|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Klasifikace dokumentu** | | *BL - Restricted for internal use* | **TC ID / Revize** | | *00165697/C* | |
| **Statut dokumentu** | | *Document Released* | **Číslo dokumentu** | | N/A | |
| **WBS kód** | | *5.3 - RP4 Applications in molecular, biomedical, and material sciences* | | | | |
| **PBS kód** | | *E.E1.SUPP.TMP1* | | | | |
| **Projektové rozdělení dokumentace** | | *Engineering & Scientific documents (E&S)* | | | | |
| **Typ Dokumentu** | | *Specification (SP)* | | | | |
| ***[RSD*** ***kategorie produktu typu A]***  ***Turbomolekulární pumpy***  ***pro čerpání atmosférického vzduchu***  ***Turbomolecular pumps (E1)***  ***TP18\_720***    Klíčová slova  N/A | | | | | | |
|  | ***Pracovní pozice*** | | | ***Jméno, Příjmení*** | |
| **Odpovědná osoba** | Senior Vacuum Specialist | | | Lukáš Brabec | |
| **Připravil** | Senior Vacuum Specialist | | | Lukáš Brabec | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| RSS TC ID/revize | Datum vytvoření RSS | Datum posledních úprav RSS | Systems Engineer |
| 013679/A.001 | 16.03.2018 18:22 | 16.03.2018 18:23 | Aleksei Kuzmenko |
| 013679/A.002 | 21.03.2018 16:36 | 21.03.2018 16:38 | Aleksei Kuzmenko |
| 013679/A.003 | 27.03.2018 12:47 | 27.03.2018 12:48 | Aleksei Kuzmenko |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ****Revize dokumentu**** | | | |
| Jméno, Příjmení (revidujícícho) | Pracovní pozice |  |  |
| Eva Klimešová | Researcher / Postdoc RP4 | NOTICE (RSD product category A) | |
| Jakob Andreasson | Group Leader RP4 | NOTICE (RSD product category A) | |
| Jiří Trdlička | Control System Engineer, 93 | NOTICE (RSD product category A) | |
| Ladislav Půst | Manager installation of technology | NOTICE (RSD product category A) | |
| Martin Bučka | Designer, Vacuum and cryogenics Team | NOTICE (RSD product category A) | |
| Martin Laub | Group Leader of Mechanics | NOTICE (RSD product category A) | |
| Roman Kuřátko | Facility Manager | NOTICE (RSD product category A) | |
| Veronika Olšovcová | Safety Coordinator | NOTICE (RSD product category A) | |
| Viktor Fedosov | SE & Planning group leader;  Quality Manager | NOTICE (RSD product category A) | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ****Schválení dokumentu**** | | | |
| Jméno, Příjmení (schvalujícího) | Pracovní pozice | Datum | Podpis |
| Georg Korn | Science and Technology Manager, Scientific coordinator of RP2-6 |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ****Historie revizí / Change Log**** | | | | |
| Č. změny | Změny provedl | Datum | Popis změny, Stránky, Kapitoly | TC rev. |
| 1 | L. Brabec | 06.03.2018 | Vytvoření první verze RSD (RSD draft) | A |
| 2 | A. Kuzmenko | 21.03.2018 | RSD aktualizace, verze pro interní revizi | B |
| 3 | A. Kuzmenko | 27.03.2018 | RSD aktualizace, finální revize | C |

Obsah

[1. Úvod 4](#_Toc513211129)

[1.1. Účel dokumentu 4](#_Toc513211130)

[1.2. Předmět dokumentu 4](#_Toc513211131)

[1.3. Pojmy, Definice a Použité zkratky 4](#_Toc513211132)

[1.4. Referenční dokumenty 5](#_Toc513211133)

[1.5. Odkazy na normy nebo technické dokumenty 5](#_Toc513211134)

[2. Obsah dodávky 5](#_Toc513211135)

[3. Funkční, výkonové požadavky a požadavky limitující konstrukční návrh 6](#_Toc513211136)

[3.1. Obecné požadavky 6](#_Toc513211137)

[3.2. Čerpací rychlost 8](#_Toc513211138)

[3.3. Kompresní poměr 8](#_Toc513211139)

[3.4. Mezní tlak 8](#_Toc513211140)

[3.5. Maximální přípustný tlak na vstupu turbomolekulární pumpy 8](#_Toc513211141)

[3.6. Maximální povolený tlak na výstupu turbomolekulární pumpy 8](#_Toc513211142)

