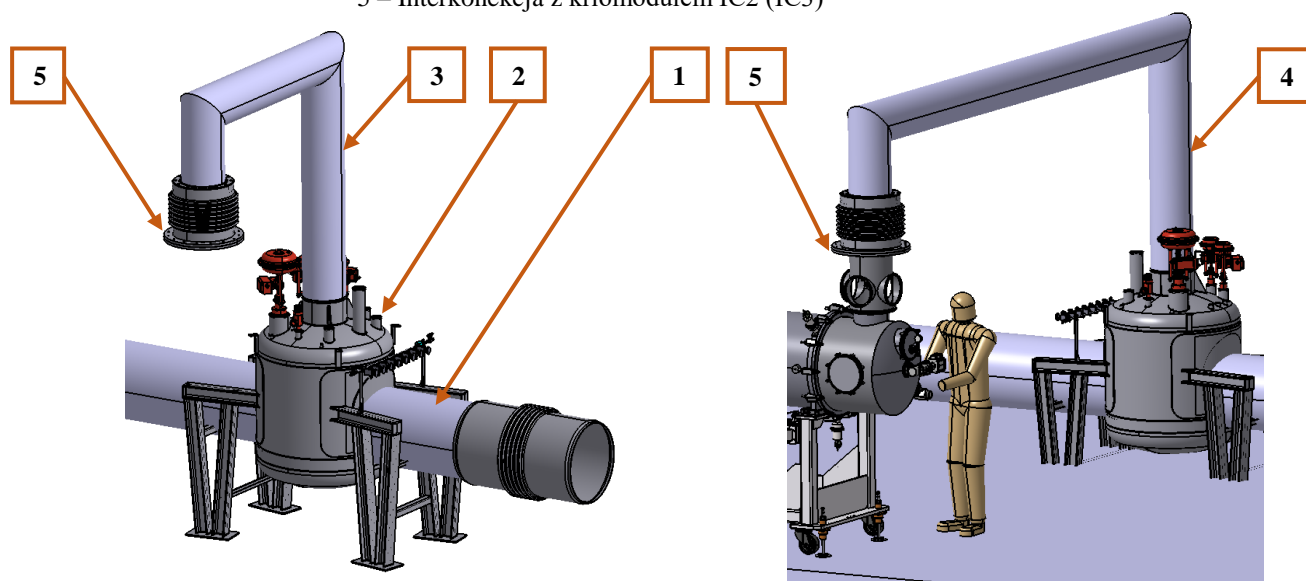
Element przyłączeniowy kriomodulu testowego posiadać będzie dodatkową funkcję, która umożliwi podłączenie różnych typów kriomodulów. Z tego względu powinien on być podzielony na dwie części. Pierwsza (od strony modułu zaworowego) powinna być połączona na stałe do modułu zaworowego, druga część powinna być demontowalna, by umożliwić jego wymianę w zależności od rodzaju podłączanego kriomodulu testowego.

Schematyczne rysunki elementów przyłączeniowym pokazano na rys. 7.5.1.



Rysunek 7.5.1. Rodzaje elementów przyłączeniowych

- 1 – Linia transferowa
- 2 – Moduł zaworowy
- 3 – Element przyłączeniowy JCG (JCM)
- 4 – Element przyłączeniowy JCT
- 5 – Interkonekcja z kriomodulem IC2 (IC3)



Rysunek 7.5.2. Widok umiejscowienia elementów przyłączeniowych na modułach zaworowych

### 7.5.1. KLAPY BEZPIECZEŃSTWA

Płaszcz próżniowy elementów przyłączeniowych powinien być z obu stron zamknięty barierą próżniową (bariera od strony kriomodulu znajduje się wewnątrz kriomodulu). Próżnia wewnątrz każdego elementu przyłączeniowego powinna być chroniona klapami bezpieczeństwa, aby uniknąć wzrostu ciśnienia wewnątrz płaszcza w przypadku pęknięcia jednej z rur procesowych i wycieku helu do przestrzeni próżniowej.

Przykład konstrukcji klapy bezpieczeństwa pokazano na rys. 6.3.6.

**Tabela 7.5.1. Klapy bezpieczeństwa dla elementów przyłączeniowych modułów zaworowych (x – G (moduł zaworowy kriomodulu działa), 1-5 (moduły zaworowe 1-5), T (moduł zaworowy kriomodulu testowego)**

Kłapa	Funkcja	$d_0$ [mm]	$T_{min}$ [K]	$m$ [g/s]	$T_{calc}$ [K]	$P_{calc}$ [bara]
SF VB x01	Zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem ciśnienia wewnątrz płaszcz próżniowego	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

## 7.5.2. PORTY POMPOWANIA PRÓŻNI

W celu umożliwienia uzyskania izolacji próżniowej, każdy element przyłączeniowy powinien być wyposażony w port KF40. Porty powinny zostać zakończone dopasowanymi zaworami próżniowymi zabezpieczone odpowiednimi zaślepkami.

## 7.6. INTERKONEKCJE

### 7.6.1. INFORMACJE OGÓLNE

Interkonekcje to części CDS, składające się z dwóch tzw. interfejsów (elementów konstrukcji danego urządzenia, które służą do połączenia z drugim urządzeniem) oraz elementu ich łączącego w postaci np. mufy lub kompensatora. Punkt w którym kończy się dane urządzenie i do którego zostanie podłączone kolejne, to tzw. punkt interfejsu.

### 7.6.2. IC2 INTERKONEKCJA POMIĘDZY KRIOMODULEM DZIAŁA A MODULEM ZAWOROWYM

Kriomoduł działa powinien zostać połączony z elementem przyłączeniowym odpowiadającego mu modułu zaworowego poprzez interkonekcję oznaczoną na rys. 6.2.1 jako IC2.

**Tabela 7.6.2. Maksymalne dopuszczalne siły działające na kriomoduł działa w punkcie interkonekcji**

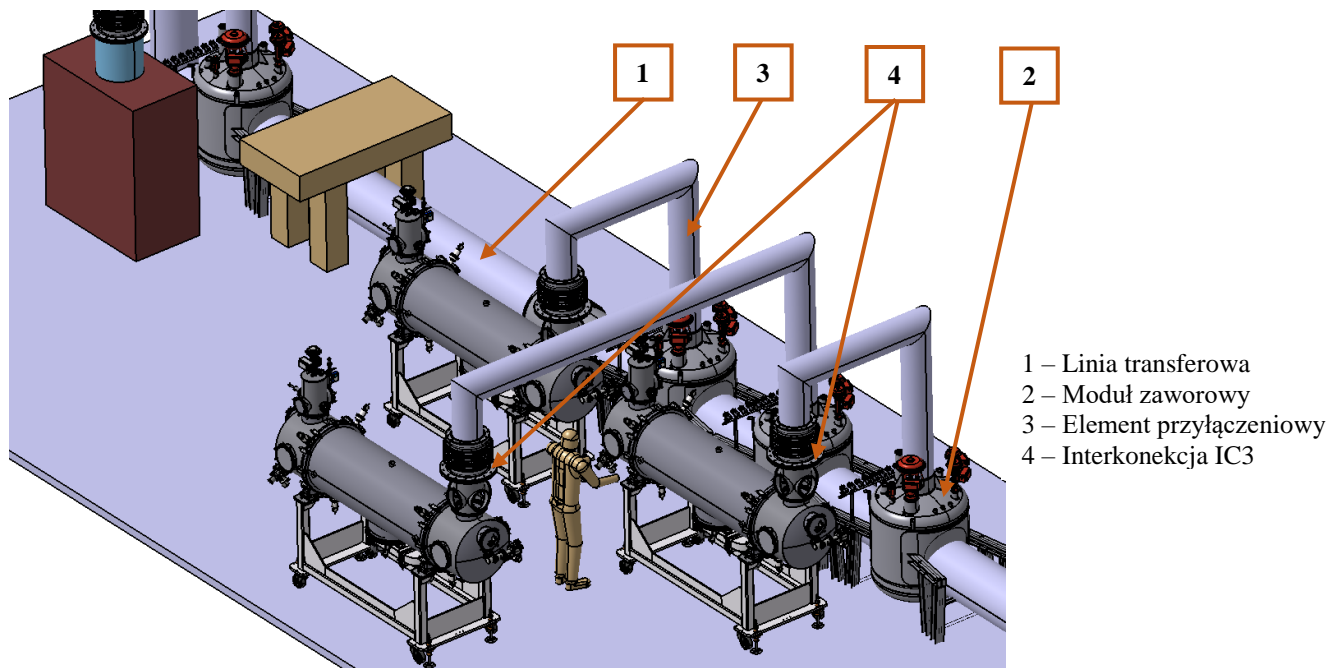
	Linie procesowe	Płaszcz próżniowy
Siły osiowe [N]	200	1 500
Siły boczne [N]	100	1 500

Decyzja o tym jak będzie wyglądała konstrukcja IC3 należy do Wykonawcy, jej szczegóły wymagają uzgodnienia z Zamawiającym. Zaleca się aby konstrukcje obu interkonekcji były możliwie do siebie zbliżone. Szczegóły interfejsu kriomodulu przedstawiono na rys. 7.6.3.2.

Rys. 7.6.3.2 przedstawia część interkonekcji od strony kriomodulu działa. Podobne rozwiązanie konstrukcyjne należy zastosować od strony elementu przyłączeniowego i połączyć ze stroną kriomodulu działa za pomocą mufy.

### 7.6.3. IC3 INTERKONEKCJA POMIĘDZY MODUŁAMI ZAWOROWYMI A KRIOMODUŁAMI

Kriomoduły 1-5 oraz kriomoduł testowy powinny być połączone z elementami przyłączeniowymi odpowiadających im modułów zaworowych poprzez interkonekcję oznaczone na rys. 6.2.1 oraz rys.7.6.3.1 jako IC3.

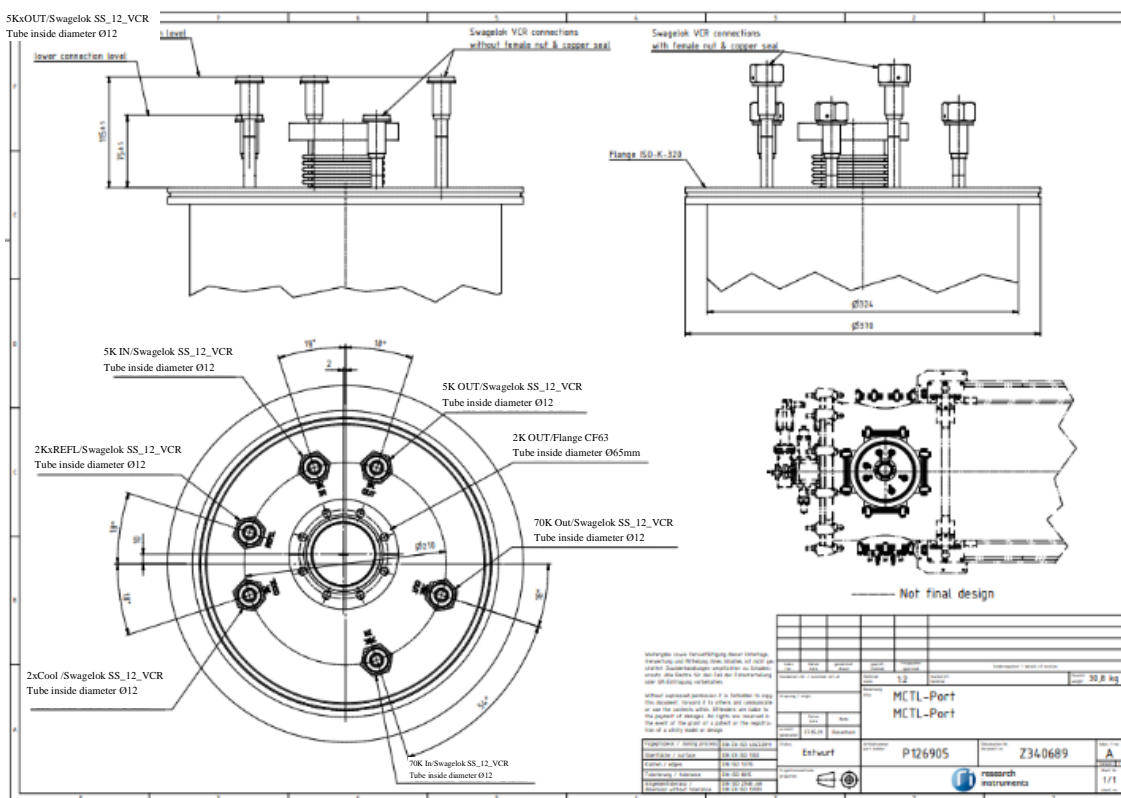


Rysunek 7.6.3.1. Umieszczenie interkonekcji IC3

Szczegółowy projekt interfejsu IC3 przedstawiono na rys. 7.6.3.2. Rysunek ten przedstawia część interkonekcji od strony kriomodułu. Podobne rozwiązanie konstrukcyjne należy zastosować od strony elementu przyłączeniowego i połączyć ze stroną kriomodułu za pomocą mufy.

Pełnowymiarowy rysunek interfejsu został przedstawiony w załączniku II do niniejszego dokumentu.





Rysunek 7.6.3.2. Interfejs przyłączeniowy interkonekcji IC2 oraz IC3 (widok od strony kriomodulu)

Połączenia wszystkich rur procesowych, z wyjątkiem rur linii powrotu par, powinny zostać wykonane za pomocą złączek Swagelok SS\_12\_VCR lub równoważnych (wymaganie producenta kriomodulu) o średnicy wewnętrznej rury 12 mm. Podłączenie rury linii powrotu par powinno być wykonane z wykorzystaniem kołnierzy CF63. Bariera próżniowa znajduje się będzie po stronie kriomodulu. Wszystkie rury procesowe muszą być wyposażone w elementy kompensacyjne, aby zmniejszyć siły wynikające z ciśnienia i skurczu termicznego. Po podłączeniu wszystkich rur procesowych należy je owinać 10 warstwami MLI. Osłona termiczna powinna być wyposażona w mufę umożliwiającą łatwe zakrycie przyłączy rur procesowych oraz łatwy demontaż w celu rewizji lub demontażu przyłączy. Po nasunięciu mufy osłony termicznej na jej ostateczne miejsce, należy ją przykryć minimum 30 warstwami MLI. W celu połączenia płaszcza próżniowego elementu przyłączeniowego z kriomodulem należy zastosować mieszek kompensacyjny, który ułatwi montaż i wyeliminuje niedokładności we wzajemnym położeniu kriomodulu i elementu przyłączeniowego. Zastosowane mieszki kompensacyjne muszą być wyposażone w pręty ograniczające siły osiowe powstające w wyniku zewnętrznego nacisku na powierzchnię korugacji. Połączenie pomiędzy płaszczem próżniowym kriomodulu a mieszkiem kompensacyjnym musi być wykonane za pomocą kołnierzy ISO-K 320 lub równoważnego. Maksymalne dopuszczalne siły dla punktu przyłączenia kriomodulu 1-5 oraz kriomodulu testowego przedstawiono w tabeli 7.6.3.

**Tabela 7.6.3. Maksymalne dopuszczalne siły działające na kriomoduł 1-5 oraz na kriomoduł testowy w punkcie interkonekcji**

	Linie procesowe	Płaszcz próżniowy
Siły osiowe [N]	200	1 500
Siły boczne [N]	100	1 500

## 8. MODUŁ ZAWRACAJĄCY

### 8.1. INFORMACJE OGÓLNE

Moduł zawracający zostanie zainstalowany na końcu linii transferowej. Jego zadaniem jest zawracanie strumienia helu wpływającego do CDS. W module zawracającym rury procesowe zasilające linię transferową przechodzą w linii powrotne kierujące hel do chłodziarki. Moduł ten pełni również funkcję buforu dla helu krążącego w obiegu podczas pracy lasera, dzięki czemu wspomagać będzie regulację pracy chłodziarki helu.

Moduł zawracający w założeniach nie posiada wymiennika ciepła ani linii interceptowej. Powinien jednak posiadać separator faz wyposażony w grzałki imitujące obciążenie cieplne lasera.

Parametry projektowe linii procesowych modułu zaworowego przedstawiono w tabeli 8.1.

**Tabela 8.1. Parametry projektowe zimnych linii procesowych modułu zawracającego**

Nr	Linia procesowa	Rozmiar	Średnica zew. [mm]	Ciśnienie projektowe [bara]	Ciśnienie robocze [bara]	Temperatura pracy [K]
1	Linia zasilania helem nadkrytycznym	DN25	33.7	18	4	5
2	Linia powrotu par	DN80	88.9	5	0.030	2
3	Linia schładzania	DN15	21.3	5	1.3	5
4	Linia zasilania helem 2K	DN15	21.3	5	0.030	2
5	Linia ekranu termicznego zasilanie / powrót	DN20	26.9	18	13	40/80
6	Linia odzysku	DN25	33.7	18	0 – 1.1 0 – 13	4 – 300

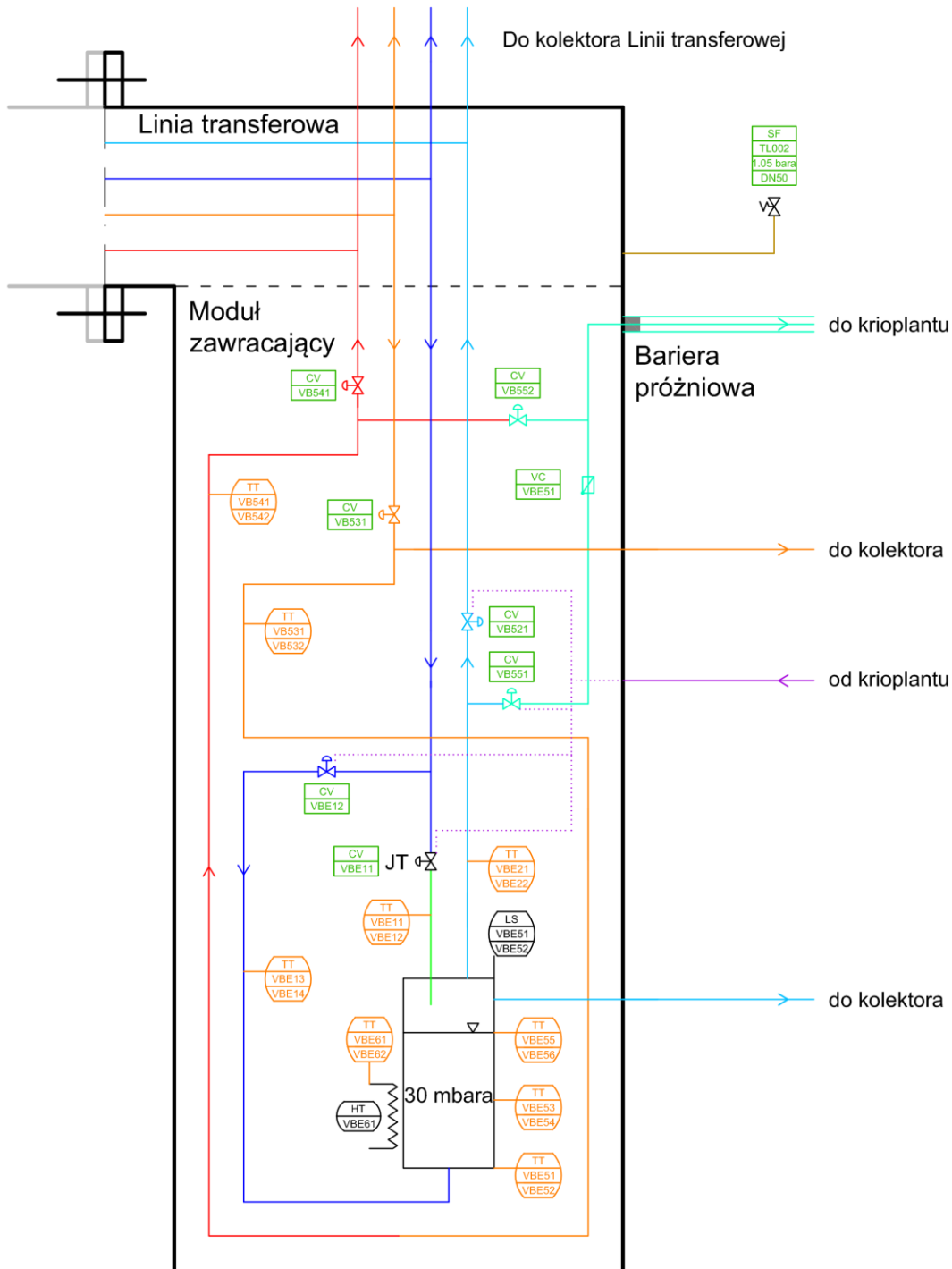
Moduł zaworowy powinien zawierać następujące urządzenia:

- 7 kriogenicznych zaworów regulacyjnych
- 4 ciepłe zawory regulacyjne
- 8 ciepłych zaworów ręcznych
- 2 zawory bezpieczeństwa
- 2 płytki bezpieczeństwa
- 3 przetworniki ciśnienia
- 2 wskaźniki ciśnienia

- 18 czujników temperatury z kopiami redundantnymi
- 1 kriogeniczny zawór zwrotny
- 1 ciepły zawór zwrotny
- 2 wskaźniki poziomu helu
- 1 grzałkę (lub więcej)

Schemat P&ID modułu zawierającego pokazano na rys. 8.1.

- Linia zasilania (5 K, 4 bara, DN25)
- Linia zasilania 2 K (2 K, 30 mbara, DN15)
- Linia powrotu par (3-5 K, 25-30 mbara, DN80)
- Linia zasilania ekranu termicznego (40 K, 13 bara, DN20)
- Linia powrotna ekranu termicznego (80 K, 13 bara, DN20)
- Linia odzysku (4-300 K, 0-1.1 / 0-13 bara, DN25)
- Linia osłony helowej (300 K, 1.1 bara, DN6)



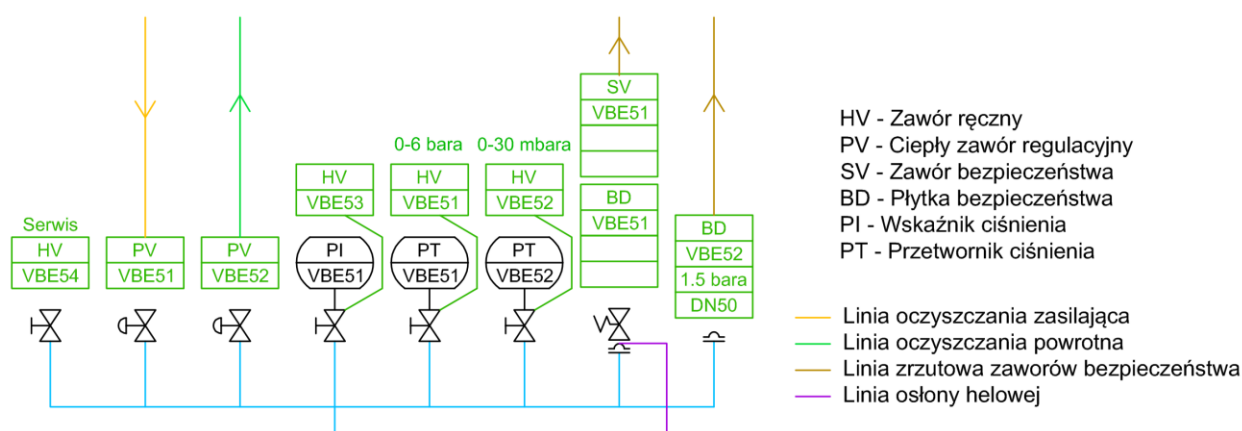
Rysunek 8.1. Schemat P&ID modułu zawracającego

Moduł zawracający jest umieszczony za modułem zaworowym 5. Jego konstrukcja powinna umożliwiać odłączenia go od linii transferowej i przeniesienia na koniec CDS w przypadku rozbudowy lasera o kolejne kriomoduly. Możliwość rozłączenia powinna polegać na odkręceniu kołnierzy łączących moduł zawracający z linią transferową lub zastosowaniu systemu muf, których konstrukcja zminimalizuje przedostawanie się zanieczyszczeń do wnętrza linii transferowej powstających wskutek rozcinania muf.

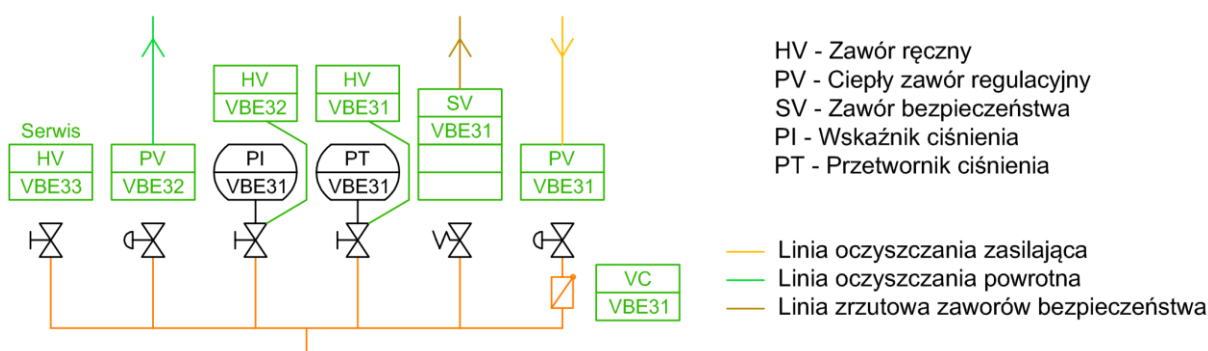
## 8.2. INSTRUMENTACJA

### 8.2.1. INFORMACJE OGÓLNE

Oprzrządowanie modułu zawracającego powinno być częściowo zamontowane wewnątrz modułu (kriogeniczne zawory regulacyjne, czujniki temperatury, grzałki, poziomowskazy) a częściowo poza nim na ciepłych kolektorach, których przykłady obrazują rysunki 8.2.1.1. oraz 8.2.1.2.



Rysunek 8.2.1.1. Schemat kolektora separatora faz



Rysunek 8.2.1.2. Schemat kolektora linii zasilania heliem ekranu termicznego modułu powrotnego

### 8.2.2. KRIogeniczne Zawory Regulacyjne

Moduł zawracający powinien zawierać 7 kriogenicznych zaworów regulacyjnych, których zadaniem będzie sterowanie strumieniem helu.

Zawory kriogeniczne powinny być umieszczone wewnątrz przestrzeni próżniowej modułu zawracającego.

Omawiane zawory wymieniono poniżej w tabeli 8.2.2, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne zaworów opisano w rozdziale 11.1.1.

**Tabela 8.2.2 . Zawory kriogeniczne dla modułu zawracającego**

Nr	Zawór	Umiejscowienie / Funkcja	Typ	PN	DN	Kv [m <sup>3</sup> /h]	T <sub>in</sub> [K]	m [g/s]	p <sub>in</sub> [bara]	DP [mbar]
1	CV VB E11	Linia zasilania helem nadkrytycznym / zawór JT	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	0.15	5	20	4.0	3 970
2	CV VB E12	Linia zasilania helem nadkrytycznym / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	20	0.15	5	20	4.0	2 700
3	CV VB E21	Linia powrotu par / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie otwarty	25	80	100	2.2	20	30E-3	0.5
4	CV VB E31	Linia zasilania ekranu termicznego / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	20	5	40	20	13	20
5	CV VB E41	Linia powrotna ekranu termicznego / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie otwarty	25	20	5	45	20	12.5	20
6	CV VB E51	Linia odzysku powrotu par / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	25	15	4.5 - 300	7	1.2	10
7	CV VB E52	Linia odzysku ekranu termicznego / zawór odcinający	kriogeniczny zawór regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	25	10	45 - 300	11	13	10

### 8.2.3. CIEPŁE ZAWORY REGULACYJNE

Moduł zawracający powinien zawierać 4 zawory regulacyjne pracujące w temperaturze otoczenia, , tzw. ciepłe zawory regulacyjne. Umożliwiają one zdalne sterowanie podczas napełniania linii procesowych helem, oraz odpompowywania gazu z wnętrza linii procesowych podczas procesu przedmuchu (ang. purge).

Ciepłe zawory regulacyjne powinny być zamontowane na kolektorach modułów zaworowych przedstawionych w rozdziale 8.2.1.

Omawiane zawory wymieniono poniżej w tabeli 8.2.3, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne zaworów opisano w rozdziale 11.1.2.

**Tabela 8.2.3. Ciepłe zawory regulacyjne dla modułu zawracającego**

Nr	Zawór	Umiejscowienie / Funkcja	Typ zaworu	PN	DN	K <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	T <sub>in</sub> [K]	m [g/s]	P <sub>in</sub> [bara]
1	PV VB E31	linia zasilania ekranu termicznego / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13
2	PV VB E32	linia zasilania ekranu termicznego / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13
3	PV VB E51	separator faz / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13
4	PV VB E52	separator faz / zawór odcinający	regulacyjny, stałoprocentowy, normalnie zamknięty	25	15	tbd <sup>1)</sup>	300	tbd <sup>1)</sup>	13

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

#### 8.2.4. ZAWORY RĘCZNE

Zawory ręczne będą pełniły trzy funkcje w module zawracającym. Pierwszą z nich jest izolowanie urządzeń pomiarowych takich jak przetworniki ciśnienia, manometry itp. Drugą jest możliwość użycia ich jako portów serwisowych do celów takich jak testy, serwisy, przeglądy, podłączanie dodatkowych urządzeń. Trzecią kategorię stanowi zawór odcinający linię osłony helowej dla zaworów podciśnieniowych. Zawory ręczne pracować będą w temperaturze otoczenia.

Zawory ręczne powinny być zamontowane na kolektorach modułu zawracającego przedstawionych w rozdziale 8.2.1.

Zawory ręczne wymieniono poniżej w tabeli 8.2.4, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.3.

**Tabela 8.2.4. Zawory ręczne dla modułu zawracającego**

Nr	Zawór	Linia	Typ zaworu / Funkcja	PN	DN	T <sub>in</sub> [K]
1	HV VB E31	Linia zasilania ekranu termicznego Separator faz Separator faz	ręczny, odcinający, zintegrowany z przetwornikiem ciśnienia	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
2	HV VB E51					
3	HV VB E52					
4	HV VB E32	Linia zasilania ekranu termicznego Separator faz	ręczny, odcinający / manometr	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
5	HV VB E53					
6	HV VB E33	Linia zasilania ekranu termicznego Separator faz	ręczny, odcinający / port serwisowy	25	15	300
7	HV VB E54					
8	HV VB E81	Linia zasilania helem osłonowym	ręczny, odcinający	25	10	tbd <sup>1)</sup>

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

### 8.2.5. ZAWORY BEZPIECZEŃSTWA

Zimne linie procesowe modułu zawracającego powinny być zabezpieczone zestawem minimum 2 zaworów bezpieczeństwa przystosowanych do pracy z czynnikiem kriogenicznym. Każdy odcinek zimnych linii procesowych, w którym istnieje możliwość zamknięcia zimnego helu pod ciśnieniem, powinien być wyposażony w odpowiedni zawór bezpieczeństwa.

