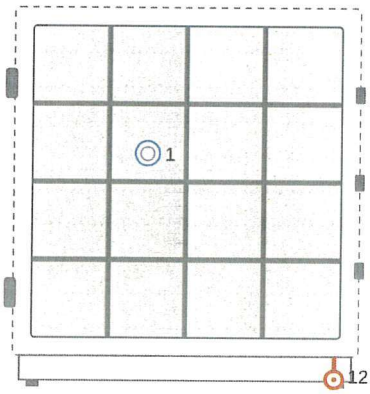
TECHNICKÁ PONUKA

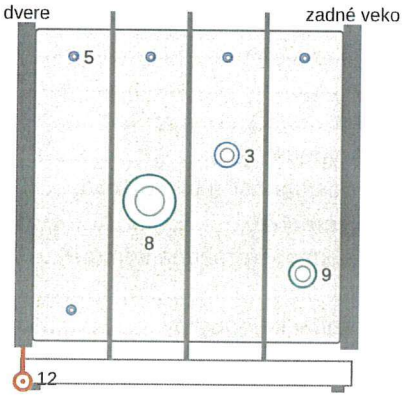
Vákuová komora pre robotický simulátor

Návrh riešenia predmetu zákazky

A – pohľad spredu: dvere (celé čelo)



B – pohľad sprava



Údaj	Hodnota
Verejný obstarávateľ	Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9/6319, 845 13 Bratislava
Postup	OM26UMS032 – verejná súťaž (JOSEPHINE 81898)
Projekt	RobSim-Space, NFP401101C884
Uchádzač	SoliVac Mérnöki Kft., Kálvária sgt. 87/A, 6725 Szeged, Maďarsko
Dokument	Súčasť ponuky: návrh riešenia (SP, časť B, bod 3.1)
Verzia / dátum	v12 · 21.10.2026

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

Obsah

1. Úvod **3**
1.1. Úloha a účel použitia 3
1.2. Rozsah a hranice dodávky 3
1.3. Vyhlásenie o obchodnom tajomstve 3
2. Konštrukcia komory **3**
2.1. Hlavné rozmery 3
2.2. Materiál a konštrukcia stien 4
2.3. Modulárna konštrukcia a preprava 4
2.4. Rám a inštalácia 5
2.5. Ukotvenie robota a vnútorné kotviace body 5
2.6. Priezory a príruby 5
3. Dvere **6**
4. Vákuový systém **7**
4.1. Usporiadanie 7
4.2. Zoznam prvkov 8
4.3. Umiestnenie kryopumpy 9
4.4. Prevádzková postupnosť a blokovania 9
4.5. Výpočet času čerpania 10
4.6. Garantované hodnoty (prázdna komora) 11
4.7. Meranie vákua 12
4.8. Zdôvodnenie voľby kryopumpy 12
5. Riadiaci a elektrický systém **12**
5.1. Riadiaci systém ThermaSentinel 12
5.2. Hlavné vlastnosti 13
5.3. Hardvér a súlad so zadaním 14
6. Príprava na tienenie ionizujúceho žiarenia **14**
6.1. Charakter žiarenia 14
6.2. Tieniaci účinok oceľovej steny hrúbky 20 mm 14
6.3. Príprava na vyššie urýchľovacie napätie 14
6.4. Súlad s normami 15
7. Pevnostný výpočet (metóda konečných prvkov) **15**
8. Návrh rozšírenia na vnútornú dĺžku 4500 mm **15**
9. Realizácia **18**
9.1. Harmonogram 18
9.2. Preberacie skúšky u výrobcu (FAT) a preberanie na mieste 18
9.3. Zaškolenie 19
10. Odovzdávaná dokumentácia **19**
11. Zoznam hlavných komponentov **19**
12. Tabuľka súladu s požiadavkami **20**
13. Odkazy **22**

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

1. Úvod

1.1. Úloha a účel použitia

Komora je experimentálnym zariadením projektu RobSim-Space („Robotický simulátor pre experimentálne testovanie privárania svorníkov vo vákuu“, NFP401101C884). V komore bude priemyselný robot ABB IRB 2400/16 vykonávať privarovanie svorníkov kondenzátorovým výbojom vo vákuu. Verejný obstarávateľ plánuje komoru v budúcnosti využívať aj na zváranie a rezanie elektrónovým lúčom, preto návrh počíta aj s budúcim doplnením radiačnej ochrany (kapitola 6).