[3.7. Chlazení turbomolekulárních pump 8](#_Toc513211143)

[3.8. Přídavná zařízení 9](#_Toc513211144)

[3.9. Řídicí systém - Dálkové ovládání pump 9](#_Toc513211145)

[3.9.1. Požadovaná rozhraní 9](#_Toc513211146)

[4. Podmínky provozu 11](#_Toc513211147)

[4.1. Parametry chladicí kapaliny 11](#_Toc513211148)

[5. Údržba 11](#_Toc513211149)

[6. Požadavky na dopravu zařízení 12](#_Toc513211150)

[6.1. Obecné požadavky na dopravu zařízení 12](#_Toc513211151)

[6.2. Specifické požadavky na dopravu zařízení 12](#_Toc513211152)

[7. Požadavky na bezpečnost zařízení 12](#_Toc513211153)

[8. Požadavky na jakost dodávaného zařízení 13](#_Toc513211154)

[8.1. Obecné požadavky na jakost dodávaného zařízení 13](#_Toc513211155)

[8.2. Mezinárodní standardy 13](#_Toc513211156)

[8.3. Specifické požadavky na jakost dodávaného zařízení 13](#_Toc513211157)

[8.3.1. Testy 13](#_Toc513211158)

# Úvod

Dodávka turbomolekulárních pump a příslušenství bude zabudována do laserových a experimentálních zařízení v laboratorním prostředí.

Turbomolekulární pumpy budou sloužit k odčerpávání atmosférického vzduchu o teplotě 20±5 °C a vlhkosti 40-80 %.

## Účel dokumentu

Tento dokument představuje technickou specifikaci (dále jen RSD; Requirements Specification Document) obsahující technické požadavky a omezující podmínky na požadované zařízení v rámci projektu ELI. Toto může vést k identifikaci rozhraní zařízení (produktu) s ELI Beamlines výzkumnými technologiemi stejně jako zařízením budovy ELI Beamlines. Tato technická specifikace (RSD) také plní roli nadřazeného dokumentu pro dokumentaci technických požadavků, které je třeba řešit na nižší úrovni konstrukčního návrhu (designu).

## Předmět dokumentu

Požadované produkty jsou specifikovány v následujícím textu tohoto RSD *(číslo tendru je TP18\_720):****Turbomolekulární pumpy pro čerpání atmosférického vzduchu***.

Produkty jsou součástí následujícího technologického celku „MAC chamber” a budou integrovány do místností E1. Tyto produkty definované daným RSD jsou evidovány v PBS pod následujícím kódem: *E.E1.SUPP.TMP1 (7 ks)*.

RSD obsahuje následující požadavky na požadované zařízení (produkty): *funkční, výkonové, požadavky limitující konstrukční návrh, požadavky na provoz, údržbu a dopravu, požadavky na bezpečnost a na jakost dodávaného zařízení (produktů)*. Jedná se o zařízení *kategorie typu A*.

*Kategorie zařízení (produktu) typu A* představuje katalogové zařízení (produkt) bez nutnosti modifikací a bez nutnosti realizovat program ověřování (přezkoumání návrhu, vizuální kontrola, zkoušky) pro Zadavatele dle aktuálních specifikací aplikací v rámci projektu ELI Beamlines.

Všechny aktivity ověřování realizované Dodavatelem musí být provedeny v souladu s Dodavatelovým plánem výstupní kontroly (výstupní vizuální kontrolou a výstupními zkouškami). Interní postup přejímky zařízení (produktu) kategorie typu A musí být stanoven a aplikován před uvedením zařízení do provozu (fáze provozu).

## Pojmy, Definice a Použité zkratky

Pro účely tohoto dokumentu jsou použity následující pojmy, zkratky a definice:

| **Zkratka** | **Pojem, definice** |
| --- | --- |
| DC | Direct current (stejnosměrný elektrický proud) |
| DN | Diameter Nominal (vnitřní průměr) |
| ELI | Extreme Light Infrastructure |
| EMP | Electromagnetic pulse (elektromagnetický impuls) |
| NO | Normally Open |
| PLC | Programovatelný Logický Automat |
| RP1-RP6 | Research programs 1-6 (Výzkumné programy 1-6) |
| RSD | Requirements Specification Document (technická specifikace) |
| TMP | Turbomolekulární pumpa |