Zawory bezpieczeństwa powinny być zamontowane na kolektorach modułu zawracającego przedstawionych w rozdziale 8.2.1.

Zawory bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 8.2.5, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.4.

Tabela 8.2.5. Zawory bezpieczeństwa dla modułu zawracającego

Nr	Zawór	Funkcja	d <sub>0</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	SV VB E31	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii ekranu termicznego	14	40	241	45	18
2	SV VB E51	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz separatora faz	40	2.0	165	4.9	1.3

### 8.2.6. PŁYTKI BEZPIECZEŃSTWA

Oprócz zaworów bezpieczeństwa, moduł zaworowy powinien posiadać płytki bezpieczeństwa przystosowane do pracy z czynnikiem kriogenicznym. Będą ona dodatkowym zabezpieczeniem przed nadmiernym wzrostem ciśnienia w separatorze faz.

Płytki bezpieczeństwa powinny być zamontowane na kolektorze separatora faz modułu zawracającego przedstawionego na rys. 8.2.1.1.

Płytki bezpieczeństwa wymieniono poniżej w tabeli 8.2.6, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.4.

Tabela 8.2.6. Płytki bezpieczeństwa dla modułu zawracającego

Nr	Płytki	Funkcja	d <sub>0</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	BD VB E51	Zabezpieczenie separatora faz przed zasysaniem powietrza przez zawór bezpieczeństwa	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>	tbd <sup>1)</sup>
2	BD VB E52	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz separatora faz	47.5	2.0	950	4.9	1.5

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

### 8.2.7. PRZETWORNIKI CIŚNIENIA

Pomiar ciśnienia wewnątrz linii procesowych modułu zawracającego powinien być realizowany przez czujniki zintegrowane z przetwornikami ciśnienia. Urządzenia te pozwolą na prawidłowy odczyt ciśnienia helu w każdej linii procesowej oraz kontrolę jego wartości z centrum sterowania CDS. Ponieważ ciśnienie w separatorze faz



będzie osiągnąć zarówno niskie jak i wysokie ciśnienia, dlatego dla separatora faz powinny zostać zainstalowane dwa przetworniki ciśnienia, po jednym dla niskiego i wysokiego zakresu pomiarowego.

Przetworniki ciśnienia powinny zostać zamontowane w kolektorach modułu zawierającego przedstawionych w rozdziale 8.2.1.

Przetworniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 8.2.7, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.1.

**Tabela 8.2.7. Przetworniki ciśnienia dla modułu zawierającego**

Nr	Przetwornik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PT VB E31	Linia zasilania ekranu termicznego	0 – 25
2	PT VB E51	Separator faz	0 – 6
3	PT VB E52	Separator faz	0 – 30x10E-3

#### 8.2.8. WSKAŹNIKI CIŚNIENIA

Wskaźniki ciśnienia (manometry) powinny być analogowymi urządzeniami umożliwiającymi szybki odczyt ciśnienia wewnątrz linii procesowych bez potrzeby kontaktu z centrum sterowania CDS.

Wskaźniki ciśnienia powinny być zamontowane w kolektorach modułu zawierającego przedstawionych w rozdziale 8.2.1.

Wskaźniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 8.2.8, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.2.

**Tabela 8.2.8. Wskaźniki ciśnienia dla modułu zawierającego**

Nr	Wskaźnik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PI VB E31	Linia zasilania ekranu termicznego	0 – 25
2	PI VB E51	Separator faz	0 – 6

#### 8.2.9. POMIAR TEMPERATURY

Czujniki temperatury, zwane termometrami, powinny pozwolić na odczyt i kontrolę temperatury helu w poszczególnych liniach procesowych i innych częściach modułu zawierającego. Powinny być instalowane parami w celu redundancji odczytu temperatury (jak pokazano na rys. 8.1), aby uniknąć utraty sygnału i kontroli nad procesem podczas awarii jednego z czujników.

Czujniki temperatury powinny zostać zamontowane bezpośrednio na odpowiednich rurach procesowych oraz w miejscach pomiaru pokazanych na rys. 8.1.

Czujniki temperatury wymieniono poniżej w tabeli 8.2.9, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.3.

**Tabela 8.2.9. Czujniki temperatury**

Nr	Czujnik temperatury	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [K]
1	TT VB E11	Linia zasilania helum 2K	2 – 300
2	TT VB E12		
3	TT VB E13	Linia zasilania helum nadkrytycznym – linia zalewania modułu zawracającego	2 – 300
4	TT VB E14		
5	TT VB E21	Linia powrotu par – wylot z separatora faz	2 – 300
6	TT VB E22		
7	TT VB E31	Linia zasilania ekranu termicznego	40 – 300
8	TT VB E32		
9	TT VB E41	Linia powrotna ekranu termicznego	40 – 300
10	TT VB E42		
11	TT VB E51	Separator faz – góra	2 – 300
12	TT VB E52		
13	TT VB E53	Separator faz – środek wysokości	
14	TT VB E54		
15	TT VB E55	Separator faz – dół	
16	TT VB E56		
17	TT VB E61	Grzałka	2 – 500
18	TT VB E62		

#### 8.2.10. ZAWORY ZWROTNE

W module zawracającym powinny zostać zamontowane dwa zawory zwrotne. Pierwszy z nich, zainstalowany wewnątrz zbiornika modułu zawracającego, ma za zadanie zabezpieczyć linię powrotu par przed wpływaniem do niej helu o wysokim ciśnieniu pochodzącym z linii zasilania ekranu termicznego. Drugi zawór zwrotny, montowany na kolektorze linii zasilania ekranu termicznego, ma za zadanie zabezpieczyć linię oczyszczania zasilającą i podłączone do niej linie przed przedostaniem się do niej helu o wysokim ciśnieniu pochodzącym z linii ekranu termicznego. Pierwszy z nich powinien być przystosowany do pracy w warunkach kriogenicznych, natomiast drugi będzie pracował w temperaturze otoczenia.

Zawory zwrotne wymieniono poniżej w tabeli 7.4.11, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.5.

Tabela 8.2.10. Zawory zwrotne

Nr	Zawór zwrotny	Miejsce montażu	PN	DN	T <sub>min</sub> [K]
1	VC VB E31	Kolektor linii zasilania ekranu termicznego	20	20	300
2	VC VB E51	Linia odzysku w zbiorniku modułu zawracającego	20	20	4

### 8.2.11. CZUJNIKI POZIOMU HELU

Moduł zawracający powinien być wyposażony w 2 czujniki poziomu ciekłego helu (jeden z nich będzie pełnił funkcję redundantną), zamontowanych pojedynczo i zaopatrzonych w kompletne okablowanie. Czujniki poziomu helu powinny być zainstalowane wewnątrz separatora faz.

Czujniki poziomu wymieniono poniżej w tabeli 8.2.11, a ich wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.4.

**Tabela 8.2.11. Czujniki poziomu helu**

Nr	Czujnik poziomu	Punkt pomiaru
1	LS VB E51	Separator faz
2	LS VB E52	Separator faz

### 8.2.12. GRZAŁKI

Moduł zawracający powinien być wyposażony w grzałkę lub grzałki, która pozwoli na odgrzanie/odparowanie helu zebranego w separatorze faz. Liczba grzałek potrzebnych do zapewnienia niezbędnej mocy cieplnej powinna zostać określona przez wymaganą gęstość strumienia ciepła, a także przez wartość napięcia zasilania i wymiary danego rodzaju grzałek. W najbardziej restrykcyjnej opcji grzałki powinny dostarczać wystarczającą ilość energii do helu zgromadzonego w separatorze, by symulować moc lasera w przypadku, gdy kriomoduły nie będą obciążone cieplnie i będą wyłączone z eksploatacji.

Grzałka (lub grzałki) powinna być zamontowana w łatwo dostępnym miejscu separatora faz, by umożliwić łatwą wymianę w przypadku awarii.

Grzałki wymieniono poniżej w tabeli 8.2.12, a ich wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.5.

**Tabela 8.2.12. Grzałki modułu zawracającego**

Grzałka	Punkt instalacji	Moc [W]
HT VB E61	Separator faz	tbd <sup>1)</sup>

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

## 9. LINIE POMOCNICZE

### 9.1. INFORMACJE OGÓLNE

Celem linii pomocniczych jest usuwanie gazów z CDS, dostarczanie helu do przemywania instalacji, usuwanie helu z instalacji po zdarzeniu upustowym (otwarcie zaworów bezpieczeństwa), zapewnienie atmosfery helowej dla zaworów z osłoną helową. Za wyjątkiem linii zrzutowej zaworów bezpieczeństwa, linie te wychodzą z budynku chłodziarki helu i bieżą wzdłuż linii transferowej na całej długości jej przebiegu. Rurociągi linii pomocniczych składają się z linii głównych oraz odgałęzień.

Wyróżnia się cztery linie pomocnicze:

- **Linia odzysku** – linia odprowadzająca zimne pary z pętli ekranu termicznego i pętli schładzania wnek kriomodulów
- **Linia oczyszczania zasilająca** – linia dostarczająca hel pod wysokim ciśnieniem, nieprzekraczającym 4 bara, w celu oczyszczenia instalacji i usunięcia wszelkich zanieczyszczeń oraz gazów innych niż hel.
- **Linia oczyszczania powrotna** – linia do usuwania helu po procesie przedmuchu.
- **Linia zrzutowa zaworów bezpieczeństwa** – linia do zbierania gazów z zaworów bezpieczeństwa i usuwania ich do atmosfery. Ta linia z uwagi na możliwość pojawiania się zimnego gazu wewnątrz, musi być zaizolowana izolacją próżniową ewentualnie syntetyczną izolacją termiczną przeznaczoną do izolacji rur o temp. do -200°C, wówczas warstwa izolacji powinna mieć grubość co najmniej 125 mm i być wykonana z materiału odpornego na promieniowanie określone w rozdziale 14.2.
- **Linia osłony helowej** – linia dostarczająca hel zapobiegający zanieczyszczeniu linii zrzutowej zaworów bezpieczeństwa oraz zaworów podciśnieniowych.

Parametry projektowe linii pomocniczych przedstawiono w tabeli 9.1.

**Tabela 9.1. Parametry projektowe linii pomocniczych**

Typ linii pomocniczej	Nazwa linii	Rozmiar	Średnica zew. [mm]	Ciśnienie projektowe [bara]	Ciśnienie nominalne [bara]	Temperatura nominalna [K]
Linia główna	Linia odzysku	DN80	88.9 <sup>1)</sup>	18	0 – 1.1 0 – 13	4 – 300
	Linia zrzutowa	DN200	219.1	2	1.1	4 – 300
	Linia oczyszczania zasilająca	DN25	33.7	18	4 – 13	300
	Linia oczyszczania powrotna	DN50	60.3	5	0 – 1.1	300
	Linia osłony helowej	DN25	33.7	5	1.1	300
Linia odgałęziona	Linia odzysku	DN50	60.3 <sup>2)</sup>	18	0 – 1.1 0 – 13	4 – 300
	Linia zrzutowa	DN50	60.3	2	1.1	4 – 300
	Linia oczyszczania zasilająca	DN15	21.3	18	4 – 13	300
	Linia oczyszczania powrotna	DN25	33.7	5	0 – 1.1	300
	Linia osłony helowej	DN10	13.5	5	1.1	300

1) Średnica zewnętrzna płaszczka próżniowego DN125 (133 mm)

2) Średnica zewnętrzna płaszczka próżniowego DN100 (101.6 mm)

## 9.2. INSTRUMENTACJA

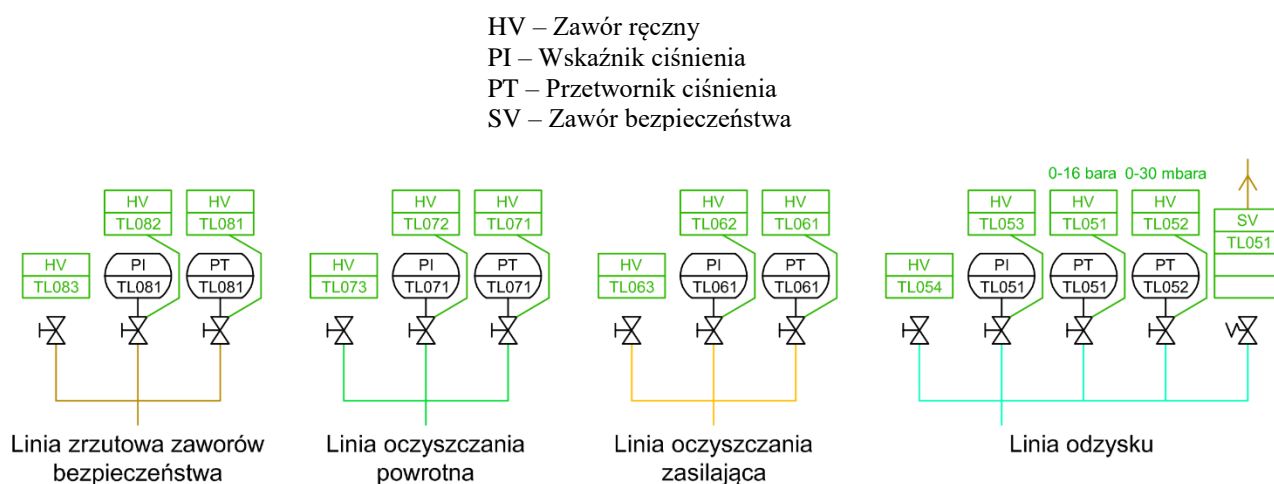
### 9.2.1. INFORMACJE OGÓLNE

Każda z linii pomocniczych powinna zostać wyposażona w następujące elementy:

- 3 ciepłe zawory ręczne
- 1 wskaźnik ciśnienia
- 1 przetwornik ciśnienia

Dodatkowo linia odzysku powinna posiadać dodatkowo przetwornik ciśnienia na zakres niskich ciśnień wraz zaworem odcinającym oraz zawór bezpieczeństwa.

Wszystkie powyższe elementy powinny być zainstalowane na kolektorach linii pomocniczych pokazanych na rys. 9.2.1.



**Rysunek 9.2.1. Schemat kolektorów linii pomocniczych: linia oczyszczania powrotna (zielony), linia oczyszczania zasilająca (żółty), linia zrzutowa zaworów bezpieczeństwa (brązowy)**

### 9.2.2. ZAWORY RĘCZNE

Zawory ręczne pełnią trzy funkcje. Pierwszą z nich jest izolowanie urządzeń pomiarowych takich jak przetworniki ciśnienia, manometry itp. Drugą jest możliwość użycia ich jako portów serwisowych do celów takich jak testy, serwisy, przeglądy, podłączanie dodatkowych urządzeń. Trzecią kategorię stanowi zawór odcinający linię osłony helowej dla linii zrzutowej zaworów bezpieczeństwa. Zawory ręczne pracować będą w temperaturze otoczenia.

Zawory ręczne powinny być zamontowane na kolektorach linii pomocniczych przedstawionych na rys. 9.2.1 oraz linii osłony helowej (załącznik I).

Zawory ręczne wymieniono poniżej w tabeli 9.2.2, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.1.3.

**Tabela 9.2.2. Zawory ręczne dla linii pomocniczych**

Nr	Zawór	Linia	Typ zaworu / Funkcja	PN	DN	T <sub>in</sub> [K]
1	HV TL 051	Linia odzysku	ręczny, odcinający, zintegrowany z przetwornikiem ciśnienia	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
2	HV TL 061	Linia oczyszczania zasilająca				
3	HV TL 071	Linia oczyszczania powrotna				
4	HV TL 081	Linia zrzutowa				
5	HV TL 052	Linia odzysku	ręczny, odcinający / manometr	25	tbd <sup>1)</sup>	N/A
6	HV TL 062	Linia oczyszczania zasilająca				
7	HV TL 072	Linia oczyszczania powrotna				
8	HV TL 082	Linia zrzutowa				
9	HV TL 053	Linia odzysku	ręczny, odcinający, port serwisowy	25	15	300
10	HV TL 063	Linia oczyszczania zasilająca				
11	HV TL 073	Linia oczyszczania powrotna				
12	HV TL 083	Linia zrzutowa				
13	HV TL 081	Linia zasilania helem osłonowym	ręczny, odcinający	25	10	N/A

1) Wartość do zdefiniowania przez Wykonawcę na podstawie projektu wykonawczego

### 9.2.3. ZAWORY BEZPIECZEŃSTWA

Zawory bezpieczeństwa linii pomocniczych są wymagane jedynie na linii odzysku oraz linii zrzutowej. Z technicznego punktu widzenia zawór dla linii zrzutowej ten powinien być klapą bezpieczeństwa zapewniającą swobodny wypływ helu w razie otwarcia dowolnego zaworu bezpieczeństwa wewnątrz CDS. W przypadku gdy wszystkie zawory bezpieczeństwa CDS pozostają zamknięte, klapa bezpieczeństwa linii zrzutowej powinna pozostać zamknięta i uniemożliwiać przedostanie się powietrza oraz innych zanieczyszczeń do wnętrza instalacji. Linia zrzutowa powinna być przez cały okres pracy wypełniona atmosferą helową pod niewielkim ciśnieniem dostarczoną przez linię osłony helowej.

Klapa bezpieczeństwa linii zrzutowej powinna być zainstalowana poza budynkiem lasera (P&ID, załącznik I) oraz rys. 10.2.

Zawory bezpieczeństwa linii pomocniczych zestawiono poniżej w tabeli 9.2.3, wskazując jej główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.4.

**Tabela 9.2.3. Zawory bezpieczeństwa linii pomocniczych**

Nr	Zawór	Funkcja	d <sub>0</sub> [mm]	T <sub>min</sub> [K]	m [g/s]	T <sub>calc</sub> [K]	P <sub>calc</sub> [bara]
1	SF TL 051	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii odzysku	27	4.5	4 600	7.9	20
2	SF TL 071	Zabezpieczenie przed nadmiernym ciśnieniem wewnątrz linii zrzutowej oraz zasysaniu powietrza do linii zrzutowej	200	4.5	10 000	5.0	1.5

#### 9.2.4. PRZETWORNIKI CIŚNIENIA

Pomiar ciśnienia wewnątrz linii pomocniczych powinien być realizowany przez czujniki zintegrowane z przetwornikami ciśnienia. Urządzenia te pozwolą na prawidłowy odczyt ciśnienia helu w każdej linii procesowej oraz kontrolę jego wartości z centrum sterowania CDS.

Przetworniki ciśnienia powinny zostać zamontowane w kolektorach linii pomocniczych przedstawionych na rys. 9.2.1.

Przetworniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 9.2.4, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.1.

Tabela 9.2.4. Przetworniki ciśnienia linii pomocniczych

Nr	Przetwornik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PT TL 051	Linia odzysku	0 – 20
2	PT TL 052	Linia odzysku	0 – 30x10E-3
3	PT TL 061	Linia oczyszczania zasilająca	0 – 20
4	PT TL 071	Linia oczyszczania powrotna	0 – 6
5	PT TL 082	Linia zrzutowa	0 – 20

#### 9.2.5. WSKAŹNIKI CIŚNIENIA

Wskaźniki ciśnienia (manometry) są analogowymi urządzeniami umożliwiającymi szybki odczyt ciśnienia wewnątrz linii pomocniczych bez potrzeby kontaktu z centrum sterowania CDS.

Wskaźniki ciśnienia powinny być zamontowane w kolektorach linii pomocniczych przedstawionych na rys. 9.2.1.

Wskaźniki ciśnienia wymieniono poniżej w tabeli 9.2.5, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.2.2.

Tabela 9.2.5. Wskaźniki ciśnienia linii pomocniczych

Nr	Wskaźnik ciśnienia	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [bara]
1	PI TL 051	Linia odzysku	0 – 20
2	PI TL 061	Linia oczyszczania zasilająca	0 – 20
3	PI TL 071	Linia oczyszczania powrotna	0 – 6
4	PI TL 081	Linia zrzutowa	0 – 20

#### 9.2.6. POMIAR TEMPERATURY

Czujniki temperatury, zwane termometrami, powinny pozwolić na odczyt i kontrolę temperatury helu w poszczególnych liniach pomocniczych. Powinny być instalowane parami w celu redundancji odczytu

temperatury, jak pokazano na P&ID w załączniku I, aby uniknąć utraty sygnału i kontroli nad procesem podczas awarii jednego z czujników.

Czujniki temperatury powinny zostać zamontowane bezpośrednio na odpowiednich rurach pomocniczych oraz w miejscach pomiaru pokazanych na schemacie P&ID (załącznik I).

Czujniki temperatury wymieniono poniżej w tabeli 9.2.6, wskazując ich główne parametry robocze. Pozostałe wymagania techniczne opisano w rozdziale 11.3.

**Tabela 9.2.6. Czujniki temperatury linii pomocniczych**

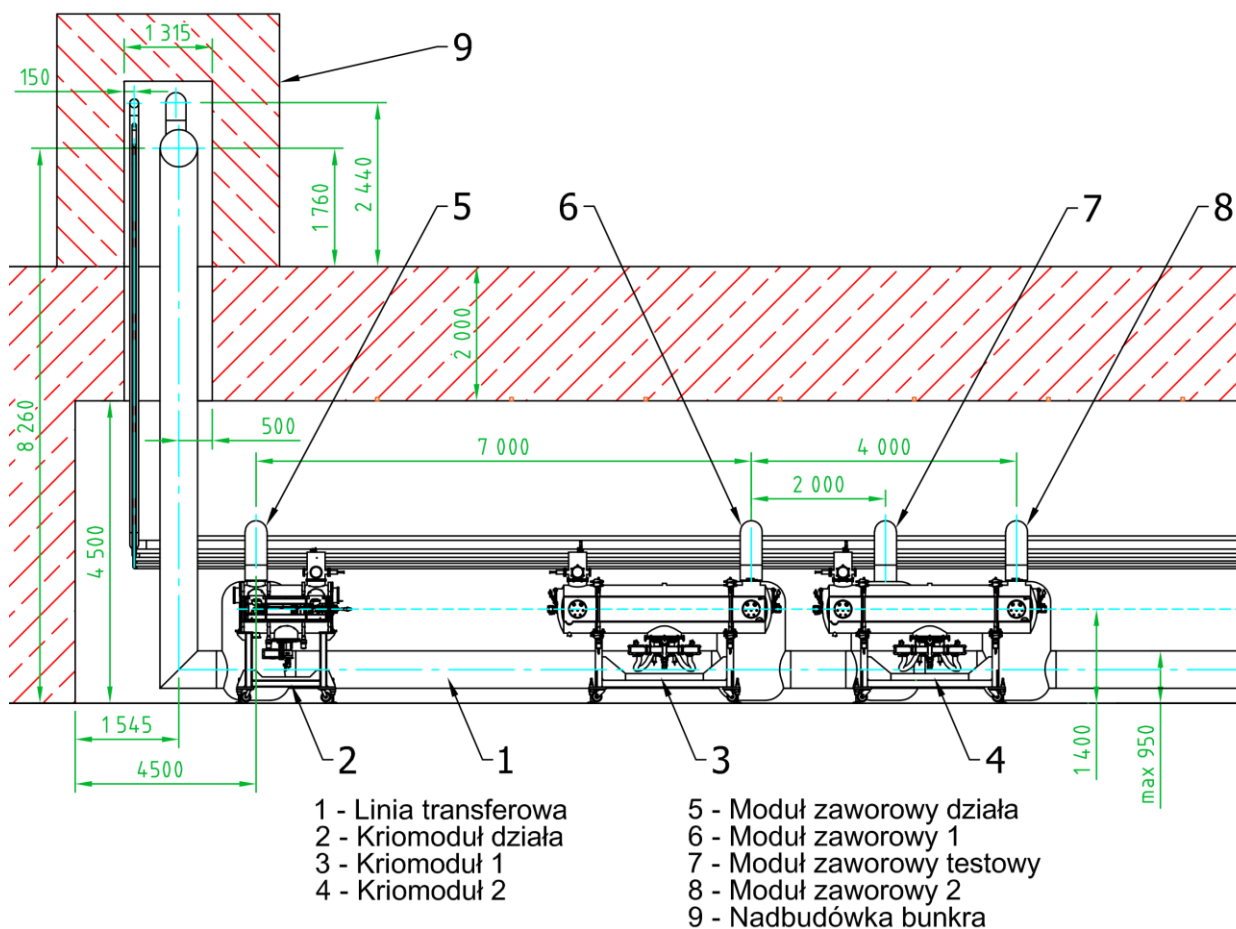
Nr	Czujnik temperatury	Punkt pomiaru	Zakres pomiarowy [K]
1 2	TT TL 051 TT TL 052	Linia odzysku	4 – 300
3 4	TT TL 061 TT TL 062	Linia oczyszczania zasilająca	273 – 300
5 6	TT TL 071 TT TL 072	Linia oczyszczania powrotna	273 – 300
7 8	TT TL 081 TT TL 082	Linia zrzutowa	4 – 300

## 10. OGRANICZENIA PRZESTRZENNE DLA KONSTRUKCJI CDS

CDS powinien zostać zaprojektowany z uwzględnieniem ograniczonej przestrzeni w budynku hali akceleratora.

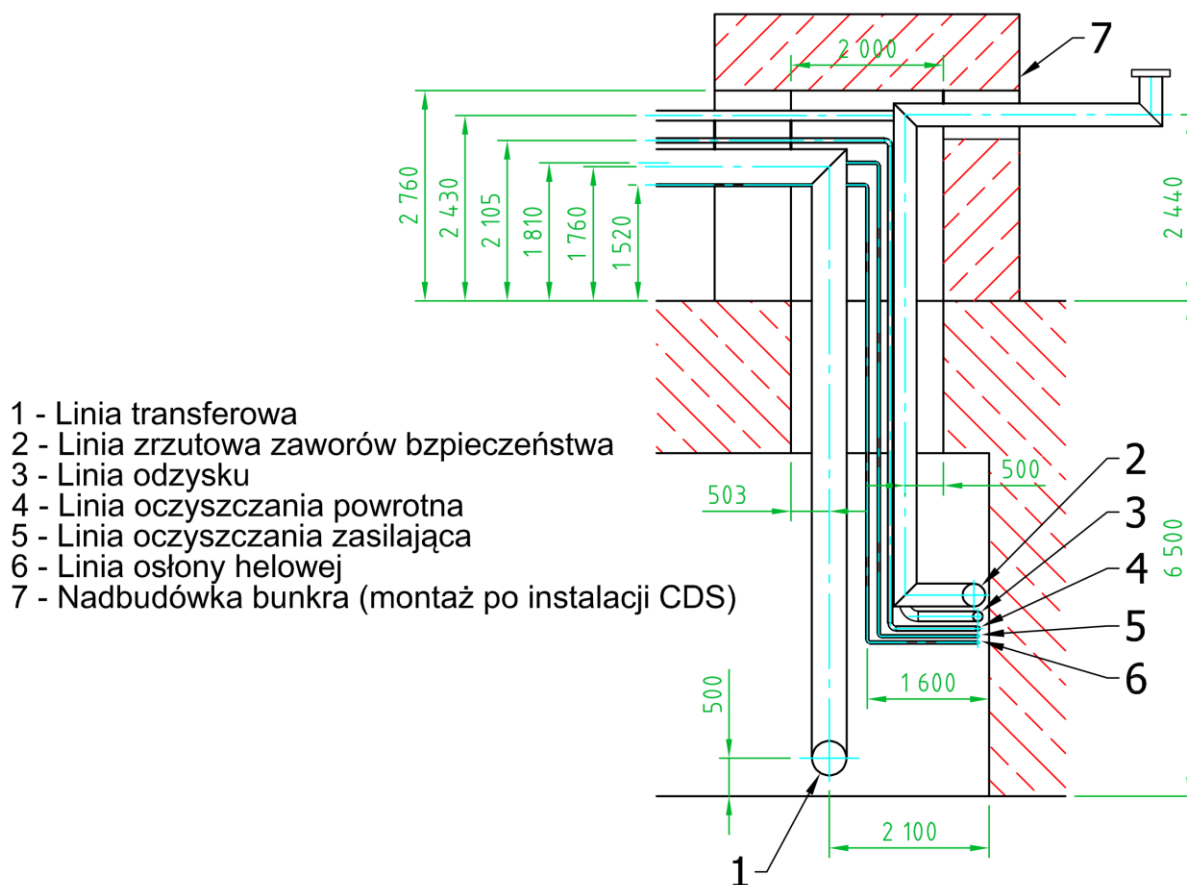
Na rys. 10.1 pokazano widok boczny dostępnej przestrzeni w hali lasera oraz miejsce wejścia linii CDS do hali poprzez nadbudówkę bunkra, która zostanie zamontowana po wykonaniu wszystkich prac instalacyjnych i testach CDS.