1.2. Rozsah a hranice dodávky

- Predmet dodávky: teleso komory, dvere, zadné veko, zváraný a práškovo lakovaný oceľový rám, vákuový systém, merací a riadiaci systém, elektrický rozvádzač a kabeláž, návrh a dokumentácia, preberacie skúšky u výrobcu (FAT), balenie, preprava, inštalácia, uvedenie do prevádzky, funkčné skúšky a zaškolenie obsluhy.
- Predmetom dodávky nie sú robot (ABB IRB 2400/16) ani nadradený systém vzdialeného dohľadu.

Služby zabezpečované kupujúcim. Podľa kúpnej zmluvy kupujúci (verejný obstarávateľ) na vlastnú zodpovednosť a náklady zabezpečí priestory a podmienky potrebné na inštaláciu a uvedenie do prevádzky, najmä:

- inštalačnú miestnosť s voľným prístupom cez vstup 3000 × 3300 mm a s podlahou s dostatočnou únosnosťou;
- trojfázové elektrické napájanie 400 V privedené k elektrickému rozvádzaču;
- chladiacu vodu pre héliový kompresor;
- bezolejový stlačený vzduch s tlakom 5–7 bar pre pneumatické ventily;
- suchý dusík na zavzdušňovanie a na preplach kryopumpy;
- odsávanie výfuku predvákuovej vývevy.

Presné požiadavky na médiá (príkon, prietok, tlak, pripojovacie miesta) stanoví dokument požiadaviek na inštaláciu, ktorý spoločnosť SoliVac vypracuje vo fáze návrhu; konečné hodnoty obsahuje schválená projektová dokumentácia.

- **Ochrana pred žiarením:** tieniaci účinok oceľovej steny komory hrúbky 20 mm bez úprav postačuje do urýchľovacieho napätia 60 kV; ochranu priezorov, škár a priechodiek preukáže konečné dimenzovanie podľa DIN 54113. S olovenými ochrannými doskami je možné komoru prispôsobiť do 150 kV (kapitola 6). Zadávacia dokumentácia urýchľovacie napätie neuvádza.

1.3. Vyhlásenie o obchodnom tajomstve

Ponuka neobsahuje obchodné tajomstvo.

2. Konštrukcia komory

2.1. Hlavné rozmery

Parameter	Požiadavka	Ponuka
Vnútorná šírka × výška	min. 2500 × 2500 mm	2500 × 2500 mm
Vnútorná dĺžka (hĺbka)	min. 1500 mm (hodnotenie: ≥ 2500 mm = 20 bodov)	2500 mm
Vnútorný objem	cca 9,3 m³ (pri 1500 mm)	cca 15,6 m³
Prepravný rozmer (š × v)	max. 3000 × 3300 mm (vstup)	teleso komory cca 2840 × 2840

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

Parameter	Požiadavka	Ponuka
		mm
Svetlý otvor dverí	min. 1200 × 2100 mm	2500 × 2500 mm (celé čelo)

Vonkajší rozmer telesa komory vyplýva zo stien 2 × 20 mm a výstužných rebier 2 × 150 mm, rovnako na šírku aj na výšku:

$$2500\ mm + 2 \cdot 20\ mm + 2 \cdot 150\ mm = 2840\ mm$$

Rám, kryopumpa a šupátkový ventil sú samostatné prepravné celky, takže najväčším celkom prechádzajúcim vstupom je teleso komory. Nátrubky a príruby na telese komory nepresahujú obrys výstužných rebier s výškou 150 mm alebo sa pri preprave demontujú; skutočný obrysový rozmer telesa komory (vrátane závesných ôk) stanoví konečný návrh, prispôsobený šírke vstupu 3000 mm.