## Referenční dokumenty

|  |  |
| --- | --- |
| **Číslo dokumentu** | **Název dokumentu** |
| ***RD-01*** | *00163567-B\_1.2\_Q\_M\_Guide\_for\_Instructions\_for\_Use\_Ver-9\_CZ\_fully\_signed.pdf* |

## Odkazy na normy nebo technické dokumenty

V případě, že tento dokument obsahuje odkazy na normy nebo standardizované/ standardizační technické dokumenty zadavatel umožňuje nabídnout také jiné rovnocenné řešení. Nabízí-li dodavatel jiné rovnocenné řešení, zadavatel neodmítne jeho nabídku, pokud dodavatel v nabídce vhodným prostředkem prokáže, že nabízené dodávky, služby nebo stavební práce splňují rovnocenným způsobem požadavky vymezené technickými podmínkami s využitím odkazu na normy nebo technické dokumenty.

# Obsah dodávky

REQ-022855/A

Součástí dodaného zboží musí být:

* Turbomolekulární pumpy dle technické specifikace (Tab. 1),
* Napájecí a řídící jednotky pro všechny turbomolekulární pumpy,
* Kabeláž,
* Zobrazovací jednotka určená k ovládání turbomolekulární pumpy,
* Síto pro hrubé nečistoty na vstupní přírubu ke každé TMP,
* Zavzdušňovací ventil (elektricky ovládaný) ke každé TMP,
* Protokol o funkčním testu TMP,
* Balení a transport zboží,
* Návod k použití, provozu, instalaci a údržbě TMP v českém nebo anglickém jazyce (v elektronické podobě),
* Zaškolení technického personálu o provozu a údržbě zařízení v rozsahu max. 1 den v místě dodání.

# Funkční, výkonové požadavky a požadavky limitující konstrukční návrh

## Obecné požadavky

REQ-022856/A

Z turbomolekulární pumpy nesmí docházet k uvolňování částic, které by způsobili znečištění čerpané aparatury.

REQ-022857/A

Ložiska nesmí být přimazávána tuhými mazivy (tuky).

REQ-022858/A

Všechny turbomolekulární pumpy musí být vybaveny řídicí a napájecí jednotkou, které umožní provoz a ovládání TMP.

REQ-022859/A

Všechny turbomolekulární pumpy musí být chlazeny vodou (viz Tab. 1 - Požadavky na chlad. kapalinu), nebo musí být schopné provozu bez přídavného chlazení.

REQ-022860/A

Všechny turbomolekulární pumpy musí být schopny provozu v libovolné poloze.

REQ-022861/A

Všechny turbomolekulární pumpy musí být chráněny proti poškození při výpadku elektrické energie.

REQ-022862/A

Všechny turbomolekulární pumpy musí být chráněny proti poškození při nárůstu teploty (např. redukcí otáček, odstavením pumpy apod.).

REQ-022863/A

Rozměr a typ přírub pro připojení turbomolekulárních pump k čerpanému recipientu je specifikován v Tab. 1.

REQ-022864/A

Všechny vývěvy budou připevněny na protipřírubu s normovanou tloušťkou stěny pomocí šroubů do průchozích děr.

REQ-022865/A

Upevňující materiál musí podléhat vakuovým standardům (ISO/TS 3669-2) a bezpečnostním předpisům pro montáž TMP dle výrobce.

REQ-022866/A

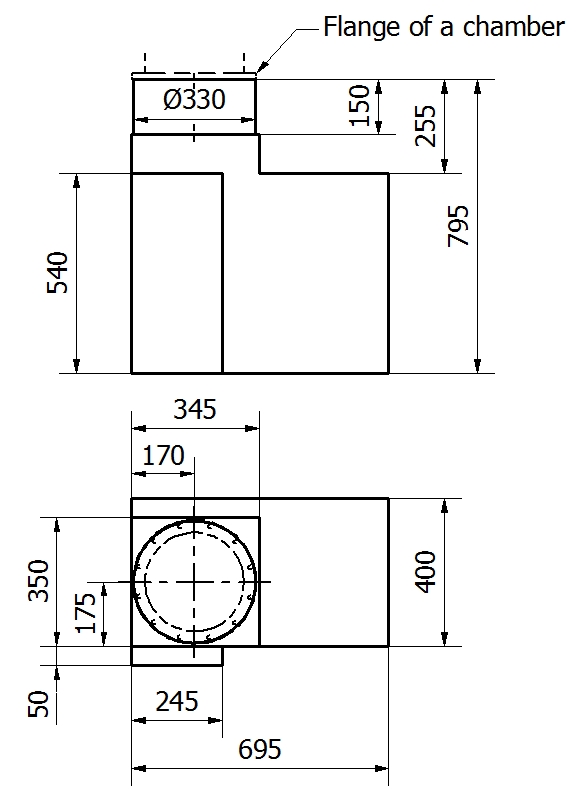
Rozměr a typ výstupních přírub turbomolekulárních pump je specifikován v Tab. 1.