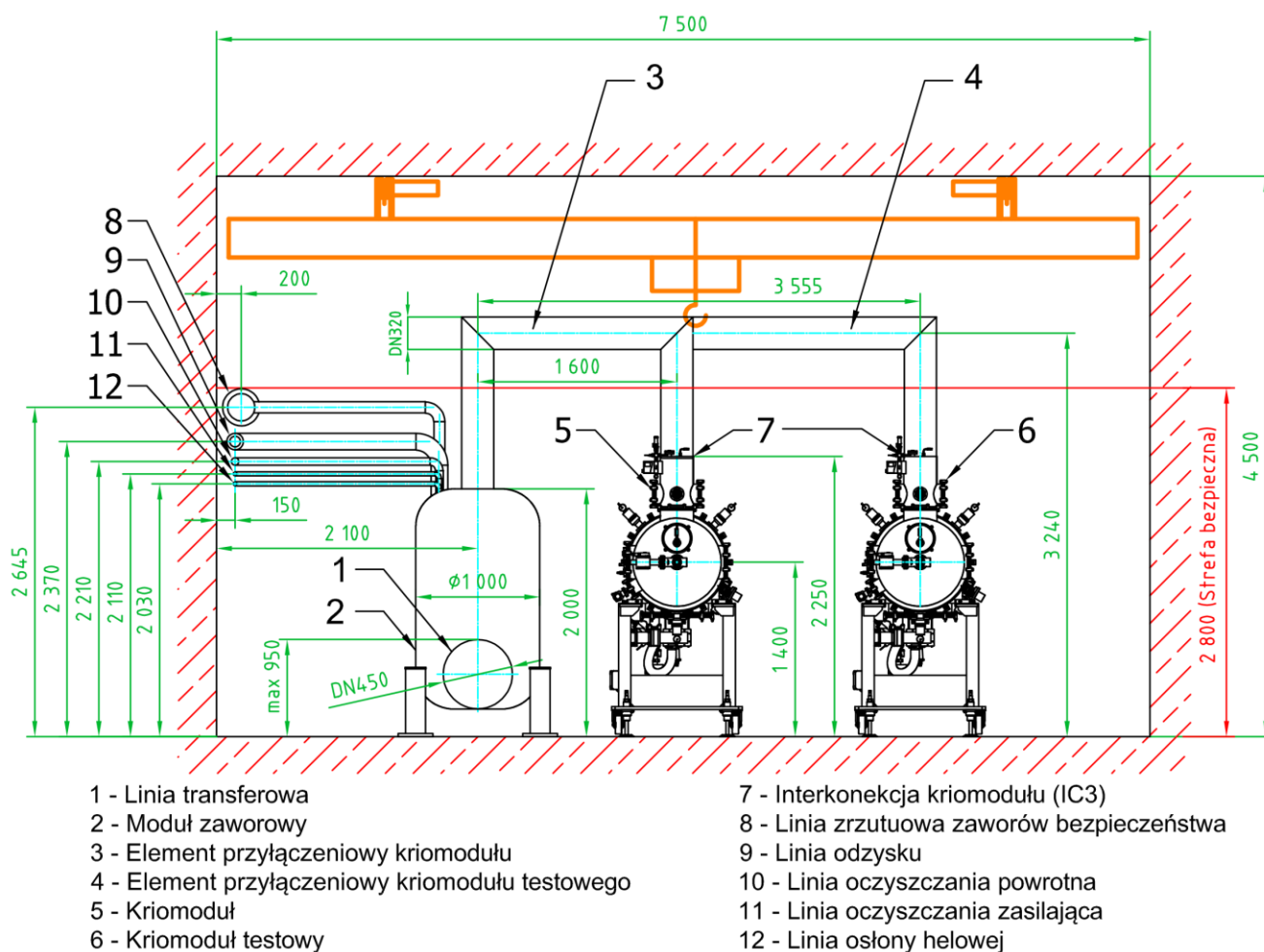
Rysunek 10.1. Widok boczny dostępnej przestrzeni dla CDS w budynku linaka

Rysunek 10.2 przedstawia przebieg linii CDS w kierunku zachodnim i południowym oraz wejście linii transferowej i linii pomocniczych do hali lasera.



Rysunek 10.2. Wyjście Widok boczny dostępnej przestrzeni dla CDS w budynku linaka

Wolna przestrzeń dla CDS w hali lasera jest ograniczona od góry suwnicą, z lewej strony przestrzenią serwisową, a z prawej konstrukcją samego lasera. Przekrój poprzeczny budynku linaka pokazano na rys. 10.3.



Rysunek 10.3. Przekrój przez budynek linaka

## 11. INSTRUMENTACJA

### 11.1. INFORMACJE OGÓLNE

Cała instrumentacja CDS powinna spełniać wymagania opisane poniżej. Można używać tylko takich urządzeń, które potwierdziły swoją przydatność w porównywalnych warunkach pracy. Za dobór urządzeń odpowiada Wykonawca, który zobowiązany jest do przedłożenia listy dobranych urządzeń w celu ich zatwierdzenia przez Zamawiającego. Zatwierdzenie przez Zamawiającego zaproponowanych urządzeń, nie zwalnia Wykonawcę od odpowiedzialności za ich poprawny dobór.

### 11.2. ZAWORY

#### 11.2.1. KRIOGENICZNE ZAWORY REGULACYJNE

Kriogeniczne zawory regulacyjne powinny być zwymiarowane wg EN 60534-2-1. Wartości Kv wykazane w tabelach rozumiane są jako wartości minimum i powinny one być zweryfikowane przez Wykonawcę. Ostateczne rozmiary zaworów wg średnic nominalnych DN mogą być różne w zależności od producentów zaworów. Jeśli średnica rury na wlocie i wylocie z zaworu różni się od nominalnych średnic zaworów, wówczas odpowiadające wartości Kvs powinny zostać dobrane zgodnie z EN 60534-2-1.

Zawory powinny posiadać siłowniki pneumatyczne i pozycjonery elektropneumatyczne ze zdalną częścią

elektroniczną, która jeśli nie jest odporna na promieniowanie, powinna być umieszczona w dedykowanej szafie elektrycznej zlokalizowanej pomieszczeniu nr 15 przylegającym do tunelu lasera. Dostawa tej szafy oraz instalacja elektronicznych systemów sterowania siłownikami należy do obowiązków Wykonawcy. Rozmiar i typ szafy musi zostać zatwierdzony przez zamawiającego.

Wszystkie zawory muszą spełniać wymagania dla zastosowania w instalacjach kriogenicznych izolowanych próżniowo przewidzianych dla temperatur helowych w zakresie od 350 K do 2.2 K. Dopuszcza się zastosowanie zaworów pracujących w zakresie od 320K do 2.2K., jednakże Wykonawca musi zagwarantować, że podczas operacji wygrzewania instalacji (np. po szokowaniu) temperatura podawanego w tym celu ciepłego gazu nie przekroczy 320K.

Kriogeniczne zawory muszą być wyposażone w pneumatyczne siłowniki membranowe jednostronnego działania, które będą zasilane sprężonym powietrzem. Siłowniki powinny wytrzymać maksymalne ciśnienie 6 bar i pracować z powietrzem w klasie 2 zgodnie z ISO 8573-1 lub równoważnej.

Wszystkie zawory powinny być zaworami analogowymi stałoprocentowymi z zakresem sterowania nie mniejszym niż 50:1.

Zawory powinny być wyposażone w przedłużone wrzeciona, których długość powinna być min. 850 mm. Korpusy zaworów muszą być połączone do rurociągów i płaszcza próżniowego za pomocą trwałych połączeń spawanych. Grubość ścianki króćca wlotowego i wylotowego nie powinna być mniejsza niż 1.5mm dla zaworów do DN10 i nie mniejsza niż 2mm dla zaworów powyżej DN10. Korpusy zaworów wraz z elementami wewnętrznymi powinny mieć konstrukcję współosiową składającą się z elementów spawanych wykonanych ze stali nierdzewnej.

Wszystkie zawory powinny zostać zaprojektowane w taki sposób, aby uwzględniać możliwość wystąpienia niewspółosiowości względem rurociągów wywołanych rozszerzaniem i kurczeniem termicznym. Elastyczne połączenia części wewnętrznych wrzeciona powinny chronić wrzeciono zaworu przed wszelkimi niewspółosiowościami wywołanymi pracą siłownika. Uszczelnienie wrzeciona powinno być wykonane przy pomocy elastycznego mieszka. Mieszek ten powinien być chroniony przed obciążeniami skręcającymi. Jego żywotność musi być przewidziana na co najmniej 10 000 pełnych cykli ruchu przy pełnym ciśnieniu projektowym. Uszczelnienie mieszkowe powinno być wzmocnione dodatkową dławnicą bezpieczeństwa z otworem prowadzącym do przestrzeni pośredniej w celu sprawdzenia szczelności. Uszczelnienie pomiędzy korpusem zaworu a jego wewnętrzną częścią powinno być typu O-ring wykonanego z materiału z EPDM lub innego odpornego na promieniowanie jonizujące opisane w rozdziale 14.2.

Zarówno uszczelnienie korpusu jak i mieszkowe powinny być umieszczone na górnym końcu zaworu w celu zapewnienia łatwego dostępu podczas konserwacji lub wymiany. Zespół wrzeciona i mieszka powinien być demontowalny od góry i umożliwiać wymianę uszczelki gniazda bez konieczności naruszania próżni układu. Uszczelka gniazd zaworów powinna być wykonana z materiałów odpornych na promieniowanie i przystosowana do pracy w niskich temperaturach do 2.2 K, takich jak np. PEEK lub równoważny. Niedopuszczalne jest stosowanie uszczelnienia typu metal-metal. Na wrzecionach powinny być zainstalowane osłony redukujące wymianę ciepła przez konwekcję.

Korpus zaworu musi być wyposażony w elementy ekranu termicznego w postaci pierścienia, trwale połączonego z korpusem. Pierścień ten musi być termicznie połączony z ekranem termicznym przy pomocy elastycznych mostków termalnych. Pierścień ekranu termicznego zaworu powinien być zamontowany na odpowiedniej wysokości, by zminimalizować dopływy ciepła do zimnego helu.

Zawory pracujące przy ciśnieniu niższym od atmosferycznym muszą być wyposażone w osłony helowe zabezpieczające przed przedostaniem się powietrza do wnętrza zaworu.

Zawory muszą być montowane w pozycji pionowej. Podczas instalacji należy przewidzieć odpowiednie procedury spawania, aby uniknąć naprężeń, które mogłyby spowodować odkształcenia plastyczne korpusów zaworów.

Zawory powinny poruszać się gładko we wszystkich możliwych warunkach pracy w całym zakresie działania mechanicznego, bez widocznych, słyszalnych i zauważalnych oznak oraz szarpnięć. Możliwe warunki eksploatacji obejmują nie tylko warunki pracy w stanie ciepłym, ale również w stanie zimnym oraz obejmują wszystkie możliwe przejścia między temperaturą pokojową a zadaną temperaturą pracy w tym także zmieniające się warunki pracy, wszelkiego rodzaju kombinacje temperatur, ciśnień i przepływów masowych w liniach procesowych.

### 11.2.2. CIEPŁE ZAWORY REGULACYJNE

Ciepłe zawory regulacyjne powinny być zwymiarowane wg EN 60534-2-1. Wartości Kv przedstawione w tabelach rozumiane są jako wartości minimum i powinny być zweryfikowane przez Wykonawcę. Ostateczne rozmiary zaworów wg średnic nominalnych DN mogą być różne w zależności od producentów zaworów. Jeśli średnica rury na wlocie i wylocie z zaworu różni się od nominalnych średnic zaworów, wówczas odpowiadające wartości Kvs powinny zostać dobrane zgodnie z EN 60534-2-1.

Zawory powinny posiadać siłowniki pneumatyczne i pozycjonery elektropneumatyczne ze zdalną częścią elektroniczną, która jeśli nie jest odporna na promieniowanie, powinna być umieszczona w dedykowanej szafie elektrycznej zlokalizowanej w pomieszczeniu nr 15 przylegającym do tunelu lasera. Dostawa tej szafy oraz instalacja elektronicznych systemów sterowania siłownikami należy do obowiązków Wykonawcy. Rozmiar i typ szafy musi zostać zatwierdzony przez zamawiającego.

Ciepłe zawory muszą być wyposażone w pneumatyczne siłowniki membranowe jednostronnego działania, które będą zasilane sprężonym powietrzem. Siłowniki powinny wytrzymać maksymalne ciśnienie 6 bar i pracować z powietrzem w klasie 2 zgodnie z ISO 8573-1 lub równoważną.

Zawory powinny posiadać trzpienie uszczelnione metalowymi mieszkami w przypadku, gdy zasadnym będzie ich zastosowanie ze względu na miejsce zainstalowania. Mieszki powinny być chronione przed obciążeniami skręcającymi. Elastyczne połączenia części wewnętrznych wrzeciona powinny chronić wrzeciono zaworu przed wszelkimi niewspółosiowościami wywołanymi pracą siłownika. Wszystkie uszczelnienia powinny być wykonane z materiału z EPDM lub innego odpornego na promieniowanie jonizujące opisanego w rozdziale 14.2. Niedopuszczalne jest stosowanie uszczelnienia typu metal-metal.

Podczas instalacji należy przewidzieć odpowiednie procedury spawania, aby uniknąć naprężeń, które mogłyby spowodować odkształcenia plastyczne korpusów zaworów.

Zawory powinny poruszać się gładko we wszystkich możliwych warunkach pracy w całym zakresie działania mechanicznego, bez widocznych, słyszalnych i zauważalnych oznak oraz szarpnięć.

### 11.2.3. ZAWORY RĘCZNE

Wszystkie zawory ręczne muszą spełniać wymagania dotyczące stosowania w instalacjach przeznaczonych dla czystego helu w temperaturze pokojowej. Zawory powinny posiadać trzpienie uszczelnione metalowymi mieszkami w przypadku, gdy zasadnym będzie ich zastosowanie ze względu na miejsce zainstalowania. Mieszki powinny być chronione przed obciążeniami skręcającymi. Uszczelnienia powinny być wykonane z EPDM lub innego odpowiedniego materiału odpornego na promieniowanie jonizujące opisanego w rozdziale 14.2.

Podczas instalacji należy przewidzieć odpowiednie procedury spawania, aby uniknąć naprężeń, które mogłyby spowodować odkształcenia plastyczne korpusów zaworów.

Zawory powinny poruszać się gładko we wszystkich możliwych warunkach pracy w całym zakresie działania mechanicznego, bez widocznych, słyszalnych i zauważalnych oznak oraz szarpnięć.

#### 11.2.4. ZAWORY BEZPIECZEŃSTWA I PŁYTKI BEZPIECZEŃSTWA

Zawory powinny być zwymiarowane zgodnie z EN 4126. Dobór zaworów bezpieczeństwa powinien zostać zweryfikowany i przeliczony przez Wykonawcę w odniesieniu do rzeczywistego projektu, a następnie zatwierdzony przez Zamawiającego.

Konstrukcja i materiał zaworów bezpieczeństwa powinny być odpowiednie dla wszystkich możliwych temperatur roboczych. Wszystkie zawory muszą być zaworami pełnoskokowymi z uszczelnieniem mieszkowym, zabezpieczonymi przed przeciekami gazu. Zawory muszą być wyposażone w narzędzia do blokowania ich otwarcia podczas prób ciśnieniowych. Zawory bezpieczeństwa muszą spełniać wymagania normy ISO 4126 lub równoważnej i posiadać odpowiednie certyfikaty i dopuszczenia wystawione przez jednostkę notyfikowaną.

Zawory powinny posiadać kołnierze przyłączeniowe po stronie wlotowej i wylotowej. Jeżeli rozmiar zaworów nie pozwala na wyposażenie ich w kołnierze, dopuszcza się przyłącza gwintowane, jednak wówczas należy zastosować dodatkowe śrubunki, które umożliwią szybką wymianę zaworów np. w przypadku ich uszkodzenia. Połączenia kołnierzowe powinny być uszczelnione płaskimi uszczelkami metalowo-grafitowymi typu JUNGTEC JG-2 lub równoważnymi.

Wszystkie zawory powinny być zamontowane w taki sposób, by były łatwo dostępne i istniała możliwość ich szybkiego zdemontowania w celu np. okresowej kalibracji. Otaczające rurociągi powinny zostać zaprojektowane w taki sposób, aby umożliwić dostęp narzędzi do obsługi zaworów.

Podany parametr  $d_0$  oznacza minimalną średnicę otworu, przez którą następuje wlot czynnika do zaworu bezpieczeństwa. Wymiary przyłączy wlotowych i wylotowych mogą zależeć od producenta zaworu i dlatego należy je odpowiednio dobrać, uwzględniając fakt, że współczynnik przepływu zaworu bezpieczeństwa nie może być mniejszy niż 0.5.

Materiał z którego zbudowane są zawory powinien być odpowiedni dla wszystkich możliwych temperatur pracy i być odporny na promieniowanie zgodnie z rozdziałem 14.2.

Płytki bezpieczeństwa powinny mieć wielowarstwową konstrukcję i być zamontowane we flanszach umożliwiających ich szybką wymianę. Zarówno płytki jak i obudowa powinny być wykonane ze stali nierdzewnej. Płytki bezpieczeństwa muszą spełniać wymagania normy ISO 4126-6 lub równoważnej.

Urządzenia odciążające, zabezpieczające płaszcz próżniowy, muszą spełniać wymagania normy EN 13458-2.

#### 11.2.5. ZAWORY ZWROTNE

Zawory zwrotne montowane wewnątrz przestrzeni próżniowej zbiorników powinny spełniać ogólne wymagania dotyczące stosowania w instalacjach kriogenicznych izolowanych próżniowo przeznaczonych do pracy z helem w temperaturach od 350 K do 2.2 K.

Zawory powinny być montowane do linii procesowych metodą spawania, niedopuszczalny jest montaż z wykorzystaniem połączeń skręcanych.

Podczas instalacji należy przewidzieć odpowiednie procedury spawania, aby uniknąć naprężeń, które mogłyby spowodować odkształcenia plastyczne korpusów zaworów.

Zawory zwrotne montowane na zewnątrz przestrzeni próżniowej zbiorników powinny spełniać ogólne

wymagania dotyczące stosowania w instalacjach przeznaczonych do pracy z helem w temperaturach powyżej 270 K.

W każdym przypadku materiały zastosowane do budowy zaworów muszą być odporne na promieniowanie określone w rozdziale 14.2

### 11.3. POMIAR CIŚNIENIA

#### 11.3.1. PRZETWORNIKI CIŚNIENIA

Przetworniki ciśnienia będą pracować w temperaturze otoczenia i muszą zostać zamontowane na zewnątrz płaszczy próżniowych elementów CDS.

Przetworniki muszą być połączone z punktami pomiarowymi przy pomocy kapilar o średnicy  $\varnothing 6 \times 1$  mm (o ile nie podano inaczej) wykonanymi z materiału jak dla innych rur procesowych.

Zastosowane przetworniki muszą być wyłącznie przetwornikami ciśnienia bezwzględnego.

Przetworniki powinny być wyposażone w standard komunikacyjny 4..20 mA. Części znajdujące się w hali lasera powinny wytrzymać promieniowanie określone w rozdziale 14.2. Przetworniki muszą być zabezpieczone przed odwróceniem biegunowości.

Błąd całkowity pomiaru, uwzględniający nieliniowość oraz histerezę, powinien być mniejszy lub równy  $\pm 0.15\%$  ustawionego zakresu. Oznacza to, że dla linii powrotu par helu, gdzie ciśnienie mierzone jest w zakresie wysokiego i niskiego ciśnienia (4 bara i 30 mbara), konieczne jest zastosowanie dwóch przetworników ciśnienia z kalibracją obejmującą odpowiednie zakresy.

Przetwornik powinien posiadać zabezpieczenie przed błędnym połączeniem przewodów zasilających (zamiana miejscami przewodów „+” i „-”). Maksymalna odchyłka długookresowa powinna być mniejsza lub równa  $\pm 0.15\%$  zakresu sensora na okres 10 lat. Całkowity czas reakcji na zmianę ciśnienia, uwzględniający również czas konwersji AD, powinien być mniejszy lub równy 250 ms (4 Hz).

Przetworniki muszą wytrzymać pełen zakres ciśnień, od podciśnienia do maksymalnego ciśnienia testowego, bez dekalibracji i jakichkolwiek uszkodzeń.

Przetworniki muszą być wyposażone w zawory procesowe (zawory odcinające) oraz przyłącza do kalibracji (odpowietrzania itp.), izolowane zaworem (kolektorem zaworowym). Otwory w kolektorach zaworowych, które nie są używane, muszą być szczelnie zaślepione odpowiednimi zaślepkami.

Wszystkie przetworniki muszą być wyposażone w zintegrowany panel i wyświetlacz LCD, który umożliwia konfigurację i odczyt wartości ciśnienia.

#### 11.3.2. WSKAŹNIKI CIŚNIENIA

Wskaźniki ciśnienia (manometry) muszą posiadać obudowę ze stali nierdzewnej. W przypadku wystąpienia drgań mechanicznych manometry powinny być wypełnione olejem silikonowym tłumiącym drgania. Wymagana klasa dokładności to minimum 1%. Wyświetlane ciśnienie musi być przedstawione w wartościach ciśnienia bezwzględnego. Minimalna dopuszczalna średnica tarczy manometru powinna być nie mniejsza niż 100 mm.

Manometry muszą być połączone do instalacji poprzez zawór odcinający, umożliwiając zdemontowanie manometru w przypadku jego naprawy lub wymiany.

#### 11.4. POMIAR TEMPERATURY

Pomiary temperatury w CDS są realizowane za pomocą czujników temperatury zwanych „termometrami”, co oznacza zespół składający się z czujnika temperatury, maty mocującej czujnik (elementów mocujących) oraz przewodów czujnika. Dla temperatur helowych należy zastosować termometry specjalnie przystosowane do tego zakresu temperatur i spełniające wymagania opisane poniżej, jednakże wszystkie termometry wchodzące w skład dostawy muszą być tego samego typu i pochodzić od tego samego producenta.

Mocowanie termometrów powinno zapewniać mocne i trwałe połączenie, niewrażliwe na częste zmiany temperatury, dobry kontakt termiczny pomiędzy powierzchnią rury a czujnikiem. Wszystkie czujniki powinny być zabezpieczone przed uszkodzeniem mechanicznym oraz przed bezpośrednim kontaktem z MLI, np. poprzez zastosowanie warstwy izolacyjnej w postaci folii kaptonowej.

Projekt mocowania czujników powinien pozwalać na łatwą wymianę termometrów w razie potrzeby. Wykonawca powinien dostarczyć pełną instrukcję wymiany termometrów.

Każdy termometr do temperatur helowych musi posiadać dokumentację sporządzoną w formie papierowej i elektronicznej do dalszego wykorzystania w systemie sterowania i monitoringu. Każda dokumentacja wraz czujnikiem powinny być jednoznacznie identyfikowalne, by można było łatwo przypisać poszczególną dokumentację do odpowiedniego czujnika, w celu uniknięcia przypadkowej zamiany. Termometry muszą być kalibrowane w całym zakresie temperatury pracy.

Termometry helowe muszą spełniać następujące wymagania:

- Stabilność długoterminowa < 15 mK @ 4.2 K / 15 lat
- Powtarzalność krótkoterminowa < 0.05% @ 4.2 K
- Dokładność < 0.05%
- Odpowiedź termiczna < 1 mS @ 4.2 K
- Czulość do 1800  $\Omega$ /K @ 4.2 K
- Błąd pola magnetycznego < 1% dla B < 6 T
- Niski błąd promieniowania neutronów < 1% dla F < 10E17 N/cm<sup>2</sup>
- Błąd promieniowania jonizującego < 1% po ekspozycji 1 MGy

Dokumentacja czujnika do zastosowań helowych powinna posiadać:

- Certyfikat kalibracji w zakresie 1.5 K – 300 K
- Zapisy eksperymentalne zawierające wszystkie dane i warunki eksperymentalne
- Wszystkie dane wielomianu interpolacji, jak np. typ wielomianu, współczynniki wielomianu itp. Funkcja powinna być podana w postaci  $T=f(R)$ , a nie odwrotnie
- Wykres funkcji  $R=f(T)$  ze wskazanymi punktami kalibracji
- Tabelę, zawierającą temperaturę i czulość ( $dR/dT$ ) dla co najmniej 150 wartości rezystancji w równych i okrągłych krokach rezystancji

Termometry pracujące w temperaturze powyżej 40 K mogą być czujnikami PT100

Przewody termometrów powinny być zabezpieczone przed zniszczeniem, przypadkowym wyrwaniem itp. Przewody te nie powinny leżeć swobodnie i być zanurzone w kąpeli helowej. Przewody powinny być podłączone do złączy elektrycznych, które następnie powinny być zamontowane na przepustach np. typu KF, uszczelnionych O-ringiem.

Termometry oraz towarzyszące im komponenty, takie jak przewody elektryczne, elementy mocujące, uszczelnienia, złącza elektryczne, uszczelnienia itp. muszą spełniać wymagania dotyczące odporności na promieniowanie opisane w rozdziale 14.2.



Układ pinów złączy elektrycznych powinien być jest jednoznaczny i możliwy do zidentyfikowania zgodnie ze schematem alokacji dostarczonym przez Wykonawcę.

### 11.5. POMIAR PRZEPLYWU

Przeływomierze powinny być montowane do linii procesowej metodą spawania, niedopuszczalny jest montaż z wykorzystaniem połączeń skręcanych. Elementy metalowe powinny być wykonane ze stali nierdzewnej w odpowiednim gatunku, zgodnie z wymaganiami w rozdziale 13.2.

Część elektroniczna powinna być wyprowadzona poza płaszczyznę próżniową i w razie konieczności poza strefę promieniowania.

Skumulowany błąd pomiarowy przeływomierzy powinien być nie większy niż 1%, potwierdzony badaniami akredytowanymi zgodnie z EN ISO/IEC 17025 lub równoważną.

Przeływomierze oraz towarzyszące im komponenty, takie jak przewody elektryczne, elementy mocujące, uszczelnienia, złącza elektryczne, uszczelnienia itp. muszą spełniać wymagania dotyczące odporności na promieniowanie opisane w rozdziale 14.2.

Układ pinów złączy elektrycznych powinien być jest jednoznaczny i możliwy do zidentyfikowania zgodnie ze schematem alokacji dostarczonym przez Wykonawcę.

### 11.6. CZUJNIKI POZIOMU

Czujniki poziomu helu muszą być oparte o technologię nadprzewodnikową. Nominalnie przewidziano, że tylko jeden czujnik będzie pełnił główną funkcję pomiarową, a drugi czujnik będzie redundantny. Czujniki powinny być montowane w taki sposób, aby aktywna długość czujników pokrywała się z pełnym zakresem kontrolowanego poziomu. Skumulowany błąd pomiarowy czujników powinien być nie większy niż 0.5% (w razie potrzeby należy zapewnić krzywe korekcyjne).

Sposób montażu czujników poziomu powinien pozwalać na ich łatwą wymianę. Oba czujniki poziomu powinny być zainstalowane w rurze osłonowej i zamocowane możliwie najbliżej górnej i dolnej części naczynia w którym dokonywany będzie pomiar. Rury osłonowe służą jako podpora mechaniczna dla czujników i ochrona przed rozpryskami helu. Rury osłonowe powinny posiadać otwory wywiercone równomiernie na całej długości rury. Sposób montażu czujników powinien pozwolić na ich montaż bez konieczności chwytania za przewody w trakcie opuszczania czujników do rur osłonowych.

Przewody elektryczne obu czujników poziomu powinny być zabezpieczone przed zniszczeniem, przypadkowym wyrwaniem itp. Przewody te nie powinny leżeć swobodnie i być zanurzone w kąpeli helowej. Przewody powinny być podłączone do złączy elektrycznych, które następnie powinny być zamontowane na przepustach np. typu KF, uszczelnionych O-ringiem.

Czujniki poziomu oraz towarzyszące im komponenty, takie jak przewody elektryczne, elementy mocujące, uszczelnienia, złącza elektryczne, uszczelnienia itp. muszą spełniać wymagania dotyczące odporności na promieniowanie opisane w rozdziale 14.2.

Układ pinów złączy elektrycznych powinien być jest jednoznaczny i możliwy do zidentyfikowania zgodnie ze schematem alokacji dostarczonym przez Wykonawcę.

### 11.7. GRZAŁKI

Konstrukcja i materiał grzałki (lub grzałek) powinny być odpowiednie dla ich pracy we wszystkich możliwych temperaturach pracy. Powierzchnia czynna grzałki musi być dobrana w taki sposób, aby gęstość strumienia ciepła

nie przekraczała 1 W/cm<sup>2</sup>. Jeśli grzałka będzie instalowana wewnątrz zbiornika z helem, wówczas powinno się ją umieścić poziomo, jak najbliżej dna zbiornika. Jeśli grzałka będzie instalowana pionowo, wówczas powinna zostać umieszczona przy dnie zbiornika helowego, a jej długość czynna powinna być całkowicie zakryta ciekłym helem przy poziomie napełnienia nie przekraczającym 30%.

Grzałki powinny być wyposażone w co najmniej dwa czujniki temperatury, które będą monitorować temperaturę powierzchni grzałek i chronić układ przed uszkodzeniami, m.in. przed przegrzaniem.

Każda grzałka i każdy czujnik temperatury kontrolujący parametry grzałki powinny być podłączone do złączy elektrycznych umieszczonych w pokrywie lub ścianach płaszcza próżniowego. Grzałki i czujniki temperatury powinny być podłączone do osobnych złączy. Również prowadzenie przewodów elektrycznych powinno mieć osobne trasy odseparowujące przewody grzałek od przewodów czujników temperatury. Przewody powinny być podłączone do złączy elektrycznych, które następnie powinny być zamontowane na przepustach np. typu KF lub innych zapewniających możliwość weryfikacji podłączenia od strony procesowej.

Grzałki oraz wszystkie związane z nimi komponenty, jak np. czujniki temperatury, przewody, złącza elektryczne, uszczelnienia itp. muszą spełniać wymagania dotyczące odporności na promieniowanie opisane w rozdziale 14.2.

Układ pinów złączy elektrycznych powinien być jest jednoznaczny i możliwy do zidentyfikowania zgodnie ze schematem alokacji dostarczonym przez Wykonawcę.

## 12. SYSTEM STEROWANIA I KONTROLI

System Sterowania i kontroli CDS nie należy do przedmiotu dostawy. Zrealizuje go Zamawiający w oparciu o dokumentację techniczną dostarczoną przez Wykonawcę. W tym celu na etapie tworzenia projektu wykonawczego Wykonawca sporządzi kompletną listę wymagających sterowania elektronicznego elementów pomiarowo-kontrolnych wchodzących w skład systemu CDS, wraz ze specyfikacją ich interfejsów komunikacyjnych. W szczególności lista ta obejmie:

- zawory regulacyjne lub/i układy sterowania zaworami,
- grzałki,
- przetworniki ciśnienia,
- przetworniki temperatury,
- czujniki przepływu,
- wszystkie inne czujniki oraz urządzenia którymi należy sterować w czasie normalnej eksploatacji systemu CDS, które są z nim bezpośrednio zintegrowane.

Powyższe wymaganie nie dotyczy elementów instalacji, które są wykorzystywane tylko przy doraźnych pracach konserwacyjnych i w specjalnych przypadkach, np. zawory ręczne, analogowe wskaźniki ciśnienia (manometry), zawory bezpieczeństwa, itp.

Na etapie instalacji systemu CDS Zamawiający zapewni elektroniczne układy pomiarowo-kontrolne (montowane w szafach rack w osobnym pomieszczeniu) do odczytu ww. elektronicznych czujników zintegrowanych w instalacji CDS oraz do sterowania wybranymi urządzeniami CDS, takimi jak np. zawory regulacyjne czy grzałki.