2.2. Materiál a konštrukcia stien

- **Materiál:** z hľadiska vákuovej techniky navrhujeme použiť nehrdzavejúcu oceľ: nekoroduje, a preto ani pri častom zavzdušňovaní nehrdzavie, má nižšie odplyňovanie a jej povrch sa dobre čistí. Austenitická nehrdzavejúca oceľ (1.4301 / 1.4307, pri vákuových dieloch 1.4404 alebo ekvivalent), materiálový certifikát podľa EN 10204 3.1.
- **Hrúbka steny:** 20 mm na plášti, dverách a zadnom veku. Hrúbku steny okrem vákuového zaťaženia odôvodňuje aj tienenie röntgenového žiarenia (kapitola 6).
- **Vystuženie:** na vonkajšej strane telesa komory výstužné rebrá s roztečou 625 mm a výškou 150 mm; na dverách a zadnom veku mriežkové rebrovanie (3 + 3 rebrá). Rozmery rebier sa spresnia na základe výpočtu metódou konečných prvkov.
- **Povrchová úprava:** vnútorné (vákuové) povrchy brúsené, aby bola skutočná plocha povrchu čo najmenšia a čerpanie čo najrýchlejšie, následne vákuovo čistené; vonkajšie povrchy morené a pasivované.
- **Zváranie:** spoločnosť SoliVac je certifikovaná podľa EN ISO 3834-2; vákuové zvary zhotovujú zvárači kvalifikovaní podľa EN ISO 9606-1. Zvary na vákuovej strane sú vedené z vnútornej strany, s úplným prievarom a overené skúškou tesnosti héliom (cieľová integrálna netesnosť: ≤ 1×10^{-8} Pa·m³/s).

2.3. Modulárna konštrukcia a preprava

Hlavné celky komory: teleso komory (dve bočné steny, podlaha, strop), zadné veko, dvere a rám. Zadné veko a dvere sa montujú na mieste. Zadné veko je pripojené skrutkovým prírubovým spojom s tesnením O-krúžkom z materiálu Viton. Kryopumpa a šupátkový ventil sú pri preprave demontované a nátrubok je uzavretý krytom; šírka telesa komory tak zostáva v rámci obmedzenia vstupu.

Celok	Plocha plechu	Odhadovaná hmotnosť s rebrami (+30 %)
Zadné veko (2500 × 2500 mm, 20 mm)	6,25 m²	cca 1 300 kg
Dvere (2500 × 2500 mm, 20 mm)	6,25 m²	cca 1 300 kg
Teleso komory (4 steny × 6,25 m²)	25 m²	cca 5 200 kg
Spolu	37,5 m²	cca 7 800 kg

Výpočet (t = 20 mm, ρ = 8 000 kg/m³ = 8 kg/(m²·mm)):

$$m = A \cdot t \cdot \rho = A \cdot 20\ mm \cdot 8\ kg/(m^2 \cdot mm) = A \cdot 160\ kg/m^2$$

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

$$m_rebrá \approx 1{,}3 \cdot m$$

Hmotnosť rebier, prírub, rámu dverí a nátrubkov je zohľadnená 30 % prirážkou. Konečnú hmotnosť je možné presne určiť až po ukončení návrhu.