REQ-022867/A

Pokud turbomolekulární pumpa typu A obsahuje externí kontrolér resp. integrovaný kontrolér, musí turbomolekulární pumpa resp. sestava (TMP + kontrolér) splňovat maximální rozměry dle Obr. 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **TYP** | | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |
| **Množství [ks]** | | **3** | **1** | **1** | **1** | **1** |
| **Minimální nominální čerpací rychlost pro N2 [l·s-1]** | | **2050** | **1300** | **680** | **250** | **60** |
| **Mezní tlak [mbar]** | | 2∙10-8 | 2∙10-8 | 2∙10-8 | 8∙10-10 | 8∙10-10 |
| **Vstupní příruba ISO 3669:2007** | **Rozměr** | DN 250 | DN 200 | DN 160 | DN 100 | DN 63 nebo  DN 100 |
| **Typ** | ISO-CF | ISO-CF | ISO-CF | ISO-CF | ISO-CF |
| **Výstupní příruba ISO 2861:2013** | **Rozměr** | DN 40 | DN 40 | DN 25 nebo DN 40 | DN 16 nebo DN 25 | DN 16 nebo DN 25 |
| **Typ** | ISO-KF | ISO-KF | ISO-KF | ISO-KF | ISO-KF |
| **Minimální kompresní poměr pro N2** | | 9∙107 | 9∙107 | 1∙107 | 9∙107 | 9∙107 |
| **Typ chlazení** | | Dem. voda | Dem. voda | Dem. voda | Dem. voda | Dem. voda |
| **Maximální průtok chladicí kapaliny [l/min]** | | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2 |
| **Teplota chladicí kapaliny [°C]** | | 16 - 20 | 16 - 20 | 16 - 20 | 16 - 20 | 16 - 20 |
| **Maximální tlak chladicí kapaliny [bar]** | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| **Orientace** | | Libovolná | Libovolná | Libovolná | Libovolná | Libovolná |
| **Maximální hmotnost [kg]** | | 75 | 55 | 50 | 20 | 20 |
| **Maximální rozměry** | | dle **Obr. 1** | - | - | - | - |

**Tabulka 1:** Technická specifikace turbomolekulárních pump A, B, C, D,E.



**Obrázek 1**: Volný prostor pro umístění turbomolekulárních pump typu A.

## Čerpací rychlost

REQ-022868/A

Čerpací rychlost pro jednotlivé typy turbomolekulárních pump je specifikována v Tab. 1.

## Kompresní poměr

REQ-022869/A

Minimální kompresní poměr pro jednotlivé typy turbomolekulárních pump je specifikován v Tab. 1.

## Mezní tlak

REQ-022870/A

Mezní tlak pro jednotlivé typy turbomolekulárních pump je definován v Tab. 1.

REQ-022871/A

Všechny turbomolekulární pumpy se vstupní přírubou ISO-F a s přírubou CF musí dosáhnout mezního tlaku na zaslepené vstupní přírubě dle Tab. 1 nejdéle za 12 hod při čerpání z atmosférického tlaku.

## Maximální přípustný tlak na vstupu turbomolekulární pumpy

REQ-022872/A

Turbomolekulární pumpy musí být schopné nepřetržitého provozu při tlaku 0,001 mbar na vstupní přírubě.

## Maximální povolený tlak na výstupu turbomolekulární pumpy

REQ-022873/A

Turbomolekulární pumpy musí být schopné nepřetržitého provozu při tlaku 0,1 mbar na výstupní přírubě.

## Chlazení turbomolekulárních pump

REQ-022874/A

Pro chlazení turbomolekulárních pump, musí být možné použít demineralizovanou vodu.

REQ-022875/A

Pumpy musí být možné připojit na chladicí okruh, který je zakončen vnějším trubkovým závitem G1/4“. Součástí pump musí být vnitřní trubkový závit G1/4“.