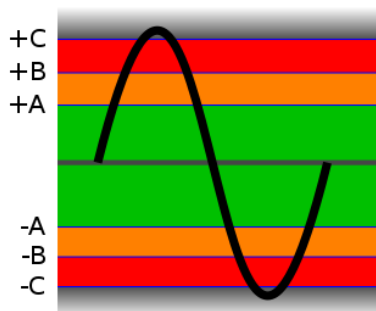
Wykonawca dostarczy w ramach dokumentacji technicznej (patrz. p. 18) szczegółowe procedury (algorytmy) sterowania instalacją CDS dla poszczególnych trybów pracy wymienionych w p. 5.1. Opis procedury obsługi CDS dla każdego trybu pracy powinien zawierać:

- listę stanów w jakich może się znaleźć instalacja CDS,
- graf przejść pomiędzy ww. stanami,
- dla każdego stanu: warunki (w odniesieniu do odczytów wybranych czujników), kiedy następuje przejście do innych stanów,
- dla każdego stanu: wartości/nastawy dla wybranych urządzeń sterujących (np. zaworów czy grzałek)

Układ CDS, jako autonomiczny system powinien działać zgodnie z założonymi zasadami. Zasady te w formie algorytmów powinny zostać dostarczone Zamawiającemu. Na bazie otrzymanych algorytmów Zamawiający będzie mógł opracować własny system sterowania. Na potrzeby opracowania algorytmów Zamawiający udostępni Wykonawcy informacje związane ze sposobem działania systemu skraplania helu oraz kriomodułów. Informacje te umożliwią Wykonawcy opracowanie algorytmów sterowania. Algorytmy powinny zawierać oprócz podstawowych informacji również te związane z granicznymi wartościami czujników oraz przetworników. Szczegółowe wymagania dotyczące wymagań w kwestii parametryzacji czujników oraz przetworników opisano poniżej. Testy uruchomieniowe systemu sterowania opracowanego na podstawie danych otrzymanych od Wykonawcy odbędą się pod nadzorem upoważnionego przedstawiciela Wykonawcy. Na żądanie Wykonawcy, Zamawiający przedstawi szczegółowy opis zaimplementowanego systemu sterowania.

Dla każdego czujnika obsługiwanego przez system sterowania i kontroli Wykonawca określi następujące zakresy wartości (rys. 12.1) - o ile mają one zastosowanie dla danego czujnika:

- Zakres pracy normalnej [-A, +A]
- Zakres ostrzegawczy [-B, +B] - Wartość wykracza poza założony zakres pracy normalnej, ale nie powoduje to negatywnych skutków i nie wymaga podejmowania akcji, poza zasygnalizowaniem takiego zdarzenia,
- Zakres alarmowy [-C, +C] - Wartość wykracza poza założony zakres pracy normalnej, ew. negatywne skutki takiej sytuacji nie powodują nieodwracalnych uszkodzeń instalacji lub narażenia personelu, system sterowania powinien podjąć natychmiastową akcję w celu powrotu danej wielkości do zakresu pracy normalnej, co może wiązać się ze zmianą trybu pracy akceleratora (wstrzymanie wiązki, wyłączenie wybranych systemów, itp.)
- Zakres krytyczny [poniżej -C; powyżej +C]; Wartość wykracza poza założony zakres pracy normalnej i występuje prawdopodobieństwo nieodwracalnego uszkodzenia instalacji lub/i narażenia personelu na niebezpieczeństwo. System sterowania powinien podjąć natychmiastową akcję w celu wstrzymania pracy wybranych systemów lub całej instalacji.



**Rysunek 12.1. Wizualizacja opisanych poziomów zakresów czujników**

W oparciu o ww. opisy procedur i algorytmów operacyjnych oraz w oparciu o zakresy wartości poszczególnych czujników, Zamawiający zapewni oprogramowanie dla elektronicznego układu sterującego umożliwiające jego pracę w trybach opisanych w p. 5.1.

## 13. WYMAGANIA TECHNICZNE

### 13.1. INFORMACJE OGÓLNE

Projekt i obliczenia systemu rurociągów i linii technologicznych CDS wraz z podporami, powinny być wykonane zgodnie z normą EN 13480-3. Wytwarzanie i montaż systemu rurociągów, w tym podpór, powinny spełniać wymagania określone w normie EN 13480-4. Kontrole i testy rurociągów, w tym kontrole i testy procesu produkcyjnego, należy wykonywać zgodnie z normą EN 13480-5. Wartości podane w tym dokumencie takie jak odległości, średnice rurociągów, rozmiary zaworów, ciśnienia pracy poszczególnych podzespołów etc. muszą być zweryfikowane przez Wykonawcę na etapie tworzenia projektu.

Dodatkowo podczas projektowania i wytwarzania oraz oceny zgodności CDS należy zastosować Dyrektywę Ciśnieniową 2014/68/WE.

### 13.2. WYBÓR MATERIAŁÓW

Wybór materiałów musi być zgodny z dyrektywą 2014/68/WE oraz najnowszą edycją normy EN 13480. Należy zwrócić szczególną uwagę przy wyborze materiałów pracujących w bardzo niskich temperaturach.

Wszystkie elementy mające styczność z czynnikiem procesowym jakim jest hel oraz zbiorniki próżniowe, muszą być wykonane ze stali nierdzewnej, której jakość musi być potwierdzona z certyfikatem badań zgodnie z EN 10204-3.1.

Ekrany termiczne powinny być wykonane ze stopów miedzi lub aluminium.

Podpory stałe rur procesowych i płaszcz próżniowy powinny być wykonane z tego samego rodzaju materiału, co rury i płaszcz próżniowy. Podpory ślizgowe rur procesowych powinny być wykonane z materiałów kompozytowych o niskiej przewodności cieplnej, dużej wytrzymałości mechanicznej, odpowiednich do zastosowań kriogenicznych, np. takich jak G10. Materiały zastosowane do podpór w budynku lasera muszą być odporne na promieniowanie zgodnie z rozdziałem 14.2.

Dobór materiałów dodatkowych wykorzystywanych podczas prac spawalniczych i lutowniczych należy dokonać zgodnie z normami europejskimi, przepisami jednostki notyfikowanej i odpowiednimi wymaganiami technicznymi. Materiały dodatkowe stosowane w niskich w niskich temperaturach wymagają poświadczenia stosownym certyfikatem.

Zamawiający musi zostać poinformowany o wyborze powyższych materiałów przed rozpoczęciem przez Wykonawcę procedury zakupowej.

### 13.3. RURY PROCESOWE

Rury procesowe zaklasyfikowane jako urządzenia ciśnieniowe powinny być projektowane, produkowane i testowane w celu spełnienia wymagań dyrektywy ciśnieniowej 2014/68/WE oraz zgodnie z normą EN 13480. Stosować można tylko elementy bezszwowe, dotyczy to rur, kolan, trójników, redukcji itp. Zamawiający zwalnia wykonawcę z obowiązku stosowania rur oraz pozostałych elementów wykonanych w technologii bezszwowej do produkcji linii pomocniczych.

Powierzchnie wewnętrzne i zewnętrzne wszystkich rur procesowych muszą być czyste, aby zapobiec odgazowaniu, zanieczyszczeniu helu, uszkodzeniu uszczelek zaworów, przetworników itp. Powierzchnie powinny być wolne od oleju, wody, wilgoci, kurzu, opiłków i innych zanieczyszczeń. Czyszczenie i kontrola czystości rur procesowych powinna odbywać się podczas całego procesu produkcji i montażu. Szczególną uwagę należy zwrócić na czyszczenie przed i po spawaniu oraz nawijaniu MLI.

### 13.4. EKRAN TERMICZNY

Wszystkie elementy posiadające temperaturę poniżej 80 K powinny być osłaniane cieplnie za pomocą ekranów termicznych. Ekranu te należy odpowiednio połączyć termicznie z rurami procesowymi o temperaturze 80 K (linie powrotne ekranu termicznego). Projekt mechaniczny ekranu termicznego powinien być wykonany z uwzględnieniem różnicy rozszerzalności cieplnej pomiędzy materiałem ekranu a materiałem rury procesowej. Mostki termalne łączące termicznie zespoły ekranów termicznych z rurami procesowymi nie mogą powodować odkształceń zespołów ekranów i rur procesowych.

Konstrukcja ekranu termicznego powinna wytrzymywać bez uszkodzeń wszystkie maksymalne możliwe różnice temperatur między wlotem a wylotem rur chłodzących. Otwory i szczeliny w osłonach termicznych co do zasady są niedozwolone a ich występowanie powinno być minimalizowane. Otwory te w miarę możliwości powinny być zasłaniane dodatkowymi elementami ekranującymi.

Konstrukcja ekranu powinna umożliwiać odprowadzanie gazów podczas pompowania próżniowego oraz zrzutu helu w przypadku awarii rur procesowych.

### 13.5. PŁASZCZ PRÓŻNIOWY

Płaszcz próżniowy podzespołów CDS nie są traktowane jako urządzenia ciśnieniowe. Należy je jednak zaprojektować jako elementy rurociągów i zbiorniki pod ciśnieniem zewnętrznym zgodnie z normami EN 13480, EN 13445 i EN 13458.

Płaszcz próżniowy powinien być zaprojektowany dla warunków próżni podanych w tabeli 6.2.1.

Dodatkowo, płaszcz próżniowy powinien wytrzymać nadciśnienie 500 mbar w przypadku rozszczelnienia którejkolwiek z rur procesowych. Płaszcz powinien być chroniony przez urządzenia odciażające, takie jak klapowe zawory bezpieczeństwa lub inne równoważne, zdolne do odprowadzenia maksymalnego przepływu helu do atmosfery, ograniczając jednocześnie wewnętrzne nadciśnienie poniżej 200 mbar. Powierzchnia otworu dla zrzutu ciśnienia nie powinna być mniejsza niż  $0.34 \text{ mm}^2$  na  $1 \text{ dm}^3$  objętości płaszcza próżniowego i nie powinna przekraczać jednorazowo  $10\,000 \text{ mm}^2$ . Wykonawca jest odpowiedzialny za konstrukcję urządzeń odciażających. Przykład konstrukcji takiego urządzenia zaprezentowano na rys. 6.3.6. Urządzenia odciażające muszą być zgodne z załącznikiem nr 1 do normy EN 13458-2. Umieszczenie i konstrukcja tych urządzeń powinny być tak dobrane, aby zapobiec zranieniu personelu przez strumień zimnego helu oraz aby w hali lasera nie powstała atmosfera z niedoborem tlenu zagrażająca życiu. Dokładne położenie urządzeń zabezpieczających zostanie przez Wykonawcę uzgodnione z Zamawiającym podczas przeglądu projektu technicznego (TDR).

Wykonawca musi wykonać wszystkie niezbędne obliczenia w celu sprawdzenia, czy ogólne naprężenia i obciążenia w płaszczu próżniowym mieszczą się w dopuszczalnych wartościach. Szczególną uwagę należy zwrócić na przypadek utraty próżni w wyniku rozszczelnienia rury procesowej, w którym temperatura płaszcza próżniowego znacznie spada poniżej temperatury otoczenia.

Bariery próżniowe powinny być zaprojektowane dla takich samych wymagań jak płaszcz próżniowy. Bariery powinny mieć wystarczającą wytrzymałość mechaniczną, aby wytrzymać bez uszkodzenia lub trwałych odkształceń różnicę ciśnień 1.5 bar oraz wytrzymać wszelkie obciążenia mechaniczne spodziewane podczas transportu i montażu. Jeżeli bariery próżniowe są traktowane jako punkt stały, ich konstrukcja powinna spełniać wymagania mechaniczne określone w rozdziale 13.6.1.

Każdy z płaszczy próżniowych z osobną próżnią musi być wyposażony w jeden lub więcej portów do pompowania próżni zgodnie z ISO 2861 i ISO 1609 lub równoważnych. Główny port linii transferowej sekcji mostkowej należy zainstalować na płaszczu w pomieszczeniu chłodziarki helu. Lokalizacja głównego portu pompowania próżni sekcji budynkowej (w pomieszczeniu lasera), zostanie ustalony w porozumieniu

z Zamawiającym w późniejszym terminie.

Aby umożliwić lokalizację potencjalnych wycieków, płaszcze próżniowe powinny być wyposażone w odpowiednią liczbę portów KF DN40 (ISO 2861, ISO 1609 lub równoważne), równomiernie rozmieszczonych w całym CDS. Porty te powinny być zaprojektowane w taki sposób, by uniknąć zasysania luźnych fragmentów MLI. Wykonawca powinien ustalić z Zamawiającym położenie głównych portów pompowania próżni i portów KF przy okazji przeglądu projektu technicznego (TDR).

Płaszcz próżniowy i bariery próżniowe powinny zostać wykonane ze stali nierdzewnej w odpowiednim gatunku, zgodnie z wymaganiami w rozdziale 13.2.

## 13.6. PODPORY I MOCOWANIA

### 13.6.1. PODPORY WEWNĘTRZNE

Wewnętrzne podpory rur procesowych, poza podstawową funkcją podpierania samych rur oraz wyznaczania ich toru, powinny utrzymywać ich wewnętrzne przemieszczenie w dopuszczalnych wartościach. Ich kształt powinien minimalizować przekazywanie ciepła pomiędzy rurami w celu uniknięcia tzw. mostków termicznych. Konstrukcja podpór powinna zapewniać całkowite naprężenia w rurach procesowych w granicach dopuszczalnych wartości. Podpory powinny być zaprojektowane, wyprodukowane i przetestowane zgodnie z normą EN 13480.

Podpory powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby wytrzymały przyłożone obciążenia w określonych przypadkach projektowych bez uszkodzeń mechanicznych lub trwałych odkształceń. Ich projekt i konstrukcja powinny uwzględniać maksymalne dopuszczalne obciążenia cieplne.

Podpory powinny umożliwiać odprowadzanie powietrza z przestrzeni próżniowej podczas pompowania próżni oraz powinny zagwarantować odprowadzenie helu w przypadku pęknięcia którejkolwiek z rur procesowych. W razie potrzeby należy przewidzieć otwory ewakuacyjne w podporach wewnętrznych w miejscach, w których występują niewielkie odkształcenia i gdzie mniejsza sztywność nie wpłynie negatywnie na ogólną wytrzymałość podpór.

Projekt i obliczenia podpór wewnętrznych należy przedłożyć Zamawiającemu do akceptacji podczas przeglądu projektu technicznego (TDR).

Rozróżnia się dwa rodzaje podpór wewnętrznych: podpory stałe i podpory przesuwne.

#### 13.6.1.1. PODPORY STAŁE

Podpory stałe to punkty mocowania rur procesowych do płaszcza próżniowego, które zapewniają mechaniczną stabilność rur procesowych. Powinny one być wykonane z odpowiedniego gatunku stali nierdzewnej. Podpory stałe powinny ograniczać przemieszczenia i obroty rur. Podczas projektowania należy pamiętać, że poza przenoszeniem obciążeń i ciśnień na płaszcz próżniowy, przenoszą one także temperaturę co jest zjawiskiem niepożądanym i którego należy unikać.

#### 13.6.1.2. PODPORY PRZESUWNE

Podpory przesuwne powinny umożliwiać prowadzenie osiowe i przemieszczenie osiowe rur procesowych względem siebie, jak również względem ekranu termicznego i płaszcza próżniowego. Podpory te powinny ograniczać przemieszczenia boczne i przenosić obciążenia na płaszcz zewnętrzny.

Podpory przesuwne powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby zachować stabilność skrętną rur procesowych. Podpory te muszą również wytrzymać przeciążenia mogące wystąpić podczas transportu. Podczas projektowania należy uwzględnić tarcie pomiędzy rurami procesowymi a elementami podpór, aby nie nastąpiło

blokowanie przemieszczania osiowego rur. W celu zmniejszenia tarcia podpory ślizgowe mogą być wyposażone w łożyska toczne lub materiały o niskim współczynniku tarcia np. PTFE. Jednak w komponentach CDS znajdujących się budynku lasera, gdzie występuje wysokie promieniowanie, niedozwolone jest stosowanie materiałów wrażliwych na jego działanie (np. PTFE). Materiały te muszą być odporne na promieniowanie zgodnie z rozdziałem 14.2.

Podpory przesuwne powinny być wykonane z elementów o niskiej przewodności cieplnej, jak określono w rozdziale 13.2.

### 13.6.2. PODPORY ZEWNĘTRZNE

Podpory zewnętrzne służą do podparcia z zewnątrz komponentów CDS. W ich skład wchodzi podpory linii transferowej, modułów zaworowych, a także podpory wszystkich linii pomocniczych i innych linii technologicznych. Zadaniem podpór jest nie tylko przenoszenie ciężaru, ale także pozycjonowanie poszczególnych komponentów CDS.

Podpory zewnętrzne należy projektować z uwzględnieniem wszystkich wymagań dotyczących podparć elementów rurociągów i płaszczy zbiorników znajdujących się pod ciśnieniem zewnętrznym zgodnie z normami EN 13480, EN 13445 i EN 13458.

Podpory zewnętrzne należy umieścić na całej długości CDS, zatem muszą one być umieszczone zarówno w budynku chłodziarki helu, na moście pomiędzy budynkiem chłodziarki a budynkiem lasera, jak również wewnątrz budynku lasera. W każdej lokalizacji można zastosować inny rodzaj konstrukcji podpór.

Podpory powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby wytrzymały obciążenia w określonych przypadkach projektowych bez uszkodzeń mechanicznych lub trwałych odkształceń. Ich konstrukcja powinna pozwalać na pozycjonowanie elementów w kierunku wzdłużnym, pionowym oraz dokonywanie regulacji położenia ze szczególnym uwzględnieniem modułów zaworowych i linii transferowych wewnątrz hali lasera.

Stale podpory zewnętrzne powinny ograniczać przemieszczenie i obrót elementów CDS oraz powinny przenosić ich ciężar, ciśnienie i obciążenie zarówno mechaniczne jak i cieplne na konstrukcje obiektu budowlanego czyli podłogi, ściany i stropy. Podpory przesuwne powinny ograniczać tylko boczne przemieszczenia i przenosić obciążenia.

Wykonawca musi przekazać Zamawiającemu maksymalne przewidywane obciążenia w miejscach instalacji podpór w trakcie ostatecznego przeglądu projektu (FDR).

Wszystkie elementy podpór, które mają bezpośredni kontakt z zewnętrznymi powierzchniami komponentów CDS, powinny być wykonane z odpowiedniego gatunku stali nierdzewnej, jak określono w rozdziale 13.2.

#### 13.6.2.1. PODPORY NA MOŚCIE

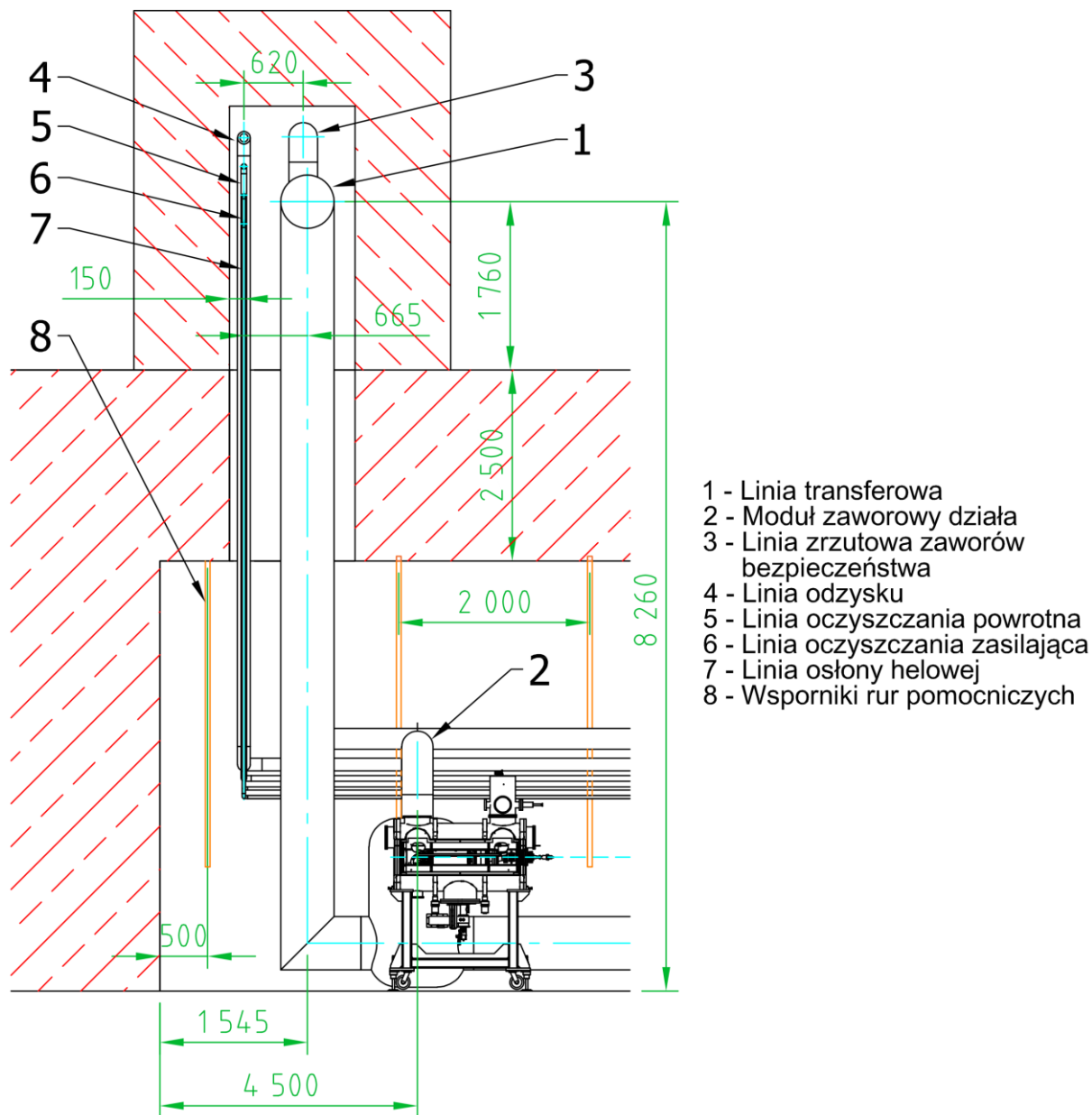
Informacje dotyczące podpór na moście opisane są w rozdziale 20.

#### 13.6.2.2. PODPORY W BUDYNKU LASERA

Linia transferowa wraz z modułami zaworowymi powinna być zainstalowana na podporach, które powinny zapewniać elastyczność w pozycjonowaniu i możliwość regulacji we wszystkich płaszczyznach. Podpory te muszą być trwale przymocowane do podłoża za pomocą kotew. Pozycje podpór muszą być zaproponowane przez Wykonawcę i przekazane Zamawiającemu do akceptacji na etapie przeglądu projektu technicznego (TDR).

Wejście CDS do budynku lasera pokazano na rys. 13.6.2.2.1.

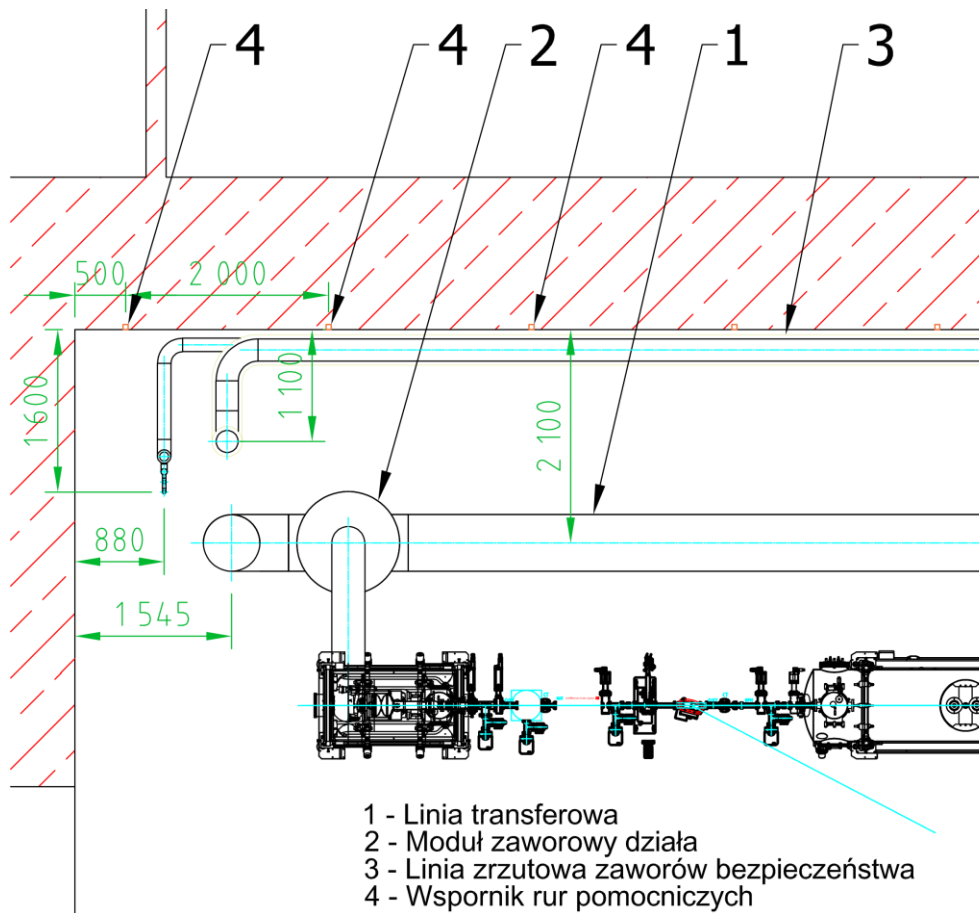




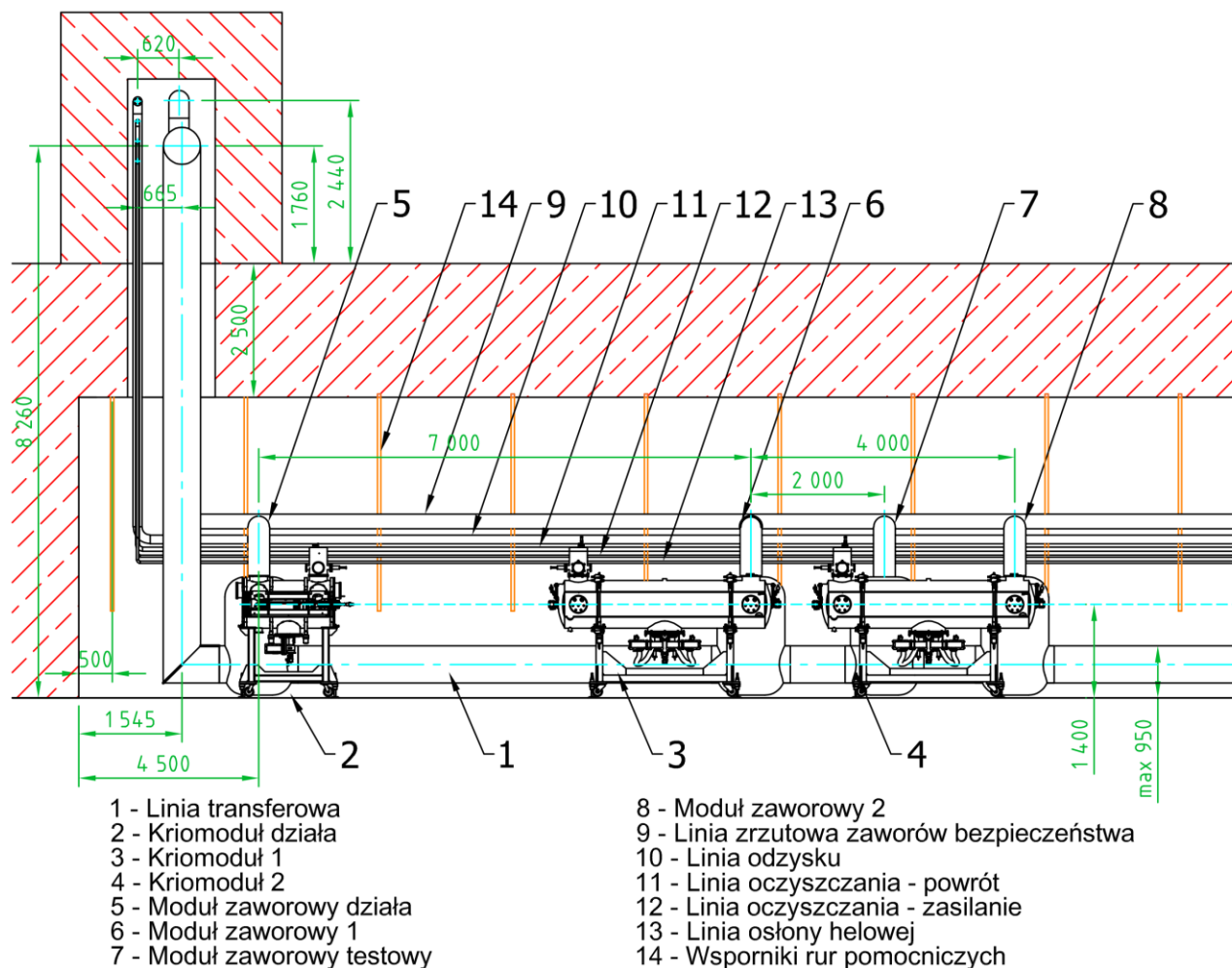
Rysunek 13.6.2.2.1. Wejście linii CDS do budynku lasera

Do montażu linii pomocniczych w hali lasera dostępny będzie system szyn montażowych wbetonowanych w ściany konstrukcyjne budynku. Nominalna odległość pomiędzy profilami szyn wynosi 2 m jak pokazano na rys. 13.6.2.2.2. i 13.6.2.2.3. Dodatkowo Wykonawca będzie miał możliwość swobodnego wykorzystania technik kotwienia kotwami rozprężnymi i chemicznymi do ścian, podłoża, stropu i dachu budynku do głębokości 10 cm.

Położenie linii pomocniczych pokazano na rys. 10.2.



Rysunek 13.6.2.2.2. Położenie szyn montażowych dla linii pomocniczych – widok z góry



Rysunek 13.6.2.2.3. Położenie szyn montażowych dla linii pomocniczych – widok boczny

### 13.6.2.3. PODPORY W BUDYNKU CHŁODZIARKI HELU

Po wybraniu przez Zamawiającego dostawcy chłodziarki helu, Wykonawca CDS będzie musiał ściśle współpracować z dostawcą chłodziarki pod nadzorem Zamawiającego. W tym celu zostanie zorganizowane specjalne spotkanie inicjujące, na którym zostaną ustalone ramy współpracy oraz procedury komunikacji i wymiany danych. Współpraca ta będzie miała na celu wyjaśnienie i określenie szczegółów podłączenia przez Wykonawcę rurociągów CDS do interfejsu chłodziarki helu oraz ustalenie ilości i rozmieszczenia podpór w budynku gdzie będzie zainstalowana chłodziarka helu. Wszystkie decyzje techniczne między Wykonawcą CDS a dostawcą chłodziarki będą musiały zostać zaakceptowane przez Zamawiającego.