2.4. Rám a inštalácia

- **Rám:** zváraná oceľová konštrukcia, práškovo lakovaná, s nastaviteľnými nivelačnými pätkami. Rám nesie komoru a zaťaženie od robota a nie je ukotvený k stavebnej konštrukcii; zariadenie je teda samonosné.
- **Výška:** výšku rámu určí konečné riešenie s ohľadom na pohodlné vkladanie a vyberanie robota a skúšobných vzoriek a na použitie stropného zdvíhadla, po dohode s verejným obstarávateľom.
- **Vývevy a rozvádzač:** predvákuová výveva stojí vedľa komory; héliový kompresor je umiestnený v blízkosti komory, elektrický rozvádzač na ráme, v jednom celku s komorou.
- Na mieste komoru vynivelujeme a nastavíme dvere.

2.5. Ukotvenie robota a vnútorné kotviace body

- **Robot:** v dvoch vopred určených polohách (R1, R2) vystužená vnútorná kotviaca doska s rozmiestnením otvorov pätky ABB IRB 2400/16. Dimenzovanie vychádza zo statického zaťaženia 800 kg (vrátane robota) a z prevádzkových zaťažení a zaťažení pri núdzovom zastavení podľa „Product manual“ ABB (3HAC022031-001). Dimenzovanie bude overené výpočtom metódou konečných prvkov.
- **Podlaha:** závitové kotviace body M12 v rastri 250 × 250 mm.
- **Steny a strop:** závitové kotviace body M10 v rastri 250 × 250 mm. Strop je dimenzovaný na zaťaženie 800 kg (koľajnica, zdvíhadlo a bremeno) na manipuláciu s robotom.
- Závitové body sú vyhotovené ako slepé otvory; na upevnenie používame špeciálne odvetrávacie skrutky s vŕtaným otvorom, aby sa v závitovom otvore nevytváral uzavretý plynový vak.

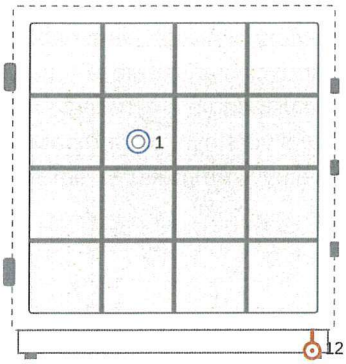
2.6. Priezory a príruby

#	Názov	Počet	Umiestnenie
1–4	Priezor, svetlý priemer Ø150 mm, okolo neho 4× závit M6×25	4	dvere, strop, pravá a ľavá bočná stena
5	Rezervná príruba KF50 (so strediacim krúžkom, tesnením Viton a záslepkou)	10	5 na pravej a 5 na ľavej bočnej stene
6	Rezervná príruba DN100 ISO-K (so strediacim krúžkom, tesnením Viton a záslepkou)	1	zadné veko
7	Rezervná príruba DN250 ISO-K (so strediacim krúžkom, tesnením Viton a záslepkou)	3	2 na zadnom veku, 1 na strope
8	Sací nátrubok DN320 ISO-F pre kryopumpu (so šupátkovým ventilom V1)	1	pravá bočná stena
9	Nátrubok predvákua DN160 ISO-F	1	pravá bočná stena
10	Nátrubok pre meranie, zavzdušnenie a poistný ventil KF40	7	strop, ľavá bočná stena
11	Elektrická priechodka CF40	1	zadné veko

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

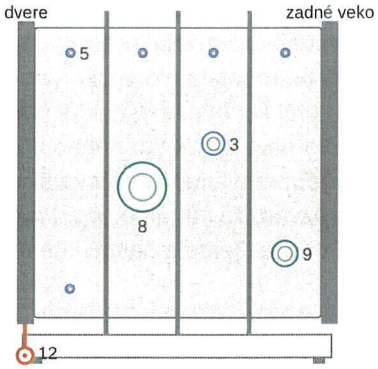
Rezervné príruby (5–7) sa podľa zadania zhotovujú nad rámec prírub potrebných na prevádzku. Konečné umiestnenie stanovíme vo fáze návrhu po dohode s verejným obstarávateľom.