## Přídavná zařízení

REQ-022876/A

Součástí dodávky ke každé turbomolekulární pumpě musí být:

* Síto na vstupu pro hrubé nečistoty. Nesmí snížit čerpací rychlost více než o 10% a velikost „ok“ nesmí být větší než 5 mm,
* Zavzdušňovací ventil (elektricky ovládaný),
* Příslušenství umožňující turbomolekulární pumpu připojit na rozvod chladicí kapaliny,
* Kabeláž,
* Řídící jednotka (kontrolér) a napájecí jednotka.

## Řídicí systém - Dálkové ovládání pump

V tomto oddíle se termínem pumpa označuje turbomolekulární pumpa (TMP) se svým příslušným kontrolérem včetně napájecí jednotky. Pod pojmem rozhraní se rozumí soubor technických opatření zajišťující komunikaci s nadřazeným dálkovým ovládáním. Pod pojmem „binární“ se rozumí dvoustavová hodnota. Neboli pokud je např. uvedeno, že informace „status OK“ je binární údaj/signál, má tato informace dvě možné hodnoty „OK“ a „NOT OK“, ať je realizována jako jednobitová hodnota, či jinak.

REQ-022877/A

Součástí dodávky každé turbomolekulární pumpy musí být ovládací jednotka, která umožní spuštění, vypnutí a odečet základních stavů a parametrů turbomolekulární pumpy.

REQ-022878/A

TMP musí být možno napájet ze sítě 230 V ± 10 %, 50 Hz.

### Požadovaná rozhraní

##### Paralelní vstupně/ výstupní rozhraní pro připojení vzdáleného ovládání

Charakteristický více pinovým dedikovaným konektorem pro připojení PLC.

REQ-022879/A

Rozhraní pro vzdálené ovládání musí používat vstupní jednobitové (logické) signály o úrovni max. 24 V DC / 20 mA.

REQ-022880/A

Paralelním rozhraním musí být přenášeny minimálně tyto příkazy (vstup do TMP):

* Zapnutí a vypnutí TMP,
* Popřípadě další signály potřebné pro řádné ovládání TMP.

REQ-022881/A

Paralelním rozhraním musí být přenášeny tyto stavové informace (výstup z TMP):

* OK status, tj. vše v pořádku (nejlépe pomocí kontaktů relé),
* TMP zapnuta, tj. že jsou detekovány otáčky (nejlépe pomocí kontaktů relé),
* Dosažení nominálních otáček (nejlépe pomocí kontaktů relé),
* Signalizaci abnormálního stavu a výstrahy (nejlépe pomocí kontaktů relé),
* Popřípadě dosažení redukovaných otáček, či hodnoty standby otáček (nejlépe pomocí kontaktů relé).

REQ-022882/A

Stav kontaktů relé za klidu, kdy jsou kontakty nesepnuty je NO (Normally Open).

REQ-022883/A

Stav při sepnutí kontaktů znamená ON, (nebo OK, dosažení stavu, atd.).

REQ-022884/A

Kontakty musí být dimenzovány nejméně na 200 mA při 24 V DC.

##### Ovládání pomocí sériového rozhraní RS232 nebo RS485

REQ-022885/A

Rozhraním RS232 nebo RS485 musí být přenášeny minimálně tyto příkazy (binární hodnoty):

* TMP zapnout/vypnout,
* Popřípadě redukovaná rychlost, nebo „standby“ provoz, zapnout/vypnout.

REQ-022886/A

Rozhraním RS232 nebo RS485 musí být přenášeny minimálně tyto stavové informace (údaje o stavu TMP):

* Status OK (vše v pořádku),
* Chybové statusy ALARM, WARNING,
* TMP zapnuta tzn. je detekována rotace,
* Dosažení nominální čerpací rychlosti (otáček),
* Popřípadě dosažení redukovaných otáček, či hodnoty standby otáček,
* Popřípadě aktuální otáčky.

REQ-022887/A

Alternativou k sériovému rozhraní, může být rozhraní Ethernet s týmiž parametry.

*Poznámka: Současná existence obou rozhraní je výhodou.*

REQ-022888/A

Součástí dodávky musí být manuál s popisem komunikačního protokolu.

# Podmínky provozu

REQ-022890/A

Dodávané zboží musí být určeno k provozu v následujících podmínkách:

* teplota 20±5 °C,
* vlhkost 40-80 %,
* čistota prostředí: třída ISO 7 dle ČSN EN ISO 14644 (ekvivalent EN ISO 14644).