## 13.7. POZYCJONOWANIE

W celu zapewnienia prawidłowego pozycjonowania modułów zaworowych w stosunku do kriomodułów, które zostaną zainstalowane prawdopodobnie dopiero po zakończeniu budowy CDS, konieczne jest ustawienie modułów zaworowych w określonym miejscu i w taki sposób, aby pozycja każdego punktu przyłączeniowego, zwanego punktem interfejsu (w skrócie IF2 dla modułu zaworowego działu oraz IF3 dla pozostałych modułów zaworowych), odpowiadał położeniu analogicznemu punktowi po stronie kriomodułu. W tym celu Wykonawca musi wyposażyć moduły zaworowe w znaczniki tzw. fidusiale, zainstalowane w kilku miejscach na modułach

zaworowych pokazanych jako przykład na rys. 13.7.1. Wykonawca podczas produkcji musi zainstalować co najmniej 6 kompletów znaczników składających się z pryzmy 1.5", części stożkowej i wspornika z gwintem M6, jak pokazano na rys. 13.7.2. Umieszczenie znaczników powinno zostać zaproponowane przez Wykonawcę podczas fazy projektu technicznego. Zamawiający oceni możliwość wykorzystania takiego umiejscowienia znaczników w odniesieniu do siatki metrażowej budynku lasera.

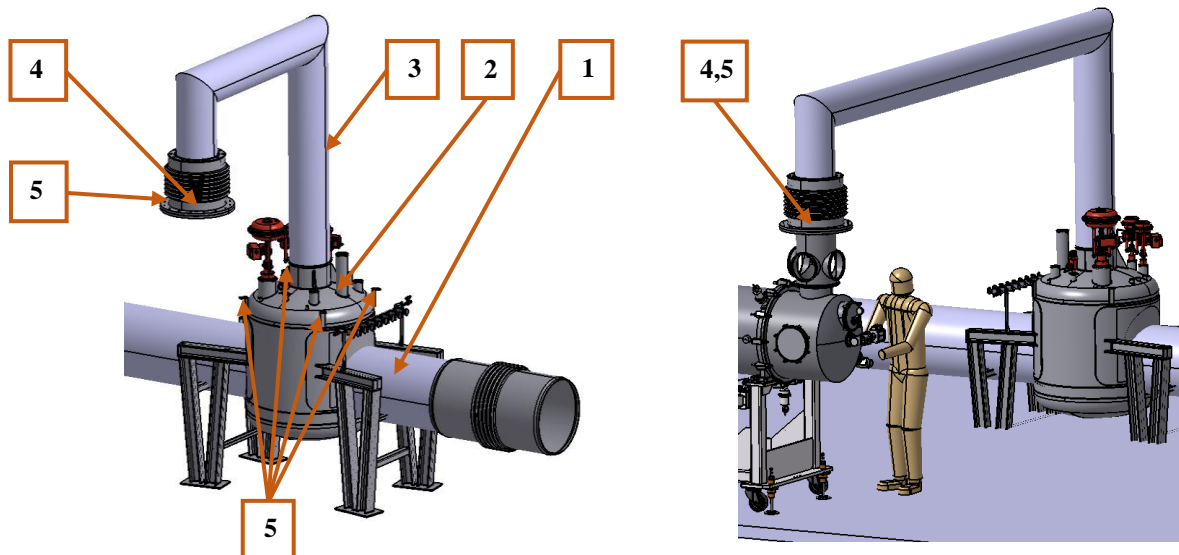
Najważniejszym elementem, który będzie kontrolowany przy każdym module zaworowym, to punkt interfejsu IF2 i IF3, który powinien zostać wyposażony w znaczniki typu „korona”, jak pokazano na rys. 13.7.3, lub inny system mogący pozwolić na precyzyjne określenie punktu interfejsu. Tolerancje wykonania punktów interfejsu zostaną dostosowane do możliwości kompensacyjnych przewidzianych do wykorzystania elementów elastycznych. Tym samym tolerancje zostaną określone na etapie projektu technicznego systemu CDS. Dobór elementów elastycznych i odpowiadających im tolerancji zostanie zatwierdzony przez Zamawiającego. Zamawiający zobowiązuje się do udostępnienia informacji nt. położenia punktów przyłączeniowych poszczególnych kriomodułów na etapie opracowywania projektu technicznego.

Wykonawca, po uzgodnieniu z Zamawiającym, musi przygotować podstawę z gwintem M6 do montażu znaczników w wyznaczonych miejscach. Znaczniki zostaną wypożyczone Wykonawcy przez Zamawiającego do czasu zakończenia instalacji CDS w budynku lasera.

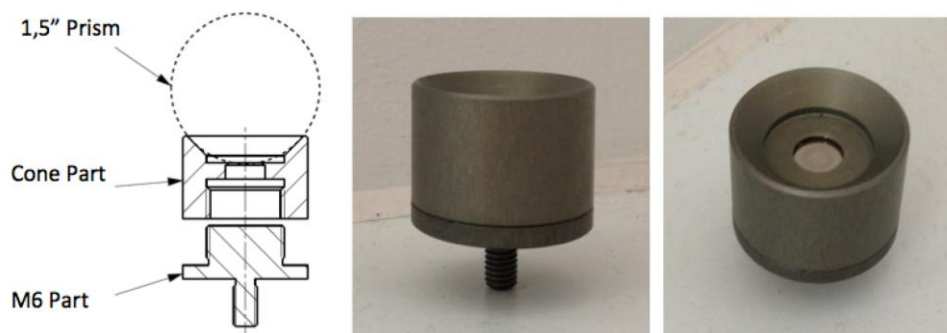
Po zakończeniu produkcji wraz z testami w siedzibie Wykonawcy, Wykonawca musi dokonać pomiaru położenia znaczników w odniesieniu do głównych wymiarów każdego modułu zaworowego i przekazać wyniki do Zamawiającego w formie raportu. Pomiar usytuowania znaczników powinien dokonać geodeta za pomocą systemu typu laser tracker lub równoważnego, który pozwoli na pomiar współrzędnych x-y-z w odniesieniu do zdefiniowanego wcześniej układu współrzędnych dla każdego modułu zaworowego.

Wykonawca musi przeprowadzić pozycjonowanie komponentów CDS w budynku lasera w oparciu o listę punktów interfejsu kriomodułów, która zostanie dostarczona Wykonawcy przez Zamawiającego przed rozpoczęciem montażu. Wykonawca będzie musiał ustawić moduły zaworowe w taki sposób, aby punkty interfejsu każdego modułu zaworowego pokrywały się z punktami interfejsu kriomodułu. Pozycja położenia tych punktów powinna być przez Wykonawcę wielokrotnie sprawdzana podczas montażu, w celu kontrolowania zmiany ich położenia. Zamawiający zweryfikuje położenie tych punktów tylko dwukrotnie. Pierwszy raz po ustawieniu przez Wykonawcę każdego modułu zaworowego, tuż przed rozpoczęciem prac spawalniczych. Drugi raz, gdy wszystkie moduły zaworowe zostaną ze sobą trwale połączone i będą gotowe do podłączenia kriomodułów. W przypadku stwierdzenia przez Zamawiającego błędu ustawienia punktów interfejsu, Wykonawca zobowiązany będzie do poprawienia ich pozycji.

- 1 – Linia transferowa
- 2 – Moduł zaworowy
- 3 – Moduł łączący
- 4 – Interface Point IF2 (IF3)
- 5 – Znaczniki pozycjonujące (fiducial)



Rysunek 13.7.1. Rozmieszczenie punktów interfejsu i znaczników pozycjonujących



Rysunek 13.7.2. Znaczniki pozycjonujące



Rysunek 13.7.3. Znaczniki pozycjonujące w formie „korony”

## 13.8. KOMPENSACJA SKURCZU TERMICZNEGO

### 13.8.1. INFORMACJE OGÓLNE

Jeżeli w wyniku działania niskiej temperatury mogą pojawiać się skurcze termiczne prowadzące do powstawania niedopuszczalnych naprężeń, obciążeń lub odkształceń, wówczas należy je zniwelować za pomocą odpowiednich elementów kompensujących, systemów wsporczych itp.

### 13.8.2. KOMPENSATORY

Kompensatory mogą być stosowane zarówno na rurach procesowych, jak i płaszczach próżniowych. Wszystkie kompensatory muszą być zgodne z normą EN 14917. Kompensatory dla rur procesowych powinny spełniać wymagania dyrektywy 2014/68/WE w sprawie urządzeń ciśnieniowych i powinny być zgodne z normą EN 13480.

W miarę możliwości należy unikać stosowania kompensatorów na liniach procesowych a ich wykorzystanie jako elementy kompensujące należy uważać za zasadne tylko wtedy, gdy inne rozwiązania kompensacji termicznej prowadziłyby do pogorszenia konstrukcji mechanicznej.

Konstrukcja kompensatorów wewnętrznych powinna umożliwiać ich montaż w stanie kontrolowanego ściśnięcia wstępnego, w celu uzyskania tzw. prestresu w temperaturze 300 K. Żywotność mieszków powinna wynosić co najmniej 1000 pełnych cykli ściskania i rozciągania.

W przypadku zastosowania mieszków wielowarstwowych, dla kompensatorów wewnętrznego ciśnienia tylko wewnętrzna warstwa powinna być szczelna, a pozostałe warstwy powinny posiadać otwór wentylacyjny. W przypadku kompensatorów zewnętrznego ciśnienia, to zewnętrzna warstwa powinna być szczelna.

Żywotność mieszków zewnętrznych powinna wynosić co najmniej 200 pełnych cykli ściskania i rozciągania. Mieszki te powinny być wyposażone w metalowe osłony ochronne wykonane z tego samego materiału, co rura procesowa płaszcz.

Wykonawca podczas przeglądu projektu technicznego (TDR) musi przedłożyć Zamawiającemu do zatwierdzenia następujące informacje o konstrukcji i typie mieszka:

- Rysunki techniczne
- Wartości projektowe dla temperatury i ciśnienia projektowego (wewnętrznego i zewnętrznego)
- Maksymalną liczbę cykli ściskania i rozciągania
- Maksymalne wartości dopuszczalnego przemieszczenia osiowego, lateralnego i kąтового
- Sztywność osiową, boczną i kątową
- Spadki ciśnień i wibracje wywołane przepływem
- Wyniki obliczeń i doboru
- Świadectwa materiałowe (po zakupie)
- Certyfikaty z badań itp. (po zakupie).

### 13.8.3. WĘŻE METALOWE

Węże metalowe powinny być wykonane zgodnie z normami EN 13480, EN 12434 i EN 14585. Powinny one być zaprojektowane w taki sposób, aby wytrzymać wszystkie przypadki obciążeń przewidzianych w projekcie bez ryzyka uszkodzeń mechanicznych lub trwałych odkształceń. Węże powinny posiadać oplot ochronny wykonany z odpowiedniego gatunku stali nierdzewnej.

Podobnie jak dla kompensatorów, Wykonawca podczas przeglądu projektu technicznego (TDR) powinien przedłożyć Zamawiającemu do zatwierdzenia poniższe informacje:

- Rysunki techniczne
- Wartości projektowe dla temperatury i ciśnienia (wewnętrznego i zewnętrznego)
- Maksymalne wartości dopuszczalnego przemieszczenia osiowego, lateralnego i kąтового
- Spadki ciśnień i wibracje wywołane przepływem
- Wyniki obliczeń i doboru
- Świadectwa materiałowe (po zakupie)
- Certyfikaty z badań itp. (po zakupie).

## 14. SPECYFIKACJA WYKONANIA

### 14.1. WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

CDS powinien zostać zaprojektowany, wyprodukowany i zainstalowany w taki sposób, aby zapewnić niezawodną i nieprzerwaną pracę lasera (z wyjątkiem przewidywanych okresów wyłączenia i konserwacji) przez ponad 25 lat. Konstrukcja powinna zapewniać poprawne działanie mechaniczne i termodynamiczne wszystkich elementów bez jakichkolwiek uszkodzeń lub pogorszenia jakości.

Wszystkie elementy narażone na niskie temperatury i duże wahania temperatur muszą być zaprojektowane w taki sposób, aby wytrzymać maksymalne możliwe zmiany temperatury zachodzące w czasie pracy, jak również maksymalne możliwe różnice temperatur na całej długości elementu. Konstrukcja elementów przenoszących ciśnienie, w tym także podpór, powinna zapewniać, że naprężenia nie przekroczą maksymalnych dopuszczalnych wartości. Projekt powinien uwzględniać nominalne warunki pracy, cykle schładzania i odgrzewania, próby ciśnieniowe oraz sytuacje awaryjne. Projekt powinien uwzględniać również niezależne cykle schładzania i odgrzewania różnych obiegów pętli procesowych.

Wszystkie zbiorniki próżniowe muszą być zaprojektowane na ciśnienie od 0 bara do maksymalnie 1.5 bara ciśnienia bezwzględnego. Konstrukcja zbiorników powinna uwzględniać, że w wyniku przypadkowego pęknięcia którejkolwiek z elementów linii procesowej, temperatura płaszcza próżniowego może lokalnie spaść do znacznie niższego poziomu aniżeli jego nominalne warunki pracy.

Konstrukcja wszystkich elementów powinna być dostosowana do prób ciśnieniowych, zgodnie z 2014/68/WE i EN 13480. Próby ciśnieniowe należy wykonywać przy ciśnieniu minimum 1.43 razy wyższym od ciśnienia projektowego.

### 14.2. ODPORNOŚĆ RADIACYJNA

Wszystkie materiały i komponenty znajdujące się wewnątrz hali lasera muszą być odporne na działanie promieniowania w wysokości minimalnej  $5 \cdot 10^6$  Gy.

Urządzenia elektroniczne, takie jak pozycjonery zaworów, przetworniki ciśnienia itp., które mogą być wrażliwe na promieniowanie w dawce wymienionej powyżej, należy umieścić poza pomieszczeniem lasera. Użycie wszelkiego rodzaju tworzyw sztucznych powinno być zgłoszone przez Wykonawcę do Zamawiającego wraz z potwierdzeniem, że proponowane materiały nie są wrażliwe na promieniowanie wskazane w tym rozdziale.

### 14.3. POZIOM SZCZELNOŚCI HELOWEJ

Poziom szczelności helowej nie powinien przekraczać następujących wartości:

- a) Pojedynczy naciek z zewnątrz do wewnątrz badanego elementu przez spoinę:  $1 \times 10^{-10}$  mbar·l/sec.
- b) Pojedynczy naciek z wnętrza komponentu (spoina, mieszek, wąż elastyczny, zawór itp.) do próżni:  $1 \times 10^{-10}$  mbar·l/sec.
- c) W warunkach pracy (temperatura i ciśnienie), zmierzony całościowy naciek zespołu do próżni:  $1 \times 10^{-8}$  mbar·l/sec.
- d) Sumaryczny naciek pojedynczego komponentu, zamontowanego na zbiorniku próżniowym np. kłapa bezpieczeństwa, przetwornik ciśnienia, zawór odcinający itp., mierzony z zewnątrz komponentu do próżni zbiornika:  $1 \times 10^{-8}$  mbar·l/sec.
- e) Sumaryczny naciek pojedynczego komponentu przenoszącego ciśnienie i zamontowanego poza zbiornikiem próżniowym, np. zawór bezpieczeństwa, przetwornik ciśnienia, manometr itp., mierzony z wnętrza komponentu do atmosfery:  $1 \times 10^{-6}$  mbar·l/sec.

Dla każdego testu szczelności helowej, czułość wykrywacza helowego musi wynosić co najmniej  $1 \times 10^{-11}$  mbar·l/s.

### 14.4. SZCZELNOŚĆ ZAWORÓW

Poziom szczelności helowej gniazda zaworu odcinającego, mierzonego od strony próżni przy parametrach pracy (ciśnienie i temperatura, w tym także w temperatura pokojowa) nie może przekraczać  $1 \times 10^{-4}$  mbar·l/sek. Poziom szczelności zaworów odcinających powinien być zmierzony w obydwu kierunkach, gdy ciśnienie i próżnia zadawane są kolejną od strony wlotowej a następnie wylotowej gniazda zaworu.

Poziom szczelności helowej gniazda zaworu bezpieczeństwa od strony próżni w kierunku atmosfery i przy parametrach pracy (ciśnienie i temperatura, w tym także w temperatura pokojowa) nie może przekraczać  $1 \times 10^{-4}$  mbar·l/sek.

### 14.5. WYMAGANIA HYDRAULICZNE

CDS powinien zostać zaprojektowany, wyprodukowany i zainstalowany w taki sposób, aby zapewnić właściwe działanie hydrauliczne zimnych i pomocniczych rur procesowych. Maksymalne dopuszczalne spadki ciśnienia w rurach procesowych nie powinny przekraczać wartości podanych w tabeli 6.4.

## 15. WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE

### 15.1. SPAWANIE

Wszystkie stałe połączenia rur procesowych przenoszących ciśnienie należy wykonać metodą spawania. Zasada ta dotyczy rur, węży elastycznych, kompensatorów, trójników, kolan itp. W przypadku rur procesowych dozwolone są tylko spoiny czołowe z pełnym przetopem. Podczas produkcji w siedzibie Wykonawcy, elementy płaszcza zewnętrznego zbiorników próżniowych należy łączyć ze sobą za pomocą wzdluznych lub obwodowych spoin czołowych z pełnym przetopem. Podczas instalacji w docelowej lokalizacji połączenia płaszcza próżniowego pomiędzy dwoma zespołami można wykonać za pomocą spoin pachwinowych.

W przypadku rur procesowych i płaszczy próżniowych spawanie należy wykonać metodą TIG. Spawanie podpór zewnętrznych można wykonać metodą TIG i MIG.



Podczas wszelkich aktywności związanych ze spawaniem należy stosować się do wymagań normy ISO 3834-2 lub równoważnej, co powinno być potwierdzone aktualnym certyfikatem, wydanym Wykonawcy przez odpowiednią jednostkę notyfikowaną.

Technologie spawania powinny być uznane zgodnie z normą ISO 15609 lub równoważną.

Badania technologii spawania powinny być przeprowadzone zgodnie z wymaganiami ISO 15614-1 lub równoważnymi.

Prace spawalnicze mogą wykonywać wyłącznie spawacze posiadający odpowiednie uprawnienia, których kwalifikacje powinny być potwierdzone certyfikatem zgodnie z ISO 9606-1 lub równoważną.

Personel nadzorujący proces spawania powinien posiadać potwierdzenie kwalifikacji zgodnie z normą ISO 14731 lub równoważną.

Tolerancje spawalnicze powinny być zgodne z normą ISO 13920 lub równoważną w klasie C i G.

Podczas spawania należy stosować gaz formujący oraz gaz osłonowy, które muszą spełniać wymagania normy ISO 14175 lub równoważnej. Kolor spoiny powinien być jak najbardziej zbliżony do naturalnego koloru łączonych metali, ale dopuszczalne jest słomkowożółte zabarwienie spoiny.

Wymagania dotyczące badań nieniszczących (NDT) spoin, które będą wykonywane na etapie produkcji i montażu, powinny być zgodne z normą ISO 13480-5 lub równoważną oraz z wymaganiami podanymi w tabeli 15.1.

**Tabela 15.1. Zakres badań nieniszczących spoin**

Spoina	Faza	VT	RTG	Test helowy	Szokowanie LN2
Rura procesowa	Produkcja	100%	50%	100%	100%
	Instalacja	100%	100%	100%	Nie dotyczy
Płaszcz próżniowy	Produkcja	100%	10%	100%	Nie dotyczy
	Instalacja	100%	Nie dotyczy	100%	Nie dotyczy

Ocenę wizualną (VT) spoin należy przeprowadzić zgodnie z ISO 17637 lub równoważną. Poziom jakości i kryteria akceptacji niezgodności spoin zgodnie z ISO 5817 powinien być na poziomie B dla rur procesowych, C dla płaszczy próżniowych oraz D dla podpór i innych elementów konstrukcyjnych. W przypadku zastosowania ISO 10042 lub równoważnej dla jakości i akceptacji niezgodności dopuszcza się poziom C.

Badania radiograficzne powinny być przeprowadzone zgodnie z ISO 17636 lub równoważną. Poziom jakości powinien spełniać wymagania normy ISO 5817 lub równoważnej poziom B. Kryteria akceptacji niezgodności spoin powinny być zgodne z normą ISO 10675-1 lub równoważną. W przypadku wykrycia niezgodności, zakres badań rentgenowskich należy rozszerzyć o minimum kolejne 20%, w zależności od ilości spoin będących przedmiotem badań w danej serii. Dokładny zakres rozszerzenia badań zostanie narzucony przez Zamawiającego po przeanalizowaniu niezgodności.

Badania szczelności helowej oraz testy szokowania przy użyciu ciekłego azotu, zostały opisane w rozdziale 16. Po szokowaniu termicznym w temperaturze ciekłego azotu (77 K) należy przeprowadzić próbę szczelności helowej, utrzymując wewnątrz rury procesowej w atmosferze obojętnej lub próżni, aby zapobiec kondensacji wody

lub tworzeniu się lodu wewnątrz badanego elementu. Po szokowaniu termicznym należy przeprowadzić oględziny spoin w celu wykrycia pęknięć.

Przed rozpoczęciem produkcji Wykonawca musi przedłożyć Zamawiającemu następujące dokumenty potwierdzające kwalifikacje i przygotowanie do realizacji procesów spawalniczych:

- Certyfikat kwalifikacji Wykonawcy na zgodność z ISO 3834-2 lub równoważną
- Certyfikat kwalifikacji spawaczy ISO 9606-1 lub równoważny
- Plany spawania
- Plany przeprowadzenia testów spoin
- Instrukcje spawania (kwalifikacje technologii spawania WPQR, specyfikacje technologii spawania WPS)

Podczas produkcji a także w trakcie instalacji w docelowej lokalizacji, wszystkie zapisy i protokoły związane z procesem spawania muszą być dostępne i okazywane na żądanie Zamawiającego. Po zakończeniu instalacji Wykonawca jest zobligowany do przekazania pełnej dokumentacji spawalniczej zgodnie rozdziałem 18.

## 15.2. Lutowanie

Dla wszystkich prac lutowniczych wymagane jest stosowanie wymagań jakościowych lutowania twardego zgodnie z poniższymi normami, co powinno być potwierdzone odpowiednim certyfikatem.

Do wykonania połączeń lutowanych miedź-stal nierdzewna, miedź-miedź itp. dozwolona jest tylko metoda lutowania twardego 912 zgodnie z ISO 13585 lub równoważną. Wyjątek stanowi lutowanie przewodów elektrycznych itp., gdzie można zastosować lutowanie miękkie.

Uznanie technologii lutowania twardego należy wykonać zgodnie z normą EN 13134.

Badania złączy wykonanych metodą lutowania twardego powinny być przeprowadzone zgodnie z normami ISO 12797 i ISO 12799 lub równoważnymi.

Tylko pracownicy z odpowiednimi uprawnieniami potwierdzonymi stosownym certyfikatem mogą wykonywać procesy lutowania. Kwalifikowanie operatorów lutowania twardego powinno być przeprowadzone zgodnie z ISO 13585 lub równoważną.

Personel nadzorujący proces lutowania powinien posiadać potwierdzenie kwalifikacji zgodnie z normą ISO 14731 lub równoważną.

Dobór spoiw należy przeprowadzić zgodnie z ISO 17672 lub równoważną.

Topniki do lutowania twardego powinny zostać dobrane zgodnie z ISO 1045 lub równoważną.

Niezgodności połączeń lutowanych należy oceniać zgodnie z ISO 18279 lub równoważną.

Tolerancje przy lutowaniu powinny być zgodne z dokumentacją.

Wszystkie powierzchnie po zakończonym lutowaniu powinny być oczyszczone z zanieczyszczeń, kurzu, zabarwień utleniających itp. spowodowanych lutowaniem.

## 15.3. CZYSZCZENIE I PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI

Wszystkie powierzchnie ze stali nierdzewnej muszą być oczyszczone, wytrawione i pasywowane po obróbce, aby były metalicznie czyste, jasne i suche, wolne od olejów, tłuszczów, warstw tlenków, zabarwień utleniających, zanieczyszczeń ferrytycznych, pyłów itp.

Proces pasywacji i trawienia można zastąpić czyszczeniem mechanicznym, w przypadku powierzchni mających kontakt z próżnią. Po wykonaniu złożenia modułu zawierającego takie powierzchnie Wykonawca jest

zobowiązany, aby zabezpieczyć je przed wpływem powietrza atmosferycznego wypełniając moduł gazem obojętnym (np. suchym azotem).

Powierzchnie zewnętrzne, mające kontakt z powietrzem atmosferycznym muszą być oczyszczone mechanicznie lub chemicznie – wytrawione i pasywowane po obróbce. W przypadku zastosowania czyszczenia mechanicznego, przed ostatecznym montażem powierzchnie takie powinny zostać powtórnie skontrolowane pod kątem korozji i w razie potrzeby wytrawione i poddane pasywacji.

Wszystkie powierzchnie stykające się z helem lub poddane działaniu próżni muszą być czyste i wolne od brudu, żużlu spawalniczego lub innych zanieczyszczeń.

Szczególna czystość wymagana jest dla powierzchni wewnętrznej wszystkich rurociągów układu helowego. Przewody muszą być metalicznie czyste i wolne od cząstek większych niż 5  $\mu\text{m}$ . Rozpuszczalne pozostałości należy usunąć acetonem lub alkoholem.

Należy upewnić się, że wszystkie pozostałości topników z części lutowanych zostały usunięte.

Wszystkie spoiny wystawione na działanie warunków atmosferycznych należy po spawaniu poddać pasywacji, aby uniknąć korozji i rdzy.

Wszystkie obszary płaszcza próżniowego, które miały kontakt ze stalą węglową, np. przypadkowe zarysowanie w czasie produkcji lub transportu, muszą być dokładnie zeszlifowane i pasywowane, w celu uniknięcia korozji.

## 16. TESTY

### 16.1. INFORMACJE OGÓLNE

Wszystkie testy należy przeprowadzać zgodnie z procedurą testową uzgodnioną z Zamawiającym.

Na Wykonawcy spoczywa odpowiedzialność za przeprowadzenie wszystkich testów, dlatego Wykonawca powinien zapewnić wykwalifikowany personel, wystarczającą ilość sprzętu oraz zabezpieczyć odpowiednie warunki do przeprowadzenia tych testów zarówno na terenie Wykonawcy, jak w docelowej lokalizacji. Wszystkie niezbędne dokumenty, takie jak lista materiałów, rysunki, zapisy, świadectwa kalibracyjne urządzeń sprawdzających, specyfikacje i instrukcje dotyczące badań nieniszczących itp. pozostają w gestii Wykonawcy i powinny być przez niego dostarczone.

Części przenoszące ciśnienie, które mogą wymagać autoryzowanych inspekcji zgodnie z dyrektywą dotyczącą urządzeń ciśnieniowych, powinny być nadzorowane i kontrolowane zgodnie z odpowiednimi modułami Dyrektywy ciśnieniowej 2014/68/WE (PED – Pressure Equipment Directive). Ustalenie kategorii, do której klasyfikuje się CDS, spoczywa na Wykonawcy, natomiast wybór modułu procedury zgodności CDS spośród ustalonej przez Wykonawcę kategorii, spoczywa na Zamawiającym. W razie potrzeby należy przeprowadzić kontrolę tych części przez stronę trzecią (jednostkę notyfikowaną).

Wszystkie próby ciśnieniowe należy przeprowadzać pod ciśnieniem próbnym określonym w PED i EN 13480 oraz w zgodzie ze wszelkimi innymi normami mającymi zastosowanie. Dozwolone są tylko pneumatyczne testy ciśnieniowe, ponieważ obecność resztek wody lub jakiegokolwiek innej cieczy jest niedopuszczalna.

Dla wszystkich materiałów, półfabrykatów i wyrobów gotowych uzyskanych lub użytkowanych przez Wykonawcę lub jego podwykonawców wymagane są świadectwa odbioru zgodnie z normą EN 10204. Dla elementów metalowych świadectwa materiałowe powinny być typu 3.1, dla pozostałych materiałów mogą być niższego typu. Certyfikaty powinny być dostępne podczas testów i okazywane Zamawiającemu, jeśli ten będzie w nich uczestniczył.

Inspektorzy powołani do badań nieniszczących i niszczących materiałów oraz kontroli szczelności powinni posiadać odpowiednią wiedzę techniczną, umożliwiającą prowadzenie badań w pełnej zgodności z wymaganiami.

Wykonawca powinien zaproponować plan testów oraz procedury badań i przedstawić je Zamawiającemu do zatwierdzenia w trakcie ostatecznego przeglądu projektu (FDR) (co najmniej 4 tygodnie przed badaniami). Po ich przeprowadzeniu, Wykonawca musi przekazać Zamawiającemu wszystkie zapisy z testów wraz z protokołami, które zostały przeprowadzone w jego zakładzie oraz w siedzibie Zamawiającego, nie później niż 2 tygodnie po wykonaniu testów. Jeśli podczas testu zostaną stwierdzone niezgodności, odpowiedni test należy powtórzyć częściowo lub w całości, po usunięciu wad. W przypadku nieodwracalnych usterek należy sporządzić raport odstępstw i przekazać go Zamawiającemu w celu podjęcia dalszych decyzji.

Sekwencja wykonywania testów powinna zapewniać logiczną kolejność i uwzględniać złożoność konstrukcji poszczególnych podzespołów CDS. Testy muszą umożliwiać sprawdzenie wszystkich parametrów niezbędnych do prawidłowego działania urządzenia oraz zagwarantowania jego bezpiecznego i bezawaryjnego użytkowania, minimalizując ryzyko nieprawidłowego funkcjonowania.

Ze względu na różny charakter podzespołów zawartych w CDS, rodzaj testów, ich kolejność itp. mogą być różne dla różnych komponentów. Przed dostawą na miejsce instalacji każdy element powinien zostać przetestowany w sposób najbliższy odzwierciedlający rzeczywiste warunki pracy. Oznacza to wykonanie testów na zimno z użyciem LN<sub>2</sub> wraz z zamontowanym oprzyrządowaniem (zawory, czujniki, przetworniki itp.) w warunkach ciśnienia odpowiadającym ciśnieniu robocznemu. Niektóre komponenty jako pojedyncze sekcje, o ograniczonym ryzyku wystąpienia awarii, np. proste odcinki linii transferowej bez kompensatorów lub węży elastycznych, mogą zostać przetestowane bez konieczności wykonywania prób na zimno, niemniej jednak musi to być wcześniej zatwierdzone przez Zamawiającego.

Pełne wykonanie wszystkich wymaganych testów, potwierdzone spójnymi protokołami z badań, będzie warunkiem koniecznym do zatwierdzenia wykonania umowy.