A – pohľad spredu: dvere (celé čelo)



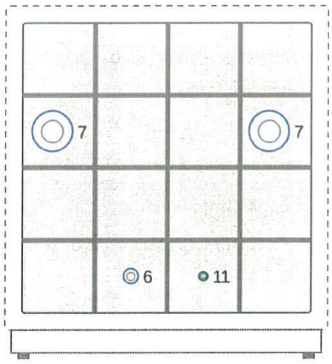
vnútri 2500 × 2500 mm · teleso ≈ 2840 × 2840 mm

B – pohľad sprava

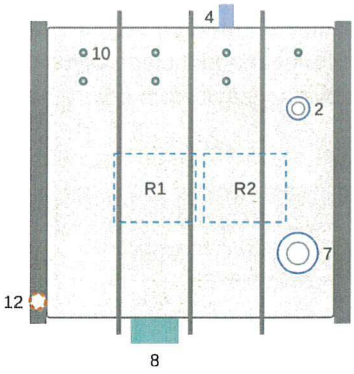


rebrá každých 625 mm, výška 150 mm

C – pohľad zozadu: zadné veko



D – pohľad zhora (hore ľavá stena)



1 – VP1 priezor Ø150 mm, dvere
2 – VP2 priezor Ø150 mm, strop
3 – VP3 priezor Ø150 mm, pravá stena
4 – VP4 priezor Ø150 mm, ľavá stena
5 – 10× KF50 rezerva (5 na pravej, 5 na ľavej stene)
6 – DN100 ISO-K rezerva, zadné veko
7 – 3× DN250 ISO-K rezerva (2 na zadnom veku, 1 na strope)
8 – DN320 ISO-F sací nátrubok: V1 šupátko + CP1 kryopumpa
9 – DN160 ISO-F nátrubok predvákua
10 – 7× KF40 meranie, zavzdušnenie, poistný ventil
11 – CF40 elektrická priechodka · okolo priezorov 4× M6×25
12 – oporné koleso dverí

priezor / rezervná príruba podľa zadania prevádzkový nátrubok výstužné rebro
pätka robota v dvoch polohách (ABB IRB 2400, 723 × 600 mm)

Stena z nehrdzavejúcej ocele hrúbky 20 mm · vnútorný raster M10 na stenách a strope, M12 na podlahe, 250 × 250 mm

Obrázok 1 – Koncepčný náčrt komory: pohľad spredu (dvere), pohľad sprava, pohľad zozadu (zadné veko) a pohľad zhora.