*Poznámka: Provoz turbomolekulárních pump bude nepřetržitý (řádově několik týdnů bez odstávky).*

## Parametry chladicí kapaliny

REQ-022891/A

Pro chlazení TMP bude použita demineralizovaná voda o následujících parametrech:

* Rozsah kyselosti: 7 ≦ pH ≦ 8,
* Rozsah rezistivity: 100 kΩ∙cm až 16 MΩ∙cm,
* Složení:
  + obsah ve vodě rozpustných látek < 0,1 mg/l;
  + obsah ve vodě nerozpustných látek < 0,1 mg/l;
  + velikost nerozpustných částic ≦0,45 μm;
  + obsah chloru < 10 μg/l;
  + obsah železa < 10 μg/l;
  + obsah SiO2 < 10 μg/l.

# Údržba

REQ-022892/A

Preventivní kontrola nakoupeného zařízení bude provedena dodavatelem po roce od uvedení do provozu. Preventivní kontrola musí být prováděna v místě instalace turbomolekulární pumpy.

REQ-022893/A

Způsob provádění průběžné preventivní údržby zadavatelem (kupujícím) musí být popsán v technické dokumentaci ke každému typu turbomolekulární pumpy, která bude předána zadavateli.

# Požadavky na dopravu zařízení

## Obecné požadavky na dopravu zařízení

REQ-022894/A

Doprava do konečného místa určení technologií a přístrojů musí být provedeny Dodavatelem.

REQ-022895/A

Technologie a přístroje se musí dodat v ochranném obalu zabraňujícím poškození a znečištění a minimálně dvou oddělených vrstvách čistého obalu. Technologie musí být čištěny a baleny v souladu s třídou čistoty 7 dle ČSN EN ISO 14644 (ekvivalent EN ISO 14644).

## Specifické požadavky na dopravu zařízení

REQ-022896/A

Součástí dodávky musí být i příslušenství pro správné a bezpečné připojení k vakuové komoře, na rozvod chladicí kapaliny apod.

# Požadavky na bezpečnost zařízení

REQ-022897/A

Dodavatel musí poskytnout prohlášení o shodě pro každý typ výrobku, stanovují-li příslušné právní předpisy povinnost Dodavateli prohlášením o shodě pro účely prodeje zařízení na českém trhu disponovat.

Toto prohlášení musí být v takovém případě v souladu se zákonem č. 22/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů (např. zákon č. 91/2016 Sb.).

REQ-022898/A

Nesmí být zakázána instalace v prostředí s výskytem ionizujícího záření a EMP.

# Požadavky na jakost dodávaného zařízení

## Obecné požadavky na jakost dodávaného zařízení

REQ-022899/A

Součástí dodaného výrobku bude návod k použití pro uživatele. Kompletnost návodu musí být v souladu s ČSN EN 82079-1 (ekvivalent EN 82079-1) nebo ELI Metodologií pro přípravu Návodu k použití (viz **RD-01**, kapitola 1.4) a musí obsahovat pokyny a popis pro:

* přepravu a manipulaci,
* skladování a instalaci,
* bezpečný provoz a postupy údržby.

REQ-022900/A

Dodavatel musí poskytnout informace o provedené výstupní kontrole zařízení (produktu). Tato informace musí minimálně obsahovat prohlášení o provedení výstupní kontroly a prohlášení o shodě produktu s technickými požadavky definovanými v RSD na zařízení a o kompletností zařízení.

REQ-022901/A

Dodavatel musí vytvořit a udržovat systém řízení neshody kompatibilní s ČSN EN ISO 9001 (ekvivalent EN ISO 9001).

## Mezinárodní standardy

REQ-022902/A

Dodané zboží musí odpovídat následujícím standardům:

* ISO 1609:1986 - Vacuum technology - Flange dimension,
* ISO 2861:2013 - Vacuum technology - Dimensions of clamped - type quick-release couplings,
* ISO 5302:2003 - Vacuum technology - Turbomolecular pumps - Measurement of performance characteristic,
* ISO/TS 3669-2:2007 - Vacuum technology – Bakable flanges,
* ČSN EN ISO 14644 - Cleanrooms and associated controlled environments (ekvivalent EN ISO 14644).

## Specifické požadavky na jakost dodávaného zařízení

### Testy

Zadavatel si vyhrazuje právo překontrolovat parametry nakoupeného vybavení.

REQ-022903/A

Testy budou prováděny dle ISO 5302:2003 - Vacuum technology - Turbomolecular pumps - Measurement of performance characteristic.