## 16.2. TESTY U WYKONAWCY

### 16.2.1. INFORMACJE OGÓLNE

Każdy komponent przenoszący ciśnienie i zabudowany płaszczem próżniowym lub bez płaszcza próżniowego należy poddać testom przed jego wysyłką na miejsce instalacji. Testy te mają zagwarantować bezpieczną pracę tych elementów podczas funkcjonowania lasera. Testy dotyczą w szczególności rur procesowych, kompensatorów, węży elastycznych, zaworów oraz instrumentacji. W gestii Wykonawcy pozostaje decyzja, czy niektóre komponenty powinny być testowane jako osobne podzłożenia, czy całościowo jako wbudowany element większej całości. Może to wynikać z konstrukcji komponentu, łatwości wykonania testu, jego ekonomicznego i technicznego uzasadnienia lub innych czynników zewnętrznych takich jak analiza ryzyka.

### 16.2.2. TESTY POJEDYNCZEGO KOMPONENTU

Wszystkie pojedyncze komponenty, będące produkcją własną Wykonawcy lub przenoszące ciśnienie lub podciśnienie (takie jak prefabrykowane odcinki rur, kompensatory, węże elastyczne itp.), które nie są przeznaczone do montażu w jakimkolwiek urządzeniu u Wykonawcy (np. w linii transferowej, module zaworowym itp.) ale zostaną w przyszłości zainstalowane, powinny zostać przetestowane zgodnie z poniższymi wytycznymi.

#### 16.2.2.1. TESTY I BADANIA SPOIN

Wszystkie spoiny powinny być sprawdzane i badane zgodnie z normą EN 13480-5. Inspekcja oraz testy powinny obejmować przegląd dokumentów spawalniczych, kontrolę przygotowanych do spawania elementów,

proces spawania i kontrolę po spawaniu. Badania należy wykonać zgodnie z wymaganiami dotyczącymi kontroli spoin określonymi w rozdziale 15.1, w którym opisano między innymi wymagania dotyczące badań wizualnych i rentgenowskich.

Zamawiający nie nakłada na Wykonawcę obowiązku testowania każdego elementu osobno, wymaga jedynie, aby wszystkie elementy zostały poddane kontroli. Procedury testowe muszą zostać przedstawione Wykonawcy na etapie uzgadniania projektu technicznego i mogą zostać zastosowane jedynie po uzyskaniu zatwierdzenia przez Wykonawcę. Wynik kontroli w formie raportu z przebiegu kontroli musi zostać dołączony. Raport powinien zawierać plan procesu kontroli, wykorzystaną aparaturę zdjęcie lub szkic sytuacyjny, progi decyzyjne oraz wynik kontroli.

#### **16.2.2.2. TESTY SZCZELNOŚCI POJEDYNCZYCH SPOIN**

Badany element powinien być odpompowany wewnątrz do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, a następnie poddany próbie helowej poprzez nadmuch zewnętrznej powierzchni spoiny helum. Stwierdzona nieszczelność musi spełnić kryteria opisane w rozdziale 14.3.

#### **16.2.2.3. TEST CIŚNIENIOWY W TYMCZASOWYM ZBIORNIKU PRÓŻNIOWYM**

Badany komponent należy umieścić w prowizorycznym zbiorniku próżniowym. W zbiorniku tym należy odpompować próżnię do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar. Wnętrze badanego komponentu należy wypełnić gazem.

Test ciśnieniowy powinien być wykonany zgodnie z PED i wymaganiami EN 13480-5. Ciśnienie próby nie powinno być mniejsze niż 1.43-krotność maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia. W trakcie przeprowadzania próby, ciśnienie w badanym elemencie należy stopniowo zwiększać do uzyskania 50% wartości wymaganego ciśnienia próby. Następnie ciśnienie to należy zwiększać w min. 5 krokach o około 10% wartości wymaganego ciśnienia próby, aż do osiągnięcia pełnego ciśnienia próby.

Czas badania przy osiągnięciu pełnej wartości ciśnienia próby musi trwać co najmniej 20 minut, chyba że upoważnieni inspektorzy postanowią inaczej.

W zależności od procedury i celu badania, do próby ciśnieniowej można użyć następujących gazów: azotu, helu, mieszanki hel/azot (min. 20% helu). Jeżeli próba ciśnieniowa ma miejsce bezpośrednio przed badaniem szczelności helowej, wówczas jako gazu zaleca się użycie helu lub mieszanki hel/azot (min. 20% helu).

#### **16.2.2.4. TEST SZCZELNOŚCI CAŁEGO KOMPONENTU**

Po próbie ciśnieniowej, ciśnienie wewnątrz badanego elementu należy obniżyć do ciśnienia projektowego. Helowy detektor nieszczelności należy podłączyć do zbiornika próżniowego. Stwierdzona nieszczelność musi spełnić kryteria opisane w rozdziale 14.3.

W przypadku kompensatorów lub węży elastycznych własnej produkcji konieczne jest wykonanie dodatkowej próby na zimno połączonej z próbą szczelności helowej.

#### **16.2.2.5. SZOKOWANIE**

Badany komponent należy schłodzić do temperatury 80 K przy użyciu ciekłego azotu. Jeśli komponent umieszczony jest w tymczasowym zbiorniku próżniowym, wówczas zalewanie należy przeprowadzić w taki sposób, aby ciekły azot był wprowadzany przez port umieszczony z jednej strony, a wyprowadzany przez przeciwny port. Podczas badań należy zwrócić szczególną uwagę na wszelkie dźwięki dochodzące z wnętrza zbiornika, które mogą być efektem uszkodzeń, pęknięć itp.

#### **16.2.2.6. TEST SZCZELNOŚCI W STANIE ZIMNYM**

Po schłodzeniu komponentu należy przedmuchać układ suchym azotem w celu pozbycia się cieczy i napęlić go helem lub mieszanką hel/azot (min. 20% helu) do ciśnienia projektowego. Następnie badany komponent należy poddać testowi szczelności zgodnie opisem zawartym w rozdziale 16.2.2.4.

#### **16.2.2.7. ODGRZEWANIE I TEST SZCZELNOŚCI W STANIE CIEPŁYM**

Badany komponent należy odgrzać suchym azotem do temperatury powyżej 275 K, następnie opróżnić i napęlić helem lub mieszanką hel/azot (min. 20% helu) do ciśnienia projektowego. Następnie komponent należy poddać dodatkowemu testowi szczelności zgodnie z opisem w rozdziale 16.2.2.4.

### **16.2.3. TEST ZESPOŁÓW KOMPONENTÓW**

#### **16.2.3.1. INFORMACJE OGÓLNE**

Ten rozdział opisuje testy, które dotyczą wieloelementowych konstrukcji takich jak moduły zaworowe, moduły linii transferowej, moduły przyłączeniowe itp. Liczba testów wykonywanych podczas badań, zależy od złożoności danego zespołu.

#### **16.2.3.2. TESTY I BADANIA SPOIN**

Każda spoina wykonana podczas budowy urządzenia podlega takim samym badaniom, jak przy produkcji pojedynczego komponentu, opisanym w rozdziale 16.2.2.1. Należy wziąć pod uwagę, że podczas montażu niektóre spoiny mogą być trudniejsze do zbadania i przetestowania.

#### **16.2.3.3. TEST SZCZELNOŚCI RUR PROCESOWYCH**

Szczelność połączeń spawanych rur procesowych powinna zostać skontrolowana helowym wykrywaczem nieszczelności. W tym celu przestrzeń wewnętrzną należy odpompować do ciśnienia 5\*10<sup>-3</sup>mbar. Następnie każdą spoinę należy osobno z zewnątrz odmuchać helem. W przypadku rur o średnicy powyżej DN65 oraz wszystkich spoin umieszczonych na rurach pionowych, spoiny powinny być osłonięte za pomocą folii i taśmy klejącej. Bezpośrednie nakładanie taśmy klejącej na spoiny jest niedozwolone, ponieważ klej może zablokować nieszczelność. Przestrzeń pod folią należy wypełnić helem i pozostawić na 5 minut, po tym czasie należy dokonać pomiaru nieszczelności.

Stwierdzona nieszczelność musi spełnić kryteria opisane w rozdziale 14.3.

#### **16.2.3.4. TESTY CIŚNIENIOWE**

Testy ciśnieniowe należy przeprowadzić przynajmniej przed nałożeniem izolacji MLI, aby upewnić się, że wszystkie spawane części są wystarczająco mocne. Należy wziąć pod uwagę, że etap produkcji podczas którego wykonywana jest próba ciśnieniowa, powinien dawać możliwość szybkiej naprawy w przypadku niepowodzenia testu.

Ilość prób ciśnieniowych jest zależna od złożoności projektu. Wykonawca musi oszacować, czy wymagany jest więcej niż jeden test ciśnieniowy. Może istnieć zagrożenie, że wraz z rozbudową konstrukcji niektóre elementy mogą wpływać na inne i mieć na nie negatywny wpływ w trakcie wykonywania prób, poprzez generowanie dodatkowych sił lub naprężeń (np. podpory, kompensatory itp.). Wówczas próby ciśnieniowe należy przeprowadzić na kilku etapach produkcji.

Test ciśnieniowy powinien być wykonany zgodnie z PED i wymaganiami EN 13480-5. Ciśnienie próby nie powinno być mniejsze niż 1.43-krotność maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia. W trakcie przeprowadzania próby, ciśnienie w badanym elemencie należy stopniowo zwiększać do uzyskania 50% wartości wymaganego

ciśnienia próby. Następnie ciśnienie to należy zwiększać w min. 5 krokach o około 10% wartości wymaganego ciśnienia próby, aż do osiągnięcia pełnego ciśnienia próby.

Czas badania przy osiągnięciu pełnej wartości ciśnienia próby musi trwać co najmniej 20 minut, chyba że upoważnieni inspektorzy postanowią inaczej.

W zależności od procedury i celu badania, do próby ciśnieniowej można użyć następujących gazów: azotu, helu, mieszanki hel/azot (min. 20% helu). Jeżeli próba ciśnieniowa ma miejsce bezpośrednio przed badaniem szczelności helowej, wówczas jako gazu zaleca się użycie helu lub mieszanki hel/azot (min. 20% helu).

#### 16.2.3.5. KONTROLA WIZUALNA MLI

Po nałożeniu MLI należy każdorazowo dokonać skrupulatnej kontroli czy montaż został przeprowadzony w sposób zapewniający najlepszą możliwą ochronę przed promieniowaniem cieplnym i redukcję wymiany ciepła pomiędzy rurami procesowymi a otoczeniem.

Niedopuszczalne jest układanie sąsiednich warstw MLI w taki sposób, aby powstały między nimi zwarcia termiczne, np. przez kontakt ostatniej warstwy MLI jednego elementu z pierwszą warstwą MLI drugiego elementu.

#### 16.2.3.6. TESTY SZCZELNOŚCI PŁASZCZA PRÓŻNIOWEGO

Z przestrzeni płaszcza należy odpompować próżnię do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, a następnie poddać próbie szczelności helowej. Wszystkie spoiny należy hermetycznie przykryć z zewnątrz folią i zabezpieczyć taśmą klejącą. Bezpośrednie nakładanie taśmy klejącej na spoiny jest niedozwolone, ponieważ klej może zablokować nieszczelność. Przestrzeń pod folią należy wypełnić helem i pozostawić na 5 minut, po tym czasie należy dokonać pomiaru nieszczelności. Test należy przeprowadzić bez rur procesowych wewnątrz płaszcza lub pozostawić wszystkie rury procesowe otwarte, aby w tym samym czasie odpompować próżnię także z ich wnętrza, lub wyprowadzić rury procesowe na zewnątrz płaszcza próżniowego, by nie brały udziału w teście.

Detektor nieszczelności należy podłączyć do portu zamontowanego na prowizorycznej zaślepcie służącej do zamknięcia płaszcza próżniowego. Port próżniowy przyspawany bezpośrednio do płaszcza powinien pozostać zaślepiiony i wziąć udział w teście szczelności.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

#### 16.2.3.7. TESTY SZCZELNOŚCI ZAWORÓW

Testy szczelności zaworów należy przeprowadzić na kilku etapach produkcji CDS. W pierwszej kolejności zawory należy sprawdzić po dostawie od producenta zaworów, ale przed zainstalowaniem w urządzeniu.

Szczelność gniazd zaworów należy sprawdzać z obu stron, biorąc pod uwagę fakt, że ciśnienie może wystąpić po obu stronach zaworu (wlot/wylot). Zamawiający wymaga, aby również zawory przed zainstalowaniem zostały sprawdzone na szczelność w obu kierunkach. Z takiego testu mogą zostać wyłączone zawory posiadające certyfikat potwierdzający przeprowadzenie takiego testu u wytwórcy. Szczegóły dotyczące sposobu testowania zaworów zostaną ustalone pomiędzy Zamawiającym a Wykonawcą na etapie uzgadniania projektu technicznego.

Podczas testów wykonywanych na zaworach zamontowanych już w instalacji, wszystkie zawory powinny być zamknięte, a cały układ z jednej strony powinien zostać odpompowany do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar. Następnie każda z linii powinna być po kolei napełniana helem pod ciśnieniem obliczeniowym. Na drugim końcu instalacji, za zaworem, powinien zostać podłączony helowy wykrywacz nieszczelności, który sprawdzi szczelność gniazd zaworów. Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.4.

#### **16.2.3.8. TESTY FUNKCJONALNE ZAWORÓW**

Zawory należy kilkakrotnie sprawdzić w zakresie pełnego otwarcia i zamknięcia. Zawory muszą poruszać się lekko w całym zakresie działania mechanicznego, bez widocznych, słyszalnych i zauważalnych oznak i szarpnięć.

#### **16.2.3.9. TESTY CZUJNIKÓW TEMPERATURY**

Działanie czujników temperatury musi być kontrolowane przed i po każdym etapie produkcji i montażu, jak np. instalacja w punkcie pomiarowym, podłączenie do przepustu elektrycznego, szokowanie termiczne, nawinięcie MLI itp. Testy powinny obejmować pomiary rezystancji między każdą parą przewodów.

Po zamontowaniu czujników na rurze, ale przed nałożeniem MLI, należy sprawdzić ich działanie polewając czujniki ciekłym azotem. Wartości rezystancji należy sprawdzić za pomocą odpowiednich charakterystyk kalibracyjnych. Test należy powtórzyć co najmniej 5 razy.

### **16.2.4. TESTY FUNKCJONALNE WYPRODUKOWANYCH URZĄDZEŃ**

#### **16.2.4.1. INFORMACJE OGÓLNE**

W celu zminimalizowania ryzyka awarii, po zakończeniu produkcji poszczególnych urządzeń lub ich sekcji, takich jak moduły zaworowe, moduły przyłączeniowe, moduły linii transferowej itp., należy przeprowadzić testy funkcjonalne w warunkach jak najbardziej zbliżonych do warunków pracy urządzenia. W tym celu należy przeprowadzić testy na ciepło i na zimno. Wszystkie zawory, czujniki temperatury, wskaźniki poziomu, grzałki, przetworniki ciśnienia i manometry powinny zostać zamontowane na swoim docelowym miejscu i brać udział w testach.

Jeżeli w trakcie wykonywania któregoś z testów dojdzie do niepowodzenia, należy przerwać procedurę, naprawić usterkę i rozpocząć wszystkie testy od początku.

#### **16.2.4.2. TEST SZCZELNOŚCI PŁASZCZA PRÓŻNIOWEGO**

Przestrzeń wewnątrz płaszcza próżniowego powinna zostać odpompowana do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar. Wszelkie potencjalne miejsca nieszczelności na płaszczu próżniowym, takie jak spoiny, połączenia kołnierzowe, zawory, przepusty elektryczne itp. należy hermetycznie zakryć folią i zabezpieczyć taśmą klejącą. Bezpośrednie nakładanie folii klejącej na badany element jest niedozwolone, ponieważ klej może zablokować nieszczelność. Przestrzeń pod folią należy wypełnić helem i pozostawić na 5 minut, po tym czasie należy dokonać pomiaru nieszczelności.

Detektor nieszczelności należy podłączyć do portu zamontowanego na prowizorycznej zaślepce służącej do zamknięcia płaszcza próżniowego. Port próżniowy przyspawany bezpośrednio do płaszcza powinien pozostać zaślepiiony i wziąć udział w teście szczelności.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

#### **16.2.4.3. TEST CIŚNIENIOWY RUR PROCESOWYCH**

Po pomyślnym przeprowadzeniu testu szczelności płaszcza próżniowego, cały układ rur procesowych powinien zostać napełniony helem (lub mieszkanką azot/hel min. 20% helu) do ciśnienia nie mniejszego niż 1.43-krotność maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia. W trakcie przeprowadzania próby, ciśnienie w badanym elemencie należy stopniowo zwiększać do uzyskania 50% wartości wymaganego ciśnienia próby. Następnie ciśnienie to należy zwiększać w min. 5 krokach o około 10% wartości wymaganego ciśnienia próby, aż do osiągnięcia pełnego ciśnienia próby.



Czas badania przy osiągnięciu pełnej wartości ciśnienia próby musi trwać co najmniej 20 minut, chyba że upoważnieni inspektorzy postanowią inaczej.

#### **16.2.4.4. TEST SZCZELNOŚCI RUR PROCESOWYCH**

Po pomyślnym przeprowadzeniu próby ciśnieniowej rur procesowych ciśnienie wewnątrz rur należy obniżyć do ciśnienia projektowego. Wykrywacz nieszczelności podłączony do płaszcza próżniowego powinien rozpocząć działanie i mierzyć nieszczelność rur procesowych do przestrzeni próżniowej.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

#### **16.2.4.5. SCHŁADZANIE RUR PROCESOWYCH**

Po pomyślnym przeprowadzeniu próby szczelności, należy usunąć ciśnienie z rur procesowych i schłodzić rury do temperatury 80 K przy użyciu ciekłego azotu. Zalewanie rur należy przeprowadzić w taki sposób, aby ciekły azot był wprowadzany przez jeden port, przepływał przez wszystkie rury procesowe i zawory, po czym wypływał przez przeciwny port. Podczas badania należy zwrócić szczególną uwagę na wszelkie dźwięki dochodzące z wnętrza urządzenia, które mogą być efektem uszkodzeń, pęknięć itp.

#### **16.2.4.6. TEST SZCZELNOŚCI RUR PROCESOWYCH W STANIE ZIMNYM**

Po schłodzeniu układu należy wydmuchać ciecz z rur procesowych i przeprowadzić próbę szczelności helowej w stanie zimnym, w oparciu o te same zasady, które opisano w rozdziale 16.2.2.6.

#### **16.2.4.7. ODGRZEWANIE RUR PROCESOWYCH**

Po pomyślnym przeprowadzeniu próby szczelności w stanie zimnym, wszystkie rury procesowe należy odgrzać ciepłym azotem. Temperatura azotu nie może przekraczać 360 K, aby uniknąć zniszczenia MLI. Proces należy zakończyć, gdy czujniki temperatury na końcu otworu wylotowego wskażą 275 K.

#### **16.2.4.8. TEST SZCZELNOŚCI RUR PROCESOWYCH W STANIE CIEPŁYM**

Po odgrzaniu rur procesowych, należy wykonać próbę szczelności helowej w stanie ciepłym. W tym celu należy napełnić układ helem lub mieszkanką hel/azot (min. 20% helu) do ciśnienia projektowego. Wykrywacz nieszczelności podłączony do przestrzeni próżniowej powinien rozpocząć działanie i mierzyć nieszczelność rur procesowych.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

#### **16.2.4.9. TEST SZCZELNOŚCI ZAWORÓW**

Zawory muszą zostać przetestowane w gotowych urządzeniach (modułach zaworowych). Testy szczelności należy przeprowadzać w różnych warunkach, czyli przed, w trakcie i po zakończeniu procesu schładzania i odgrzewania

Szczelność gniazd zaworów należy sprawdzać z obu stron, biorąc pod uwagę, że ciśnienie może wystąpić po obu stronach zaworu (wlot/wylot). Zamawiający wymaga, aby również zawory przed zainstalowaniem zostały sprawdzone na szczelność w obu kierunkach. Z takiego testu mogą zostać wyłączone zawory posiadające certyfikat potwierdzający przeprowadzenie takiego testu u wytwórcy. Szczegóły dotyczące sposobu testowania zaworów zostaną ustalone pomiędzy Zamawiającym a Wykonawcą na etapie uzgadniania projektu technicznego.

Wszystkie zawory powinny zostać otwarte, a cały układ odpompowany do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar. Następnie zawory powinny zostać zamknięte. Następnie każda z linii powinna być po kolei napełniana helem pod ciśnieniem obliczeniowym. Na drugim końcu instalacji za zaworem powinien zostać podłączony helowy wykrywacz

nieszczelności, który sprawdzi szczelność gniazd zaworów. Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.4.

#### **16.2.4.10. TESTY FUNKCJONALNE ZAWORÓW**

Testy funkcjonalne zaworów należy przeprowadzać w różnych warunkach, czyli przed, w trakcie i po zakończeniu procesu schładzania i odgrzewania.

Zawory należy kilkakrotnie sprawdzić w zakresie pełnego otwarcia i zamknięcia. Zawory muszą poruszać się lekko w całym zakresie działania mechanicznego, bez widocznych, słyszalnych i zauważalnych oznak i szarpnięć.

#### **16.2.4.11. TESTY PRZETWORNIKÓW CIŚNIENIA**

Przetworniki ciśnienia powinny zostać zamontowane na swoich docelowych miejscach i brać udział we wszystkich wyżej wymienionych testach.

Powinna zostać sprawdzona ogólna funkcjonalność przetworników, taka jak odczyt sygnału, wybór menu, ustawienia itp. Należy kontrolować, czy przetwornik odbiera poprawnie sygnał i czy jest w stanie przesłać go dalej do sterownika.

Podczas testu należy sprawdzić, czy ciśnienie wskazywane przez przetwornik jest prawidłowe. W tym celu należy zastosować inny przetwornik ciśnienia lub manometr o odpowiednim zakresie wskazań.

Zblocze zaworowe przetwornika ciśnienia (lub zawór odcinający) powinno zostać skontrolowane, czy działa poprawnie, czy jest w stanie oddzielić przetwornik od dopływu gazu i czy jest szczelny helowo zgodnie z wytycznymi opisanymi w rozdziale 14.3 i 14.4. Należy sprawdzić, czy wszystkie zawory w kolektorze poruszają się delikatnie w całym zakresie działania mechanicznego, bez widocznych, słyszalnych i zauważalnych oznak i szarpnięć.

#### **16.2.4.12. TESTY CZUJNIKÓW TEMPERATURY**

Sprawność czujników temperatury musi być kontrolowana na wszystkich etapach testów opisanych w rozdziale 16.2.4.

Wartości rezystancji czujników powinny być szczególnie monitorowane w niskich temperaturach, a ich wartości weryfikowane za pomocą odpowiednich charakterystyk kalibracyjnych.

#### **16.2.4.13. TESTY GRZAŁEK**

Podczas testów grzałki powinny być zamontowane na swoich docelowych miejscach i brać udział we wszystkich wymienionych powyżej testach.

Grzałki powinny zostać sprawdzone pod kątem maksymalnej osiągniętej temperatury, która nie powinna przekraczać temperatury dopuszczalnej przez MLI i samą grzałkę. Test powinien odbyć się również w momencie, gdy urządzenie jest wychłodzone ciekłym azotem. Po odłączeniu zasilania, temperatura grzałek powinna wrócić do poziomu temperatury ciekłego azotu. Test należy powtórzyć co najmniej trzykrotnie.

Podczas testów należy sprawdzić wszystkie przewody, złącza kablowe, przepusty, wtyki itp., czy nadmiernie się nie nagzewają, czy nie ma uszkodzeń w izolacji lub zwarć do obudowy.

Podczas prób nagrzewania i studzenia należy sprawdzić, czy grzałki nie są uszkodzone, czy sposób ich montażu oraz duża różnica temperatur nie powodują ich uszkodzenia lub nie wpływają negatywnie na inne elementy w otoczeniu.

#### 16.2.4.14. TESTY WSKAŹNIKÓW POZIOMU HELU

Wskaźniki poziomu należy przetestować w miarę możliwości technicznych ograniczonych ze względu na brak sposobności wykonania testów w ciekłym helu. W związku z tym, po wykonaniu wszystkich testów należy sprawdzić, czy poziomowskazy nie zostały uszkodzone podczas badań, czy przewody pozostały na swoim miejscu, czy nie poluzowały się, czy jest sygnał prądowy.

Testy obejmują sprawdzenie rezystancji pomiędzy każdą parą przewodów.

#### 16.2.4.15. WERYFIKACJA WYMIARÓW

Po wykonaniu prac montażowych należy zweryfikować odpowiednie wymiary komponentów CDS. Odpowiednie wymiary to wymiary kluczowe, które mają bezpośredni wpływ na prawidłowy i szybki montaż urządzeń na miejscu instalacji, których ewentualne niedotrzymanie może wydłużyć czas montażu lub go skomplikować. Takimi wymiarami mogą być wysokość, na której znajdują się przyłącza, odległość między kohnierzami, prostopadłość i równoległość, współliniowość współpracujących elementów itp.

Wszystkie wymiary powinny odpowiadać wartościom podanym na ostatecznej wersji dokumentacji rysunkowej produkcyjnej i montażowej.

### 16.3. TESTY W SIEDZIBIE ZAMAWIAJĄCEGO

#### 16.3.1. KONTROLA ELEMENTÓW DOSTARCZONYCH DO NA MIEJSCE INSTALACJI

Wszystkie elementy CDS wwożone na miejsce instalacji podlegają kontroli, która będzie obejmować:

- Integralność opakowania, sprawdzenie ewentualnych uszkodzeń zewnętrznych powstałych podczas transportu.
- Integralność dostarczonych urządzeń, sprawdzenie ewentualnych uszkodzeń wewnętrznych powstałych podczas transportu.
- Czystość transportu, sprawdzenie ewentualnych wewnętrznych zabrudzeń kurzem i wodą powstałych podczas transportu.
- Przyspieszenia transportu, sprawdzenie, czy zmierzone przyspieszenia pozostawały poniżej dopuszczalnych wartości.

#### 16.3.2. KONTROLA POŁOŻENIA ELEMENTÓW

Montaż elementów CDS należy rozpocząć od ustawienia podpór w odpowiednich miejscach zgodnie z dokumentacją. Wszelkie mocowania podpór (również wstępne mocowanie) i pozycjonowanie wymagają akceptacji Zamawiającego. Wykonywanie jakichkolwiek wierceń w murze, posadzce, stropie itp. jest zabronione do czasu uzyskania pisemnej zgody Zamawiającego. Przed jakimkolwiek ostatecznym zamocowaniem Wykonawca musi upewnić się, że podzespoły znajdują się we właściwej pozycji. Nieodwracalne procesy, takie jak spawanie, należy poprzedzić upewnieniem się, że elementy są prawidłowo ustawione. Wszelkie regulacje położenia należy wykonać przed spawaniem do sąsiedniej części, co oznacza, że nie wolno przesuwać zestawu dwóch lub więcej elementów, po ich zespawaniu.

Rozmieszczenie krytycznych komponentów, takich jak moduły zaworowe i elementy przyłączeniowe z określonymi punktami interfejsu, zostaną sprawdzone i zatwierdzone przez Zamawiającego w oparciu o znaczniki pomiarowe opisane w rozdziale 13.7.

### 16.3.3. TESTY I KONTROLA SPOIN

Każda spoina wykonana podczas montażu będzie podlegać takim samym badaniom, jak przy produkcji pojedynczego elementu, opisanym w rozdziale 16.2.2.1. Należy wziąć pod uwagę fakt, że podczas montażu niektóre spoiny z racji ograniczonego dostępu mogą być trudniejsze do wykonania i przetestowania.

### 16.3.4. TEST SZCZELNOŚCI RUR PROCESOWYCH

Każda spoina wykonana podczas montażu musi zostać poddana takiemu samemu testowi szczelności helowej, jaki odbywa się podczas produkcji, opisanemu w rozdziale 16.2.3.3.

### 16.3.5. TESTY CIŚNIENIOWE

Testy ciśnieniowe należy przeprowadzić wówczas, gdy wszystkie rury procesowe zostaną połączone w pętle zgodnie z ich ostateczną konfiguracją. Testy należy wykonać przed nałożeniem MLI, aby mieć dostęp do wykonanych na montażu połączeń. Należy wziąć pod uwagę fakt, że etap wykonywania testu powinien dawać możliwość ewentualnej naprawy w przypadku niepowodzenia testu.

Próbę ciśnieniową należy wykonać w taki sam sposób, jak w rozdziale 16.2.3.4.

Podczas prób ciśnieniowych odpowiednie zawory bezpieczeństwa i podpory przesuwne powinny być zablokowane.

### 16.3.6. KONTROLA WIZUALNA MLI

Kontrola wzrokowa MLI podlega takiej samej kontroli wizualnej, jak podczas produkcji, opisaną w rozdziale 16.2.5.

### 16.3.7. TEST SZCZELNOŚCI PŁASZCZA PRÓŻNIOWEGO

Po zamontowaniu wszystkich muf łączących sąsiednie elementy i zamknięcie wszystkich barier próżniowych, należy w każdej objętości wewnątrz płaszczki próżniowej odpompować próżnię do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, a następnie poddać próbę szczelności helowej poprzez odmuchanie helu wszystkich nowych spoin, połączeń, kołnierzy itp., które zostały wykonane w miejscu instalacji. Nowe elementy należy hermetycznie zakryć przy pomocy folii i taśmy klejącej. Bezpośrednie nakładanie taśmy klejącej na badany element jest niedozwolone, ponieważ klej może zablokować nieszczelność. Przestrzeń pod folią należy wypełnić helu i pozostawić na 5 minut, po tym czasie należy dokonać pomiaru nieszczelności.

Detektor nieszczelności należy podłączyć do specjalnie do tego celu przeznaczonego portu próżniowego.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

### 16.3.8. TESTY SZCZELNOŚCI RUR PROCESOWYCH PO ZAMKNIĘCIU PŁASZCZA PRÓŻNIOWEGO

Po wykonaniu testów szczelności płaszczki próżniowej, wewnętrzny układ rur procesowych należy skontrolować pod kątem szczelności helowej. Rury procesowe powinny zostać napełnione helu lub mieszanką hel/azot (min. 20% helu) do uzyskania ciśnienia projektowego. Detektor wycieków należy podłączyć do jednego z portów pompowania próżni.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

Podczas próby szczelności odpowiednie zawory bezpieczeństwa powinny być zablokowane.

### 16.3.9. TESTY SZCZELNOŚCI NIEIZOLOWANYCH RUROCIĄGÓW

Wszystkie rurociągi nieizolowane, linie pomocnicze i ciepłe połączenia z zimnymi przewodami procesowymi (rurki impulsowe przetworników ciśnienia, połączenia z urządzeniami obniżającymi ciśnienie itp.) należy poddać próbie szczelności helowej. W tym celu objętość wewnątrz rury procesowej należy odpompować do ciśnienia  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, a następnie poddać badaniu w taki sam sposób, jak opisano w rozdziale 16.2.3.3.