3. Dvere

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

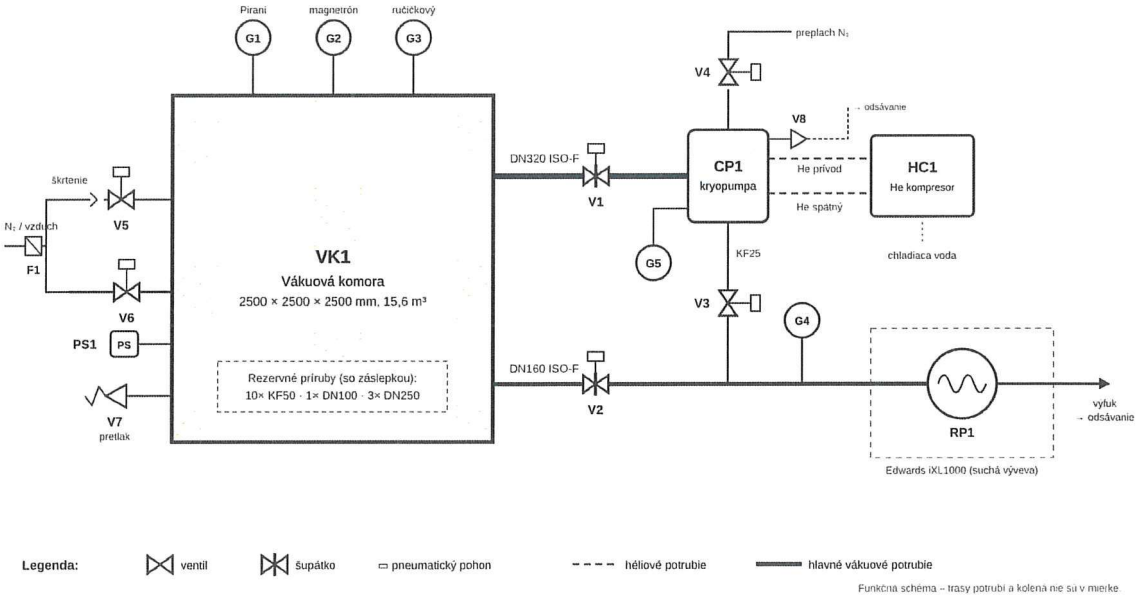
- **Rozmer:** dvere s plným prierezom, svetlý otvor 2500 × 2500 mm, takže robot aj rozmerné skúšobné vzorky je možné vložiť a vybrať bez prekážok.
- **Mechanizmus:** pántový mechanizmus s oporným kolesom. Dvere sa otáčajú na nastaviteľných pántoch s vysokou únosnosťou so zvislou osou; pod voľným okrajom dverí je na zvislej podpere pripevnenej k dverám oporné koleso, ktoré nesie hmotnosť dverí (s rebrami cca 1 300 kg), a tým výrazne znižuje ohybové zaťaženie pántov a telesa komory; skutočné rozloženie síl určí konečný návrh a nastavenie. Oporné koleso sa odvaľuje po podlahe, prípadne – v závislosti od výšky rámu – po oblúkovej pojazdovej doske pripevnenej k rámu. Dvere otvorí jedna osoba, otváracia sila je najviac 250 N.
- **Bočne posuvný variant:** ak by bočné otvorenie dverí v mieste inštalácie nebolo možné z dôvodu nedostatku miesta, dvere vieme vyhotoviť aj v bočne posuvnom vyhotovení (po koľajnici).
- **Tesnenie:** dva tesniace O-krúžky z materiálu Viton s prípojkou na skúšku tesnosti v priestore medzi nimi. Diferenciálne čerpanie nie je potrebné a zadanie ho nepožaduje; prípojku je v prípade potreby možné pripojiť na predvákuum. Tesniaca plocha je na obrobenej prírube vytvorenej na telese komory.
- **Uzatváranie:** rýchloupínače na zabezpečenie tesniacej sily; počas prevádzky drží dvere zatvorené vonkajší atmosférický tlak.
- **Bezpečnosť:** snímač polohy dverí a mechanická zámka dverí; zámku je možné odistiť, len ak mechanický atmosférický tlakový spínač PS1 signalizuje zánik tlakového rozdielu medzi komorou a okolím (Piraniho vákuometer G1 nie je bezpečnostným prvkom, poskytuje len informatívny signál); poistný ventil proti pretlaku (V7, otvárací tlak cca +30 mbar); pre budúce vysokonapäťové zariadenie signál blokovania dvere – vysoké napätie v riadiacom systéme.
- **Ochrana pred žiarením:** presahujúce, stupňovité lícovanie, aby cez tesniacu škáru neviedla priama dráha žiarenia (kapitola 6).

4. Vákuový systém

4.1. Usporiadanie

Vákuový systém je úplne bezolejový. Predvákuum vytvára bezolejová suchá predvákuová výveva (Edwards iXL1000), vysoké vákuum kryopumpa, ktorá je cez šupátkový ventil pripojená k bočnej stene komory. Kryopumpa čerpá hlavnú plynovú záťaž nevyhrievanej komory s veľkým povrchom – vodnú paru – mimoriadne vysokou rýchlosťou (bod 4.8).

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.



Obrázok 2 – Principiálna schéma vákuového systému (funkčná schéma).