Stwierdzone nieszczelności muszą spełniać kryteria opisane w rozdziale 14.3.

### 16.3.10. TESTY CIŚNIENIOWE NIEIZOLOWANYCH RUROCIĄGÓW

Wszystkie rurociągi nieizolowane, linie pomocnicze i ciepłe połączenia z zimnymi przewodami procesowymi (rurki impulsowe przetworników ciśnienia, połączenia z urządzeniami obniżającymi ciśnienie itp.) należy poddać próbie ciśnieniowej. Próba ciśnieniowa powinna być wykonana zgodnie z PED i wymaganiami EN 13480-5. Ciśnienie próby nie powinno być mniejsze niż 1.43-krotność maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia. W trakcie przeprowadzania próby, ciśnienie w badanym elemencie należy stopniowo zwiększać do uzyskania 50% wartości wymaganego ciśnienia próby. Następnie ciśnienie to należy zwiększać w min. 5 krokach o około 10% wartości wymaganego ciśnienia próby, aż do osiągnięcia pełnego ciśnienia próby.

Czas badania przy osiągnięciu pełnej wartości ciśnienia próby musi trwać co najmniej 20 minut, chyba że upoważnieni inspektorzy postanowią inaczej.

W zależności od procedury i celu badania, do próby ciśnieniowej można użyć następujących gazów: azotu, helu, mieszanki hel/azot (min. 20% helu).

## 16.4. TESTY ODBIOROWE

### 16.4.1. INFORMACJE OGÓLNE

Testy odbiorowe należy przeprowadzić w momencie, gdy CDS zostanie podłączony do krioplantu i do kriomodułów, co oznacza integrację wszystkich rurociągow wraz z systemem sterowania.

Jeśli z jakichś przyczyn niezależnych od Wykonawcy, nie będzie możliwe podłączenie CDS do krioplantu i kriomodułów, np. z uwagi na opóźnienia w dostawie tych urządzeń, a tym samym nie będzie możliwe przeprowadzenie testów odbiorowych w terminie wskazanym w harmonogramie i przedstawionym w rozdziale 22, wówczas Wykonawca ma prawo zażądać przeprowadzenia testów odbiorowych w inny rozsądny sposób, np. poprzez uzgodnienie z Zamawiającym odrębnego terminu przeprowadzenia testów. Takie uzgodnienie musi mieć charakter pisemny i stanowić aneks do umowy.

Testy odbiorowe dzielą się na wstępne testy odbiorowe (PAT) i końcowe testy odbiorowe (FAT).

Wstępne testy odbiorowe obejmują weryfikację wszystkich wstępnych testów podczas produkcji, wytwarzania i montażu (takich jak spawanie, testy ciśnieniowe, testy szczelności, itp.) wraz z przeprowadzeniem jednego pełnego cyklu schłodzenia i odgrzania CDS. Dodatkowe wymagania opisane są w rozdziale 16.4.2.

Końcowe testy odbiorowe obejmują przeprowadzenie 10 pełnych cykli schładzania i odgrzania. Dodatkowe wymagania opisane są w rozdziale 16.4.3.

### 16.4.2. WSTĘPNE TESTY ODBIOROWE

Wstępne testy odbiorowe (PAT) zostaną przeprowadzone przez Zamawiającego w obecności Wykonawcy. Jeśli CDS będzie uruchamiany osobno (bez kriomodułów), wówczas moduły przyłączeniowe kriomodułów powinny zostać zaślepienie za pomocą dedykowanych zaślepek (dostawa i montaż po stronie Wykonawcy), a rury

procesowe powinny zostać ze sobą odpowiednio połączone umożliwiając przepływ czynnika w zamkniętym obiegu.

#### 16.4.2.1. TESTY FUNKCJONALNE

Po wykonaniu procedury płukania i odpompowania wszystkich obiegów procesowych, cały układ CDS zostanie schłodzony do temperatury pracy. Poziom próżni w płaszczach próżniowych w stanie ciepłym nie może być mniejszy niż  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar.

Podczas schładzania, pracy w stanie ustalonym oraz odgrzewania, monitorowany będzie poziom próżni w płaszczach próżniowych, a także wartość nacieku helu z rur procesowych do przestrzeni próżniowej płaszcza. Zarejestrowane nieszczelności muszą być zgodne z kryteriami zawartymi w rozdziale 14.3.

Funkcjonalność wszystkich zaworów procesowych powinna być testowana zdalnie. Sprawdzone powinno zostać działanie instrumentacji w postaci przetworników ciśnienia, manometrów, czujników temperatury, czujników poziomu, grzałek itp. Ich funkcjonowanie musi spełniać kryteria opisane w rozdziałach poprzednich testów.

Podczas testów należy sprawdzić także system sterowania, czy wszystkie sygnały są poprawnie odbierane z czujników i przesyłane dalej do centralnego systemu sterowania laserem.

#### 16.4.2.2. POMIAR PARAMETRÓW TERMODYNAMICZNYCH I HYDRAULICZNYCH

Pomiary termodynamiczne będą obejmować pomiary obciążenia cieplnego i spadków ciśnienia dla wszystkich rur procesowych oraz dla ekranu termicznego CDS. Gdy zmierzone i wyznaczone parametry cieplne i hydrauliczne będą spełniać wymagania opisane w rozdziale 5, CDS zostanie uznany za wstępnie zaakceptowany.

#### 16.4.3. KOŃCOWE TESTY ODBIOROWE

Końcowe testy odbiorowe (FAT) oznaczają wykonanie 10 pełnych cykli roboczych. Jeśli podczas trwania testów nie zostanie stwierdzona żadna nieprawidłowość bądź usterka, wówczas uznaje się, że FAT został zaakceptowany. Jeden cykl roboczy oznacza całkowite schłodzenie i odgrzanie wszystkich rur procesowych wraz ekranami termicznymi od temperatury pokojowej do temperatury pracy.

Końcowe testy odbiorowe (FAT) powinny zostać przeprowadzone niezwłocznie po pozytywnym zakończeniu wstępnych testów odbiorowych (PAT). Jeśli jednak z przyczyn niezależnych od Wykonawcy, przeprowadzenie FAT nie będzie możliwe, wówczas po upływie 6 miesięcy od pozytywnego zakończenia PAT, uznaje się, że końcowe testy odbiorowe (FAT) zostały wykonane.

## 17. DOSTAWA

Po zakończeniu testów produkcyjnych w siedzibie Wykonawcy, Wykonawca musi poinformować Zamawiającego o gotowości do wysyłki i uzgodni z Zamawiającym termin dostawy. Wysyłka może nastąpić tylko za uprzednią zgodą Zamawiającego. Dostawa komponentów CDS zostanie zatwierdzona dopiero po przeprowadzeniu wszystkich testów w siedzibie Wykonawcy i dostarczeniu niezbędnej dokumentacji do Zamawiającego, która w przypadku braku niezgodności, powinna zostać zatwierdzona przez Zamawiającego w formie pisemnej.

Wykonawca ponosi pełną odpowiedzialność za dostawę i rozładunek w siedzibie Zamawiającego wszystkich komponentów CDS. Zamawiający wskaże miejsce czasowego składowania dostarczonych przez Wykonawcę towarów. Przechowywanie, pakowanie, konserwacja i transport komponentów CDS, muszą być wykonane

w sposób, który będzie chronił komponenty przed czynnikami mogącymi obniżyć ich jakość. Wykonawca ponosi wszelkie koszty za szkody spowodowane niewłaściwym pakowaniem, zabezpieczeniem i transportem.

Płaszcz próżniowy, rury procesowe i wewnętrzne części każdego komponentu muszą być zamknięte zaślepkami, aby uniknąć wnikania kurzu i wilgoci. Dodatkowo przestrzeń wewnętrzną musi być wypełniona suchym azotem. Wszystkie powierzchnie uszczelniające należy zabezpieczyć przed rdzą i uszkodzeniami. Wszelkie części wystające, swobodnie wiszące i ruchome muszą być specjalnie zabezpieczone.

Należy zwrócić szczególną uwagę na elementy wewnętrzne, które mogłyby ulec uszkodzeniu lub przeciążeniu w wyniku przyspieszeń występujących podczas transportu. W razie potrzeby należy zastosować blokady transportowe lub dodatkowe podpory wewnętrzne. W dokumentacji projektowej Wykonawca wskaże sposób pakowania elementów na czas transportu oraz rodzaj detektorów które będą zainstalowane na opakowaniach transportowych np. czujnik wstrząsu, czujnik pochylenia itp. wraz z ich wartościami.

Po każdej dostawie do siedziby Zamawiającego, komponenty muszą zostać sprawdzone zarówno przez Wykonawcę, jak i przedstawiciela Zamawiającego w celu zaprotokołowania wszelkich uszkodzeń, które mogły powstać podczas transportu.

Komponenty muszą być trwale i wyraźnie oznakowane w postaci etykiety zawierającej nazwę i numer części. Oznakowanie należy umieścić w widocznym miejscu.

Miejsce tymczasowego przechowywania komponentów CDS przed instalacją zostanie wskazane przez Zamawiającego.

Miejsce dostawy:

**Narodowe Centrum Badań Jądrowych**  
ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock, Poland

## 18. ZAKRES DOSTAWY

### 18.1. W ZAKRESIE ZADANIA 1

#### 18.1.1. KOMPONENTY

Zakres dostawy obejmuje następujące elementy:

- Linia transferowa (za wyjątkiem odcinka linii transferowej łączącej moduły zaworowe 4 i 5; linia transferowa w obszarze pomiędzy modułem zaworowym 1 a 2, przystosowana do zainstalowania modułu zaworowego kriomodułu testowego)
- Moduły zaworowe (z elementami przyłączeniowymi): moduł zaworowy działa, moduł zaworowy 1-4,
- Moduł zwracający
- Elementy interkonekcji pomiędzy kriomodułami a dostarczonymi modułami zaworowymi, oraz pomiędzy linią transferową a skraplarką
- Linie pomocnicze (za wyjątkiem odcinka linii pomocniczych pomiędzy modułami zaworowymi 4 i 5; linie pomocnicze w obszarze pomiędzy modułem zaworowym 1 a 2, przystosowane do zainstalowania modułu zaworowego kriomodułu testowego)
- Oprzyrządowanie dostarczanych modułów zaworowych, linii transferowej oraz linii pomocniczych: zawory kriogeniczne, ciepłe zawory, zawory ręczne, zawory bezpieczeństwa, płytki bezpieczeństwa, przetworniki ciśnienia, wskaźniki ciśnienia, czujniki temperatury, czujniki poziomu, grzałki etc.
- System sterowania i kontroli dostarczanych komponentów
- Podpory zewnętrzne (ze śrubami i elementami do ich mocowania etc.) dla linii transferowej, modułów zaworowych, linii pomocniczych itp. (w zakresie właściwym dla dostawy tych elementów)

Dodatkowo Wykonawca zapewni na czas montażu:

- Narzędzia niezbędne do instalacji
- Wyposażenie niezbędne do przeprowadzenia testów ciśnieniowych, testów szczelności helowej itp.
- Urządzenia do pozycjonowania (laser tracker itp.)
- Gazy techniczne do spawania, testowania i płukania instalacji
- Wszelkie specjalistyczne narzędzia i urządzenia dźwigowe niezbędne podczas instalacji i prac na wysokościach, m.in. rusztowania, wciągniki, dźwigi, platformy itp.
- Inne narzędzia, które mogą być potrzebne do przeprowadzenia napraw lub konserwacji CDS

### 18.1.2. ZAKRES PRAC

Przedmiotem dostawy są następujące czynności:

- Wykonanie projektu CDS zgodnie wymogami Dyrektywy ciśnieniowej 2014/68/WE norm zawartych w tym dokumencie. Ustalenie kategorii, do której klasyfikuje się CDS, spoczywa na Wykonawcy, natomiast wybór modułu procedury zgodności CDS spośród ustalonej przez Wykonawcę kategorii, spoczywa na Zamawiającym. Projekt w zakresie właściwym dla Zadania 1, zapewniający możliwość poszerzenia CDS w zakresie właściwym dla Zadania 2.
- Wykonanie niezbędnych obliczeń cieplnych, termodynamicznych, mechanicznych, wytrzymałościowych.
- Przeprowadzenie obliczeń i analiz oraz doboru urządzeń takich jak zawory, czujniki, przetworniki itp.
- Produkcja CDS w zakresie właściwym dla Zadania 1.
- Transport komponentów CDS do siedziby Zamawiającego i ich rozładunek wraz z zapewnieniem niezbędnych do tego celu narzędzi.
- Pozycjonowanie ze szczególnym uwzględnieniem elementów przyłączeniowych do kriomodułów.
- Instalacja wszystkich komponentów, w tym wszystkich niezbędnych elementów podpór. Wykonawca jest również odpowiedzialny za wszelkie niezbędne rusztowania, dźwigi i pomosty robocze wymagane do tego celu.
- Podłączenie CDS do skraplarki helowej i do kriomodułów 1-4 oraz kriomodułu działła.
- Wykonanie testów CDS zgodnie z opisem w rozdziale 16.

### 18.1.3. DOKUMENTACJA

Dokumenty wymienione poniżej należą do zakresu dostawy:

- Kompletna dokumentacja stworzona na podstawie wymagań:
  - Dyrektywy ciśnieniowej 2014/68/WE
  - Urzędu Dozoru Technicznego
  - Jednostek notyfikowanych
  - oznakowania CE
  - deklaracji zgodności
- Szczegółowa specyfikacja i instrukcje użytkowania dla wszystkich komponentów
- Szczegółowy opis procedur i algorytmów sterowania instalacją dla poszczególnych trybów pracy wymienionych w p. 5.1 (patrz p. 12)
- Niezbędne obliczenia średnic, grubości ścianek, przepływów itp.
- Obliczenia i dobór zaworów, w tym zaworów bezpieczeństwa
- Szczegółowe modele 3D dostarczanych urządzeń, w tym projekt 3D zespołów, w pliku stp i plikach natywnych



- Kompletny zestaw rysunków złożeniowych i wykonawczych wszystkich komponentów z wykazami części, spisem użytych materiałów itp.
- Kompletny zestaw rysunków powykonawczych
- Plan zarządzania jakością wraz z harmonogramem prac
- Listy użytych materiałów z raportami z testów i certyfikatami materiałowymi EN 10204-3.1
- Dokumentacja dotycząca procedur spawalniczych, w tym certyfikaty z testów technologii spawania, egzaminów spawaczy i próbek spawalniczych
- Wszystkie raporty z testów i inspekcji, w tym protokoły z badań rentgenowskich spoin, protokoły VT, protokoły z testów szczelności helowych, protokoły testów ciśnieniowych itp.
- Raporty i wszystkie inne dokumenty powstałe podczas okresowych spotkań/wizyt itp.
- Dokumenty związane z realizacją każdego z etapów projektu opisanych w rozdziale 21

Wszystkie dokumenty powinny zostać dostarczone w formie elektronicznej na dwóch płytach DVD, trzech nośnikach USB oraz wydrukowane w 3 zestawach.

Powyższe dokumenty należy dostarczyć w języku angielskim lub polskim.

Wszystkie jednostki miar, wag itp. powinny należeć do układu SI. Niezależnie od dokumentacji dla Zamawiającego, Wykonawca musi prowadzić listę wszystkich przygotowywanych dokumentów ze wskazaniem statusu rewizji. Wszystkie zmiany w ważnych dokumentach powinny być wyraźnie oznaczone w celu wskazania statusu rewizji (indeks zmian). W przypadku ponownych zmian należy usunąć oznaczenia z poprzedniej rewizji. Dokumenty niezgodne z tymi obostrzeniami zostaną odrzucone i uznane za niezłożone. Należy podać numery identyfikacyjne wszystkich dokumentów.

#### 18.1.4. CZĘŚCI ZAPASOWE

W skład dostawy wchodzi również części zapasowe w postaci:

- Kriogeniczne zawory regulacyjne: 10% dla każdego typu i rozmiaru, ale nie mniej niż 1 szt.
- Ciepłe zawory regulacyjne: 1szt. każdego rodzaju.
- Zawory ręczne: 1 szt. każdego rodzaju.
- Zestawy naprawcze dla ww. zaworów: 1 kpl. dla każdego typu i rozmiaru zaworu.
- Uszczelnienia dla ww. zaworów: 1 szt. każdego rodzaju.
- Zawory bezpieczeństwa 1szt. każdego rodzaju.
- Płytki bezpieczeństwa: 1sz. każdego rodzaju.
- Zawory zwrotne: 1 szt. każdego rodzaju.
- Przetworniki ciśnienia: 1 szt. każdego rodzaju.
- Wskaźniki ciśnienia: 1 szt. dla każdego typu i rozmiaru.
- Przepusty prądowe: 10% dla każdego typu i rozmiaru, ale nie mniej niż 1 szt.
- Grzałka: 1 szt.
- Kompensatory: do DN35 - 3 szt. powyżej DN35 - 1 szt.
- Węże elastyczne: do DN35 - 6 szt. powyżej DN35 - 1 szt.

## 18.2. W ZAKRESIE ZADANIA 2

### 18.2.1. KOMPONENTY

Zakres dostawy obejmuje następujące elementy:

- Linia transferowa: odcinek linii transferowej łączącej moduły zaworowe 4 i 5

- Moduł zaworowy 5 wraz z elementem przyłączeniowym
- Element przyłączeniowy modułu zaworowego stanowiska testowego (który to moduł stanowi niezależnie dostarczany wkład partnera przemysłowego Zamawiającego)
- Elementy interkonekcji pomiędzy kriomodułami (kriomodulem testowym i kriomodulem 5) a odpowiadającymi im modułami zaworowymi
- Linie pomocnicze: odcinek linii pomocniczych w obszarze pomiędzy modułami zaworowymi 4 i 5
- Oprzyrządowanie dostarczanego modułu zaworowego, linii transferowej oraz linii pomocniczych: zawory kriogeniczne, ciepłe zawory, zawory ręczne, zawory bezpieczeństwa, płytki bezpieczeństwa, przetworniki ciśnienia, wskaźniki ciśnienia, czujniki temperatury, czujniki poziomu, grzałki etc.
- System sterowania i kontroli dostarczanych komponentów
- Podpory zewnętrzne (ze śrubami i elementami do ich mocowania etc.) dla linii transferowej, modułów zaworowych, linii pomocniczych itp. (w zakresie właściwym dla dostawy tych elementów)

Dodatkowo Wykonawca zapewni na czas montażu:

- Narzędzia niezbędne do instalacji
- Wyposażenie niezbędne do przeprowadzenia testów ciśnieniowych, testów szczelności helowej itp.
- Urządzenia do pozycjonowania (laser tracker itp.)
- Gazy techniczne do spawania, testowania i płukania instalacji
- Wszelkie specjalistyczne narzędzia i urządzenia dźwigowe niezbędne podczas instalacji i prac na wysokościach, m.in. rusztowania, wciągniki, dźwigi, platformy itp.
- Inne narzędzia, które mogą być potrzebne do przeprowadzenia napraw lub konserwacji CDS

### 18.2.2. ZAKRES PRAC

Przedmiotem dostawy są następujące czynności:

- Wykonanie projektu CDS zgodnie z wymogami Dyrektywy ciśnieniowej 2014/68/WE norm zawartych w tym dokumencie. Ustalenie kategorii, do której klasyfikuje się CDS, spoczywa na Wykonawcy, natomiast wybór modułu procedury zgodności CDS spośród ustalonej przez Wykonawcę kategorii, spoczywa na Zamawiającym. Projekt w zakresie właściwym dla Zadania 2. Dokumentacją projektową modułu zaworowego stanowiska testowego kriomodułów przekaże Wykonawcy Zamawiający.
- Wykonanie niezbędnych obliczeń cieplnych, termodynamicznych, mechanicznych, wytrzymałościowych.
- Przeprowadzenie obliczeń i analiz oraz doboru urządzeń takich jak zawory, czujniki, przetworniki itp.
- Produkcja elementów CDS w zakresie Zadania 2 wskazanym powyżej.
- Transport wszystkich komponentów CDS na miejsce instalacji i ich rozładunek wraz z zapewnieniem niezbędnych do tego celu narzędzi.
- Analiza technicznej dokumentacji modułu zaworowego stanowiska testowego kriomodułów, stanowiącego wkład własny partnera przemysłowego Zamawiającego oraz ewentualną jego inspekcję i testy (wg uznania Wykonawcy) w celu potwierdzenia przydatności tego modułu do realizacji Zadania 2.
- Pozycjonowanie ze szczególnym uwzględnieniem elementów przyłączeniowych do kriomodułów. Pozycjonowanie dotyczy również modułu zaworowego stanowiska testowego kriomodułów, stanowiącego wkład własny partnera przemysłowego Zamawiającego.
- Opracowanie planu instalacji w zakresie właściwym dla Zadania 2, zapewniającym zgodność z systemem CDS stanowiącym przedmiot Zadania 1.
- Instalacja wszystkich komponentów dostawy, w tym wszystkich niezbędnych elementów podpór. Wykonawca jest również odpowiedzialny za wszelkie niezbędne rusztowania, dźwigi i pomosty robocze wymagane do tego celu.

- Podłączenie wszystkich komponentów będących przedmiotem dostawy do systemu CDS realizowanego w ramach Zadania 1.
- Wykonanie testów komponentów CDS wchodzących w zakres Zadania 2 zgodnie z opisem w rozdziale 16.
- Udział w testach całego systemu CDS w zakresie właściwym dla Zadania 2.

### 18.2.3. DOKUMENTACJA

Dokumenty wymienione poniżej należą do zakresu dostawy:

- Kompletna dokumentacja stworzona na podstawie wymagań:
  - Dyrektywy ciśnieniowej 2014/68/WE
  - Urzędu Dozoru Technicznego
  - Jednostek notyfikowanych
  - oznakowania CE
  - deklaracji zgodności
- Szczegółowa specyfikacja i instrukcje użytkowania dla wszystkich komponentów
- Szczegółowy opis procedur i algorytmów sterowania instalacją dla poszczególnych trybów pracy wymienionych w p. 5.1 (patrz p. 12)
  
- Niezbędne obliczenia średnic, grubości ścianek, przepływów itp.
- Obliczenia i dobór zaworów, w tym zaworów bezpieczeństwa
- Szczegółowe modele 3D dostarczanych urządzeń, w tym projekt 3D zespołów, w pliku stp i plikach natywnych
- Kompletny zestaw rysunków złożeniowych i wykonawczych wszystkich komponentów z wykazami części, spisem użytych materiałów itp.
- Kompletny zestaw rysunków powykonawczych
- Plan zarządzania jakością wraz z harmonogramem prac
- Listy użytych materiałów z raportami z testów i certyfikatami materiałowymi EN 10204-3.1
- Dokumentacja dotycząca procedur spawalniczych, w tym certyfikaty z testów technologii spawania, egzaminów spawaczy i próbek spawalniczych
- Wszystkie raporty z testów i inspekcji, w tym protokoły z badań rentgenowskich spoin, protokoły VT, protokoły z testów szczelności helowych, protokoły testów ciśnieniowych itp.
- Raporty i wszystkie inne dokumenty powstałe podczas okresowych spotkań/wizyt itp.
- Dokumenty związane z realizacją każdego z etapów projektu opisanych w rozdziale 21

Wszystkie dokumenty powinny zostać dostarczone w formie elektronicznej na dwóch płytach DVD, trzech nośnikach USB oraz wydrukowane w 3 zestawach.

Powyższe dokumenty należy dostarczyć w języku angielskim lub polskim.

Wszystkie jednostki miar, wag itp. powinny należeć do układu SI. Niezależnie od dokumentacji dla Zamawiającego, Wykonawca musi prowadzić listę wszystkich przygotowywanych dokumentów ze wskazaniem statusu rewizji. Wszystkie zmiany w ważnych dokumentach powinny być wyraźnie oznaczone w celu wskazania statusu rewizji (indeks zmian). W przypadku ponownych zmian należy usunąć oznaczenia z poprzedniej rewizji. Dokumenty niezgodne z tymi obostrzeniami zostaną odrzucone i uznane za niezłożone. Należy podać numery identyfikacyjne wszystkich dokumentów.

#### 18.2.4. CZĘŚCI ZAPASOWE

W skład dostawy wchodzi również części zapasowe w postaci:

- Ciepłe zawory regulacyjne: 1 szt. każdego rodzaju.
- Zawory ręczne: 1 szt. każdego rodzaju.
- Zestawy naprawcze dla ww. zaworów: 1 kpl. dla każdego typu i rozmiaru zaworu.
- Uszczelnienia dla ww. zaworów: 1 szt. każdego rodzaju.
- Zawory bezpieczeństwa: 1 szt. każdego rodzaju.
- Płytki bezpieczeństwa: 1 szt. każdego rodzaju.
- Zawory zwrotne: 1 szt. każdego rodzaju.
- Przetworniki ciśnienia: 10% dla każdego typu i rozmiaru, ale nie mniej niż 1 szt.
- Wskaźniki ciśnienia: 1 szt. dla każdego typu i rozmiaru.
- Przepusty prądowe: 10% dla każdego typu i rozmiaru, ale nie mniej niż 1 szt.
- Kompensatory: do DN35 - 3 szt. powyżej DN35 - 1 szt.
- Węże elastyczne: do DN35 - 6 szt. powyżej DN35 - 1 szt.

### 19. PRACE INSTALACYJNE W DOCELOWEJ LOKALIZACJI

Przed przystąpieniem do prac w miejscu instalacji, Wykonawca każdego z Zadań musi dostarczyć pełną listę nazwisk wszystkich pracowników, którzy będą brać udział w pracach montażowych CDS. Pracownicy ci zostaną następnie przeszkoleni przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego, co zostanie potwierdzone w formie pisemnej.

Wykonawca jest zobowiązany do przestrzegania przepisów prawnych, BHP a także przepisów wewnętrznych obowiązujących na miejscu instalacji, które mogą wykraczać poza ogólne przepisy prawa. W przypadku złamania przez pracownika Wykonawcy zasad bezpieczeństwa, Zamawiający może natychmiast wywalić pracownika z terenu budowy. W takim przypadku Wykonawca musi niezwłocznie zapewnić zastępstwo.

W związku z laboratoryjnym charakterem budynków i pomieszczeń na terenie instalacji, wszystkie prace należy wykonywać w sposób zapewniający odpowiednią czystość. Wszelkie prace, które wywołują pylenie lub brud, takie jak cięcie, wiercenie, szlifowanie, frezowanie itp., powinny być unikane lub przynajmniej ograniczane i w miarę możliwości wykonywane na zewnątrz budynków, lub w specjalnie przeznaczonych do tego miejscach. Jeśli któryś z tych procesów jest niezbędny, to podczas jego realizacji należy używać zasłon, urządzeń do usuwania oparów, odkurzaczy itp., aby nie doprowadzać do zanieczyszczenia.

Wszystkie urządzenia niezbędne do wykonania prac montażowych, takie jak dźwigi, podnośniki, rusztowania, narzędzia ręczne, gaz spawalniczy, itp. zapewnia Wykonawca.

Toalety i prysznice dla pracowników Wykonawcy będą dostępne na terenie Zamawiającego.

Zamawiający dostęp do punktów zasilania w energię elektryczną, ale należy wziąć pod uwagę, że punkty podłączenia elektrycznego mogą znajdować się w dużej odległości od miejsc pracy i mogą być potrzebne dodatkowe przedłużacze. Zapatrzenie się w odpowiednią liczbę oraz typ przedłużaczy pozostaje po stronie Wykonawcy.

Wiercenie w ścianach, podłogach i sufitach jest ściśle ograniczone i może być wykonywane tylko przed uzyskaniem pisemnej zgody Zamawiającego. Wszelkie miejsca wiercenia należy przewidzieć na etapie projektowania i wyraźnie wskazać je podczas przeglądu projektu technicznego (TDR). Opis wiercenia powinien zawierać wszystkie niezbędne informacje, ważne dla konstrukcji budynku, takie jak średnica otworu wraz z długością, typ urządzenia wykonującego otwór i typ śruby. Maksymalny dopuszczalny rozmiar gwintu to 24

mm. Można stosować kotwy chemiczne i rozporowe. Konieczność wykonania otworów należy zgłosić Zamawiającemu na pięć dni przed rozpoczęciem operacji.

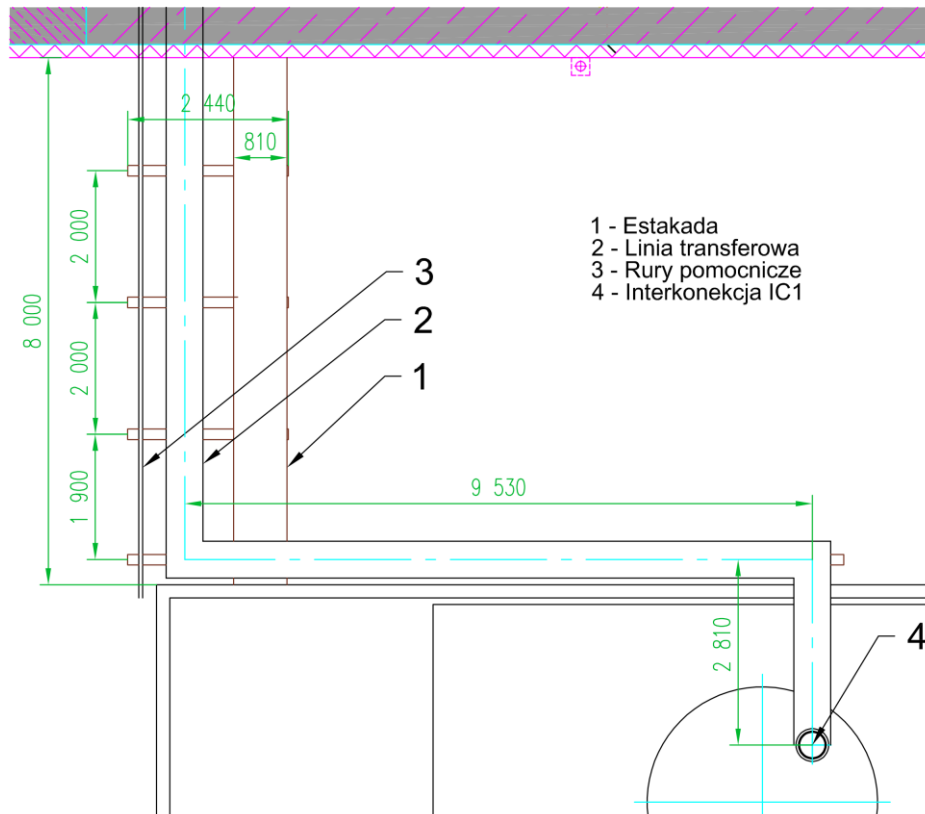
Do montażu linii pomocniczych w budynku lasera dostępny będzie system mocowania oparty na szynach montażowych wbetonowanych w ścianach konstrukcyjnych budynku. Nominalna odległość między szynami wynosi 2 m. Położenie szyn pokazano na rys. 13.6.2.2.3.

## 20. ESTAKADA NA POTRZEBY RUROCIĄGÓW – DOTYCZY ZAKRESU ZADANIA 1

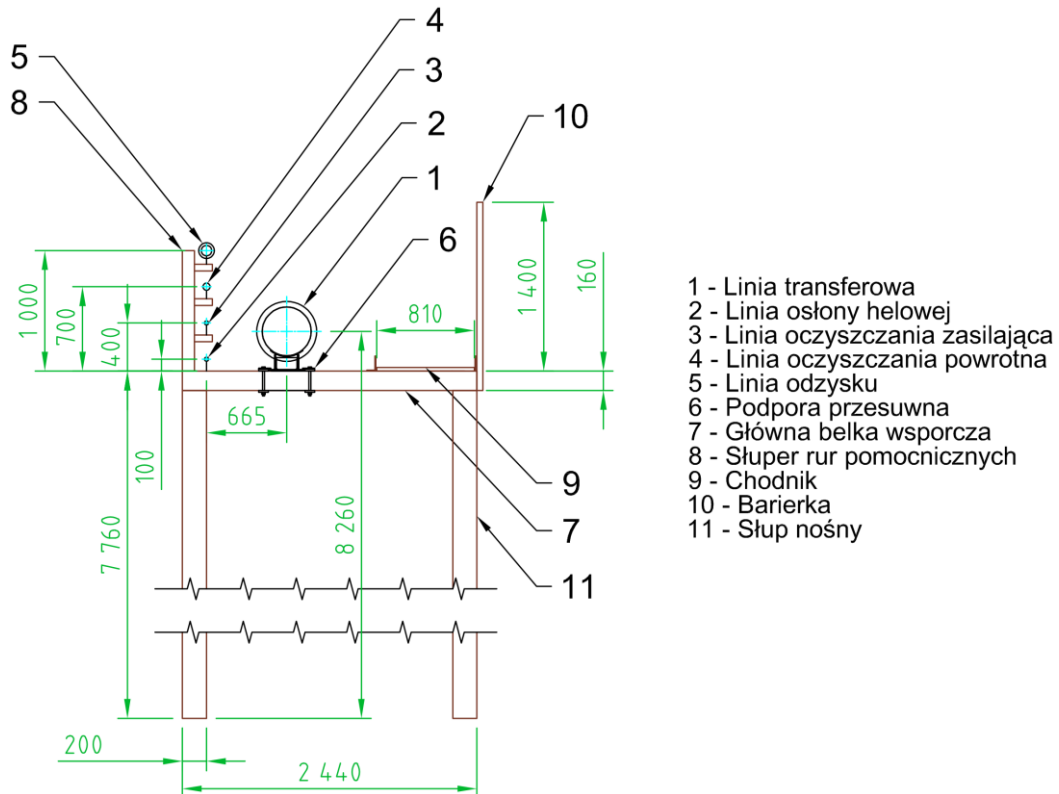
Estakada (most) na potrzeby rurociągów będzie konstrukcją nośną umieszczoną pomiędzy budynkiem chłodziarki a budynkiem lasera, co pokazano na rys. 20.1. Most zbudowany będzie ze stali ocynkowanej ogniowo. Belki poprzeczne, na których mocowane będą podpory linii transferowej, będą posiadać przekrój 160x160 mm i rozmieszczone będą w regularnych odstępach co 2 m. Linie pomocnicze będą usytuowane jedna nad drugą, jak pokazano na rys. 20.2.

Stałe i przesuwne podpory rurociągów są częścią dostawy CDS. Podpory należy montować za pomocą połączeń śrubowych. Spawanie i wiercenie do konstrukcji mostu jest zabronione z wyjątkiem mocowania podpór stałych. Wszelkie czynności ingerujące w konstrukcję mostu, takie jak spawanie i wiercenie, wymagają zgody Zamawiającego.

Przekrój estakady pokazano na rys. 20.2, ale jej ostateczna konstrukcja może się różnić od zaprezentowanej. Rysunek przedstawia dostępne miejsce na rury CDS (linia transferowa, zasilanie i powrót linii oczyszczania, linia osłony helowej). Na estakadzie znajdować się będą także dodatkowe rurociągi związane z infrastrukturą lasera, nie wchodzące w skład CDS i nie będących przedmiotem dostawy w ramach obecnego zamówienia, których pozycja zostanie przedstawiona przez Zamawiającego w późniejszym terminie. Przewiduje się, że rurociągi należące do Zamawiającego będą instalowane po montażu rurociągów CDS, jednak nieuzasadnione opóźnienie w pracach instalacyjnych CDS, może skutkować uprzednim zamontowaniem rurociągów przez Zamawiającego (lub innych wykonawców realizujących niezależne zamówienia), co może utrudnić Wykonawcy instalację CDS.



Rysunek 20.1. Estakada pomiędzy budynkami – widok z góry



Rysunek 20.2. Przekrój poprzeczny estakady

Estakada będzie posiadać podest dla pieszych, biegnący obok rur oraz drabinę wyposażoną w klatkę ochronną umieszczoną po jednej stronie mostu.

## 21. REALIZACJA UMOWY

### 21.1. INFORMACJE OGÓLNE

Ten rozdział zawiera opis prac i działań zmierzających do realizacji zakresu dostawy określonego w rozdziale 18. Prace zostały podzielone przy uwzględnieniu kamieni milowych opisanych w rozdziale 22 niniejszego dokumentu. Realizacja umowy powinna być przeprowadzona według etapów określonych poniżej, niezależnie przez Wykonawcę każdego z Zadań.

### 21.2. FAZA 1: PROJEKT KONCEPCYJNY

Projekt koncepcyjny został opracowany przez Politechnikę Wrocławską w ramach udziału w Konsorcjum PolFEL. Faza 1 została zakończona po pomyślnym zamknięciu przeglądu projektu koncepcyjnego systemu CDS (CDR) w grudniu 2020 r.

Projekt koncepcyjny stanowi podstawę do przygotowania niniejszych wymagań technicznych dla systemu CDS oraz do dalszych prac projektowych w celu opracowania projektu technicznego w fazie 2.

### 21.3. FAZA 2: PROJEKT TECHNICZNY

Faza 2 rozpoczyna się od spotkania inauguracyjnego, na którym Zamawiający wraz z Wykonawcami obydwu Zadań omówią szczegóły projektu i podczas którego wyjaśnione zostaną ewentualne wątpliwości oraz zostaną ustalone zasady współpracy.

Faza projektu technicznego kończy się przeglądem projektu technicznego (TDR) w formie raportu.

Kryterium pozytywnego zamknięcia TDR jest akceptacja przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego dokumentów przedstawionych przez Wykonawcę, które powinny zawierać co najmniej następujące pozycje:

- Plan zarządzania projektem (PMP) wraz z harmonogramem dostaw (dokument ten należy przedstawić na najwcześniejszym etapie tej fazy)
- Aktualizację schematu P&ID
- Kompletny zestaw modeli 3D komponentów CDS
- Opracowania techniczne, obliczenia, analizy
- Obliczenia konstrukcyjne, cieplne i przepływowe
- Dokumenty dotyczące interfejsów
- Lokalizacje podpór

### 21.4. FAZA 3: PROJEKT WYKONAWCZY

Faza ta polega na opracowaniu projektu wykonawczego i dokumentacji produkcyjnej, wystarczającej do wytworzenia komponentów CDS przez Wykonawcę. Dokumentacja powinna zawierać wszystkie wymagania dotyczące CDS i definicje interfejsów.

Faza projektu wykonawczego kończy się ostatecznym przeglądem projektu (FDR) w formie raportu.

Kryterium pozytywnego zamknięcia FDR jest akceptacja przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego dokumentów przedstawionych przez Wykonawcę, które powinny zawierać co najmniej następujące pozycje:

- Kompletny zestaw rysunków 2D i modeli 3D niezbędnych do rozpoczęcia produkcji
- Uwagi inżynierskie, ostateczne wersje obliczeń mechanicznych, cieplnych i hydraulicznych, oraz analizy techniczne
- Aktualizację schematu P&ID
- Dokumenty dotyczące interfejsów
- Obliczenia strukturalne i analiza przyspieszeń transportowych w celu zapewnienia odpowiednich warunków podczas transportu
- Metodologię weryfikacji spełnienia wymogów specyfikacji i plan testów odbiorowych
- Specyfikację obsługi komponentów CDS po dostawie do siedziby Zamawiającego
- Pełne dane i specyfikacje potrzebne do zakupu oprzyrządowania (zawory, przetworniki itp.)
- Listę producentów dostarczających instrumentację i wybrane komponenty

Wszystkie wymagania specyfikacji CDS muszą zostać zweryfikowane przez Wykonawcę i udokumentowane w drodze analizy, testów, inspekcji i/lub demonstracji w fazie projektu wykonawczego, aby spełnić założenia specyfikacji technicznej. Pomimo zatwierdzenia przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego przedłożonych dokumentów (rysunków, obliczeń, analiz, doborów itp.), nie zwalnia to Wykonawcy przed odpowiedzialnością za ich treść i ewentualne błędy popełnione podczas ich przygotowania.

## 21.5. FAZA 4: PRODUKCJA

Na etapie produkcji, po osiągnięciu przez Wykonawcę gotowości produkcyjnej, komponenty są wytwarzane i testowane. Osiągnięcie gotowości produkcyjnej powinno być poprzedzone przeglądem gotowości produkcyjnej (MRR).

Faza produkcji kończy się przeglądem wyników z testów funkcjonalnych (MAR) w formie raportu.

Zakres przeglądu gotowości produkcyjnej obejmuje:

- Plan kontroli jakości
- Dokumenty kwalifikacyjne Wykonawcy (jak ISO 9001 lub równoważna itp.)
- Procedury spawalnicze i uprawnienia Wykonawcy

Faza produkcji może być rozpoczęta po przygotowaniu i przedstawieniu Zamawiającemu rysunków wykonawczych komponentów, sposobu montażu, certyfikatów materiałowych, procedur spawalniczych, planów procesów produkcyjnych oraz planu kontroli jakości.

Faza 4 obejmuje również testy akceptacji poprodukcyjnej (MAT), które następują po wyprodukowaniu komponentów CDS. Testy te powinien zaplanować i przeprowadzić Wykonawca przed wysyłką urządzeń do siedziby Zamawiającego. Testy powinny być przeprowadzane w obecności upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego.

Faza produkcji kończy się w chwili zakończenia produkcji wszystkich komponentów CDS i pomyślnym zakończeniem testów poprodukcyjnych (MAT) oraz przekazaniem odpowiedniej dokumentacji do Zamawiającego (MAR) i jej akceptacją.

Kryterium pozytywnego zamknięcia testów poprodukcyjnych jest akceptacja przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego dokumentów przedstawionych przez Wykonawcę, które powinny zawierać co najmniej następujące pozycje:

- Protokoły z testów
- Dokumentację powykonawczą
- Certyfikaty materiałowe



- Protokoły pomiarowe
- Dokumentację dotyczącą referencyjnych punktów pomiarowych

## 21.6. FAZA 5: DOSTAWA

Faza dostawy została opisana w rozdziale 17, gdzie przedstawiono między innymi sposób zabezpieczenia urządzeń, oraz w rozdziale 16.3.1, który opisuje kontrolę komponentów dostarczanych na plac budowy w siedzibie Zamawiającego. Faza ta zakończy się sprawdzeniem każdej partii dostarczonych na miejsce instalacji komponentów.

Kryterium pozytywnego zamknięcia fazy dostawy jest dokument zatwierdzający dostawę (DAC) wydany przez Zamawiającego, potwierdzający spełnienie wszystkich wymagań opisanych w rozdziałach 17 i 16.3.1.

## 21.7. FAZA 6: INSTALACJA

Faza instalacji składa się z następujących etapów:

- Pozycjonowanie podpór
- Instalacja komponentów CDS na podporach
- Pozycjonowanie punktów interfejsu laser trackerem
- Łączenie elementów CDS
- Połączenie CDS ze skraplarką i kriomodułami
- Testowanie połączeń
- Zamknięcie płaszcza próżniowego (dotyczy odpowiednich elementów)
- Testy: ciśnieniowe, próby szczelności, systemu sterowania itp.
- Przygotowanie do testu odbiorowego (punkt 16.4) i Fazy 7 – przygotowanie procedury (krok po kroku) testowania całego CDS

Faza ta zostanie zakończona odbiorem instalacji, która powinna uwzględniać akceptację wszystkich raportów, protokołów powstałych w tej fazie oraz zawierać oświadczenie o gotowości do przystąpienia do wykonania testów odbiorowych.

Kryterium pozytywnego zakończenia fazy 6 jest spełnienie przez Wykonawcę wymagań odnoszących się do każdego z etapów opisanych w tym rozdziale oraz pozytywne przejście wszystkich testów opisanych w rozdziale 16.3, co powinno być potwierdzone stosownym dokumentem przeglądu tej fazy w formie raportu (IAR).

## 21.8. FAZA 7: URUCHOMIENIE I ODBIÓR

Faza uruchomienia i odbioru bazuje na wytycznych przedstawionych w rozdziale 16.4, gdzie zostały opisane testy, jakie należy przeprowadzić po zakończeniu instalacji. Podczas tej fazy zostaną przeprowadzone wstępne testy odbiorowe (PAT) oraz końcowe testy odbiorowe (FAT). Podczas przeglądu wyników tych testów, Wykonawca będzie musiał udowodnić, że instalacja spełnia założenia projektowe oraz wszystkie wymagania niniejszej specyfikacji i założenia powstałe podczas projektowania. Przegląd odbiorowy (PAR) musi zawierać raporty i protokoły z PAT opisane w rozdziale 16.4.2 wraz z potwierdzeniem ich pozytywnych wyników.

Po upływie 6 miesięcy od PAT lub po wykonaniu 10 pełnych cykli roboczych (w zależności od tego, co nastąpi wcześniej) zostanie przeprowadzony końcowy przegląd odbiorowy (FAR). Na tym etapie wszystkie dokumenty, komponenty i czynności wymienione w rozdziale 18 powinny zostać ukończone i dostarczone przez Wykonawcę do Zamawiającego, bez żadnych negatywnych informacji zwrotnych ze strony Zamawiającego. Działania te będą sprawdzane i weryfikowane podczas przeglądu odbiorowego systemu (SAR). Podczas przeglądu odbiorowego

systemu wszystkie dokumenty, ich kompletność, zawartość, a także dane z testów zostaną sprawdzone i zweryfikowane przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego. Warunkiem zamknięcia przeglądu odbiorowego systemu (SAR) jest przedstawienie raportów i protokołów z końcowego testu akceptacji opisanego w rozdziale 16.4.3, wraz z potwierdzeniem ich pozytywnych wyników.

Kryterium pozytywnego zamknięcia przeglądu odbiorowego systemu (SAR) jest również dokument wydany przez Zamawiającego potwierdzający spełnienie wszystkich wymagań opisanych w rozdziałach 18 i 16.4.

## **22. KAMIENIE MILOWE**

Kamienie milowe przedstawione w tabeli 22, stanowią podstawowy mechanizm monitorowania postępów prac Wykonawcy. Kamienie milowe odnoszą się do każdego elementu lub systemu dostarczanego w ramach umowy, które podlegają odpowiednim dokumentom specyfikacji.

Osiągnięcie kamienia milowego jest zwykle związane ze spotkaniem pomiędzy uprawnionym przedstawicielem Zamawiającego a Wykonawcą. Struktura kamieni milowych może w razie potrzeby zostać zmieniona według uznania obu stron, pod warunkiem że nie wpłynie to na ostateczny termin zakończenia projektu.

**Tabela 22.1. Kamienie milowe Zadania 1**

Krok	ID	Kamienie milowe i schemat dostawy	Dokument zatwierdzający	Czas trwania
<b>Faza 1: Projekt koncepcyjny</b>				
1	CDR	Przegląd projektu koncepcyjnego		
2	STC	Podpisanie umowy		
<b>Faza 2: Projekt techniczny</b>				
3	KOM	Spotkanie inauguracyjne		<b>start</b>
4	RDS	Przegląd harmonogramu		4 tygodnie
5	RQD	Przegląd planów zarządzania jakością		
6	TDR	Przegląd projektu technicznego	TDR	
<b>Faza 3: Projekt wykonawczy</b>				
7	DTL	Linia transferowa	FDR TL	17 tygodni
8	DVB	Moduły zaworowe	FDR VB	
9	DEB	Moduł zawracający	FDR EB	
10	DAL	Linie pomocnicze	FDR AL	
11	FDR	Ostateczny przegląd projektu	FDR	
<b>Faza 4: Produkcja</b>				
12	MRR	Przegląd gotowości produkcyjnej	MRR	1 tydzień
13	MTL	Linia transferowa	MAR TL	34 tygodni
14	MVB	Moduły zaworowe	MAR VB	
15	MEB	Moduł zawracający	MAR EB	
16	MAL	Linie pomocnicze	MAR AL	
<b>Faza 5: Dostawa</b>				
17	DTL	Linia transferowa	DAC TL	2 tygodnie
18	DVB	Moduły zaworowe (2 szt.)	DAC VB 1	
19	DVB	Moduły zaworowe (2 szt.)	DAC VB 2	
20	DVB	Moduły zaworowe (2 szt.)	DAC VB 3	
21	DAL	Linie pomocnicze	DAC AL	
<b>Faza 6: Instalacja</b>				
22	ITL	Linia transferowa	IAR TL	20 tygodni
23	IVB	Moduły zaworowe	IAR VB	
24	IAL	Linie pomocnicze	IAR AU	
<b>Faza 7: Uruchomienie i odbiór</b>				
25	PAT	Wstępne testy odbiorowe	PAR	3 tygodnie
26	FAT	Końcowe testy odbiorowe	FAR, SAR	9 tygodni

**Tabela 22.2. Kamienie milowe Zadania 2**

Krok	ID	Kamienie milowe i schemat dostawy	Dokument zatwierdzający	Czas trwania
<b>Faza 1: Projekt koncepcyjny</b>				
1	CDR	Przegląd projektu koncepcyjnego		
2	STC	Podpisanie umowy		

<b>Faza 2: Projekt techniczny</b>				
3	KOM	Spotkanie inauguracyjne		start
4	RDS	Przegląd harmonogramu		4 tygodnie
5	RQD	Przegląd planów zarządzania jakością		
6	TDR	Przegląd projektu technicznego	TDR	
<b>Faza 3: Projekt wykonawczy</b>				
7	DTL	Linia transferowa	FDR TL	17 tygodni
8	DVB	Moduły zaworowe	FDR VB	
9	DAL	Linie pomocnicze	FDR AL	
10	FDR	Ostateczny przegląd projektu	FDR	
<b>Faza 4: Produkcja</b>				
12	MRR	Przegląd gotowości produkcyjnej	MRR	1 tydzień
13	MTL	Linia transferowa	MAR TL	35 tygodni
14	MVB	Moduły zaworowe	MAR VB	
15	MAL	Linie pomocnicze	MAR AL	
<b>Faza 5: Dostawa</b>				
17	DTL	Linia transferowa	DAC TL	1 tydzień
18	DVB	Moduły zaworowe (2 szt.)	DAC VB	
19	DAL	Linie pomocnicze	DAC AL	
<b>Faza 6: Instalacja</b>				
22	ITL	Linia transferowa	IAR TL	20 tygodni
23	IVB	Moduły zaworowe	IAR VB	
24	IAL	Linie pomocnicze	IAR AU	
<b>Faza 7: Uruchomienie i odbiór</b>				
25	PAT	Wstępne testy odbiorowe	PAR	3 tygodnie
26	FAT	Końcowe testy odbiorowe	FAR, SAR	9 tygodni

## 23. GWARANCJA

Gwarancja na CDS obejmuje okres 2 lat od daty pozytywnego przeprowadzenia przeglądu odbiorowego systemu (SAR). W tym okresie Wykonawca zobowiązany jest do podejmowania działań naprawczych na własny koszt.

Gwarancja obejmuje wszystkie podzespoły CDS opisane w tym dokumencie. Koszt udzielenia gwarancji dla całego systemu CDS Wykonawca uwzględni w kosztach realizacji każdego z Zadań 1 i 2, dzieląc go pomiędzy nimi stosownie do wartości i zakresu danego Zadania.

## 24. ZARZĄDZANIE PROJEKTEM

### 24.1. INFORMACJE OGÓLNE

Do obowiązków Wykonawcy należy zarządzanie projektem i jego kontrola (zarządzanie jakością, rozdział 25). Kierownik projektu musi koordynować i kontrolować wszystkie działania związane z projektem i odpowiadające im zasoby, a także zapewnić przestrzeganie standardów niniejszej specyfikacji technicznej i dążyć do pomyślnego zrealizowania umowy.

Zarządzanie projektem musi składać się z:

- Wyznaczenia kierownika projektu z imienia i nazwiska, określenie jego obowiązków i kompetencji oraz integracji zespołu ze strukturą organizacyjną firmy. Kierownik projektu jest główną osobą kontaktową we wszystkich sprawach dotyczących umowy. Jeżeli inna osoba jest odpowiedzialna za kwestie związane z umową, to również tę osobę należy wyznaczyć imiennie.
- Mianowanie z imienia i nazwiska oraz określenie funkcji innych członków kierownictwa projektu.

## 24.2. KONTROLA PROJEKTU

### 24.2.1. ORGANIZACJA PROJEKTU

Kontrola projektu powinna opierać się na:

- Wyznaczeniu z imienia i nazwiska, oraz określeniu funkcji dla osób odpowiedzialnych za projekt.
- Określeniu zadań i przypisanie personelu do określonych zadań, opisu specjalnych kwalifikacji personelu, powołanie zastępców dla personelu.
- Zdefiniowaniu podstawowych elementów kontroli projektu, takich jak okresowe spotkania kierownictwa projektu, regularne spotkania z przedstawicielami Zamawiającego, podwykonawcami itp.

### 24.2.2. PLAN PROJEKTU

Wykonawca zobowiązany jest do przedłożenia Zamawiającemu szczegółowego harmonogramu projektu. Plan ten należy przedstawić podczas etapu zwanego przeglądem harmonogramu (RDS). Harmonogram powinien uwzględniać kamienie milowe przedstawione w tabeli 22. Plan musi uwzględniać prace zarówno Wykonawcy, jak i podwykonawców, musi uwzględniać takie procesy jak: projektowanie, zakup surowców, zakup instrumentacji, produkcja, montaż, testy, wysyłka, instalacja, kontrola, czas wolny itp.

Interwały czasowe w harmonogramie nie powinny przekraczać jednego tygodnia. Harmonogram musi być przygotowany za pomocą specjalizowanego do tego celu oprogramowania, którego wybór Wykonawca uzgodni z Zamawiającym, i dostarczony do siedziby Zamawiającego zarówno w formie drukowanej, jak i cyfrowej.

Wykonawca jest zobowiązany do aktualizacji harmonogramu co miesiąc, przez cały okres obowiązywania umowy. W szczególnych przypadkach Zamawiający może zażądać aktualizacji w krótszych odstępach czasu.

Harmonogram powinien wskazywać, jaki procent zadania został już wykonany.

W przypadku zdarzeń mających wpływ na harmonogram, Wykonawca podejmie odpowiednie kroki, w celu dotrzymania harmonogramu. Obejmuje to przydzielenie dodatkowego personelu (praca w godzinach nadliczbowych i zmianowych) oraz dodatkowego wyposażenia. Koszty z tym związane ponosi Wykonawca. Nie wolno skracać ani pomijać etapów produkcji w celu skompensowania istniejącego opóźnienia.

Wszystkie opóźnienia (rzeczywiste i wysoce prawdopodobne) należy niezwłocznie zgłaszać do Zamawiającego.

### 24.2.3. KONTROLA POSTĘPÓW

Wykonawca powinien regularnie przygotowywać raporty dla Zamawiającego. Raporty muszą być opracowywane co miesiąc i dostarczane do Zamawiającego nie później niż trzeciego dnia roboczego danego miesiąca. W szczególnych, indywidualnych przypadkach, zwłaszcza w sytuacji problemów technicznych i opóźnień w harmonogramie, Zamawiający może zażądać krótszych okresów sprawozdawczych. Raporty muszą zawierać jasne informacje na temat wszystkich zaplanowanych zadań.

Niezależnie od regularnych raportów, wszystkie zdarzenia, które mogą mieć wpływ na harmonogram, muszą być zgłaszane do Zamawiającego. W przypadku poważnych problemów, które zagrażają osiągnięciu uzgodnionych kamieni milowych, Zamawiający powinien zostać niezwłocznie poinformowany na piśmie.

Niezależnie od regularnych raportów, każdy kamień milowy należy zakończyć oddzielnym raportem przekazywanym do Zamawiającego. Raport powinien zawierać wszystkie ważne informacje uzyskane w trakcie procesu produkcji, dostawy czy montażu, w postaci raportów cząstkowych, rysunków, modeli, obliczeń, opisów, wyjaśnień, protokołów z testów, statusu harmonogramu itp. wzbogaconych o dokumentację zdjęciową.

Zamawiający będzie mieć nieograniczony i bezpłatny dostęp do wszystkich procesów związanych z realizacją umowy w siedzibie Wykonawcy i podwykonawców. Zamawiającemu przysługuje prawo do wykonywania zdjęć do celów kontroli projektu.

#### **24.2.4. SPOTKANIA NA POTRZEBY REALIZACJI PROJEKTU**

W czasie trwania projektu, Zamawiający będzie organizować spotkania projektowe w celu omówienia bieżących zagadnień.

Spotkanie inauguracyjne tzw. "kick-off meeting" (KOM) odbędzie się po podpisaniu umowy.

Spotkania robocze odbywać się będą nie częściej niż raz w tygodniu. Spotkanie może mieć formę wideokonferencji lub „na żywo”. W zależności od agendy, ilości uczestników itp., lokalizacja spotkania będzie każdorazowo ustalana oddzielnie.

Zamawiający i Wykonawca mają prawo zażądać specjalnych spotkań w razie potrzeby.

Zamawiający ma również prawo zapraszać na spotkania innych wybranych przez siebie uczestników. W takim przypadku Zamawiający poinformuje Wykonawcę o uczestnikach zewnętrznych.

Wykonawca na życzenie Zamawiającego zorganizuje spotkania z podwykonawcami, również w ich siedzibie.

O ile nie zostanie uzgodnione inaczej, Wykonawca musi przygotować protokoły ze spotkań w ciągu pięciu dni roboczych. Protokół musi być podpisany przez przedstawicieli obu stron. Podpisy potwierdzają jedynie, że treść protokołu prawidłowo przedstawia porządek spotkania i uzgodnione czynności.

## **25. ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ**

### **25.1. INFORMACJE OGÓLNE**

W odniesieniu do zapewniania jakości, Wykonawca powinien przygotować plan kontroli jakości, który powinien być przedstawiony Zamawiającemu na etapie zwanym przeglądem planów zarządzania jakością (RQD). Z tego powodu cała dokumentacja związana z planem kontroli jakości powinna zostać dostarczona do Zamawiającego w ciągu 15 dni przed terminem przeglądu.

W trakcie realizacji zamówienia Wykonawca powinien dokonać przeglądu skuteczności planu kontroli jakości i w razie potrzeby ulepszyć go. Wykonawca jest zobowiązany do wprowadzenia wszelkich zmian i środków zaradczych wymaganych przez Zamawiającego lub uznanych za konieczne.

Produkcja musi być zgodna z wymaganiami niniejszej specyfikacji technicznej. Wykonawca powinien spełnić następujące wymagania na wszystkich etapach produkcji:

- Wykonawca musi określić krytyczne procesy i nadzorować je ze szczególną starannością

- Wykonawca musi podjąć specjalne środki, takie jak badania i testy kontrole, w celu zapewnienia zgodności z wymaganiami jakościowymi
- Wykonawca musi przygotować plan i sekwencję testów, określając szczegóły ich wykonania
- Wykonawca musi podjąć odpowiednie środki naprawcze w przypadku usterek oraz zweryfikować przydatność i skuteczność tych środków
- Wykonawca musi zapobiec ponownemu wystąpieniu znanych usterek

## 25.2. WPROWADZANIE ZMIAN I MODYFIKACJI

W przypadku wystąpienia sprzeczności stwierdzonej w niniejszej specyfikacji, powiązanych dokumentach lub ważnych wytycznych, Wykonawca niezwłocznie poinformuje Zamawiającego celem wyjaśnienia rozbieżności.

Jeżeli Wykonawca uzna za konieczne zastosowanie się do dodatkowych wytycznych i przepisów, musi niezwłocznie poinformować o tym Zamawiającego. Wykonawca ponosi koszty wynikające z niezastosowania się do niniejszej specyfikacji lub odpowiednich wytycznych.

Zarówno Zamawiający, jak i Wykonawca mają prawo poinformować drugą stronę o wszelkich żądaniach zmian. Każda zalecana modyfikacja musi być wyraźnie oznaczona (niepowtarzalnym numerem).

W przypadku każdej zmiany należy podać następujące informacje:

- Powód zmiany
- Ocena wykonalności technicznej (w razie potrzeby)
- Ocena wpływu na inne elementy zamówienia
- Wpływ na zakres pracy, dokumentację i rysunki
- Wpływ na harmonogram projektu
- Wpływ na całkowity koszt
- Wpływ na inne czynniki takie jak niezawodność, bezpieczeństwo, konserwacja itp.
- Dodatkowe dokumenty uzasadniające

Zmiany nie będą ważne, dopóki nie zostaną zatwierdzone pisemnie przez upoważnionego przedstawiciela Zamawiającego.

Modyfikacje dokonane przez Wykonawcę bez uwzględnienia tego zastrzeżenia, będą w całości pokrywane przez Wykonawcę.

## 25.3. ODSTĘPSTWA

Wykonawca powinien odnotować i udokumentować wszelkie odstępstwa podczas realizacji zamówienia na każdym etapie prowadzonych prac, zarówno projektowania, produkcji, instalacji jak i testów. O tych odstępstwach Wykonawca musi niezwłocznie poinformować Zamawiającego.

W przypadku stwierdzenia odstępstw Wykonawca zaleci środki zaradcze i przedłoży je do pisemnej akceptacji przez Zamawiającego.

## LISTA ZAŁĄCZNIKÓW

- I. Schemat P&ID
- II. Rysunek interfejsu kriomodul-element przyłączeniowy modułu zaworowego