4.2. Zoznam prvkov

Značka	Názov	Navrhovaný typ (alebo ekvivalent)	Pripojenie	Ks
VK1	Vákuová komora	SoliVac, nehrdzavejúca oceľ 20 mm	–	1
CP1	Kryopumpa	Edwards Cryo-Torr 10F alebo ekvivalent; 3 600 l/s vzduch, 9 500 l/s vodná para, prepínacia kapacita 300 Torr·l; s vlastným pretlakovým ventilom	ISO320 (ISO-F); predčerpanie KF25	1
HC1	Héliový kompresor	Edwards (CTI) 9600, 380/415 V, 3 fázy, 50 Hz, vodou chladený, s párom héliových hadíc	héliové hadice	1
V1	Vysokovákuový šupátkový ventil	DN320, pneumatický, so snímačom polohy	DN320 ISO-F	1
RP1	Suchá predvákuová výveva	Edwards iXL1000; maximálna čerpacia rýchlosť 930 m³/h, medzný tlak 1×10^{-3} mbar (0,1 Pa), 3 fázy, chladená vodou	podľa vyhotovenia výrobcu, s redukciou na potrubie DN160 ISO-F	1
V2	Predvákuový šupátkový ventil	DN160, pneumatický, so snímačom polohy	DN160 ISO-F	1
V3	Rohový ventil predčerpania kryopumpy	KF25, pneumatický	KF25	1
V4	Preplachový ventil kryopumpy (N_2)	elektromagnetický ventil	KF16	1
V5	Ventil mäkkého	elektromagnetický ventil + ihlový ventil	KF16	1

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

Značka	Názov	Navrhovaný typ (alebo ekvivalent)	Pripojenie	Ks
	zavzdušnenia so škrtením			
V6	Rohový ventil rýchleho zavzdušnenia	pneumatický	KF40	1
F1	Časticový filter	v spoločnom prívode zavzdušnenia (pred V5 a V6)	KF40	1
V7	Pretlakový poistný ventil	otvárací tlak cca +30 mbar (nastavený pod 100 mbar)	KF40	1
V8	Pretlakový ventil kryopumpy	súčasť kryopumpy; výfuk odvedený do odsávania	podľa špecifikácie výrobcu	1
PS1	Mechanický atmosférický tlakový spínač	spínač tlakového rozdielu na uvoľnenie zámky dverí (bezpečnostný reťazec)	KF16	1
G1	Piraniho vákuometer	Edwards APG100-XLC (10^5 … 10^{-2} Pa)	KF40 (s redukciou)	1
G2	Invertovaný magnetrónový vákuometer	Edwards AIM-X (1 … 10^{-7} Pa)	KF40 (s redukciou)	1
G3	Ručičkový vákuometer (lokálne analógové zobrazenie)	Edwards CG16K, 0–1040 mbar	KF40 (s redukciou)	1
G4	Piraniho vákuometer, predvákuová vetva	Edwards APG100-XM	KF16	1
G5	Piraniho vákuometer, kryopumpa	Edwards APG100-XM	KF16	1

4.3. Umiestnenie kryopumpy

Kryopumpa spolu so šupátkovým ventilom vystupuje vodorovne z pravej bočnej steny komory; alternatívne ju možno umiestniť aj na zadné veko. Montáž pod komoru neodporúčame:

- Umiestnenie pod komorou by zvýšilo podlahu komory, čo by sťažilo vkladanie a vyberanie robota a skúšobných vzoriek.
- Do sacieho otvoru otočeného nahor môžu vplyvom gravitácie padať zváracie rozstreky, častice a drobné súčiastky; pri bočnom nátrubku je toto riziko minimálne.
- Pri bočnom umiestnení je zabezpečený voľný prístup na servis studenej hlavy, regeneráciu kryopumpy a údržbu šupátkového ventilu.
- Celková výška komory tak zostáva nižšia a stropné zdvíhadlo aj horné príruby sú ľahšie dostupné.
- Ak by verejný obstarávateľ trval na umiestnení kryopumpy pod komorou, táto zmena nemá vplyv na našu ponuku.

4.4. Prevádzková postupnosť a blokovania

- **Čerpanie:** V1 zatvorený, kryopumpa studená (druhý stupeň < 20 K). V2 sa otvorí a iXL1000 čerpá komoru z atmosférického tlaku.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

- **Prepnutie:** keď tlak v komore podľa Piraniho vákuometra G1 dosiahne prepínací tlak ($p \leq 2{,}6$ Pa, bod 4.5; riadiaci systém s rezervou prepína pri 1–2 Pa), V2 sa zatvorí a V1 otvorí. Predvákuovú jednotku je potom možné prepnúť do pohotovostného režimu, čo znižuje spotrebu energie.
- **Vysoké vákuum:** vákuometer AIM-X (G2) sa zapína až pod 10^{-2} mbar na základe signálu Piraniho vákuometra (G1).
- **Zavzdušnenie:** V1 sa zatvorí (kryopumpa zostáva studená); komora sa najprv pozvoľna zavzdušní cez ventil V5 a následne rýchlo cez ventil V6, pričom sa použije filtrovaný dusík alebo filtrovaný vzduch. Koniec zavzdušnenia signalizuje tlakový spínač PS1; prípadný pretlak odvedie poistný ventil V7. Zámku dverí je možné odistiť len s povolením PS1.
- **Regenerácia:** V1 zatvorený; kryopumpa sa ohreje, preplachuje sa suchým dusíkom cez V4, uvoľnený plyn odchádza cez ventil V8 do odsávania, potom ju iXL1000 predčerpá cez V3 a kompresor ju opäť ochladí. Úplná regenerácia vrátane času ochladenia podľa výrobcu (Cryo-Torr 10F, 50 Hz: cca 120 min) trvá cca 4–5 hodín. Regeneráciu je možné naplánovať na noc. Studený štart úplne ohriatej kryopumpy trvá vzhľadom na čas ochladenia najmenej cca 2 hodiny.
- **Blokovania:** V1 je možné otvoriť len pri studenej kryopumpe (druhý stupeň < 20 K) a pod prepínacím tlakom podľa G1; počas regenerácie je otvorenie V1 zakázané; V1 a V2, ako aj V2 a V3 nesmú byť súčasne otvorené; zámku dverí je možné odistiť len s povolením PS1. Pri výpadku elektrickej energie, stlačeného vzduchu alebo chladiacej vody sa všetky pneumatické ventily zatvoria, kryopumpu oddelí šupátkový ventil a héliový kompresor sa pri nedostatku chladiacej vody vypne.

4.5. Výpočet času čerpania

Predvákuová fáza. Pri konštantnej čerpacej rýchlosti je čas čerpania:

$$t = (V / S) \cdot \ln(p_0 / p_1)$$

V = 15,6 m³. Výveva iXL1000 (930 m³/h = 0,258 m³/s) čerpá z atmosférického tlaku priamo až na prepínací tlak; jej medzný tlak (0,1 Pa) je výrazne pod prepínacím tlakom:

$$t_p = (15{,}6\ m^3 / 0{,}258\ m^3/s) \cdot \ln(10^5\ Pa / 2{,}6\ Pa) \approx 638\ s \approx 10{,}6\ min$$

Vypočítaný čas je cca 11 minút; vzhľadom na povrchovú vodnú paru v praxi počítame s 11–15 minútami. Výpočet vychádza z menovitej maximálnej čerpacej rýchlosti vývevy iXL1000; konečné overenie sa vykoná s krivkou čerpacej rýchlosti od výrobcu a so skutočnou vodivosťou predvákuového potrubia.

Prepínací tlak. Kryopumpu je možné otvoriť do komory, ak množstvo plynu v komore neprekračuje prepínaciu kapacitu (Cryo-Torr 10F: 300 Torr·l ≈ 40 Pa·m³):

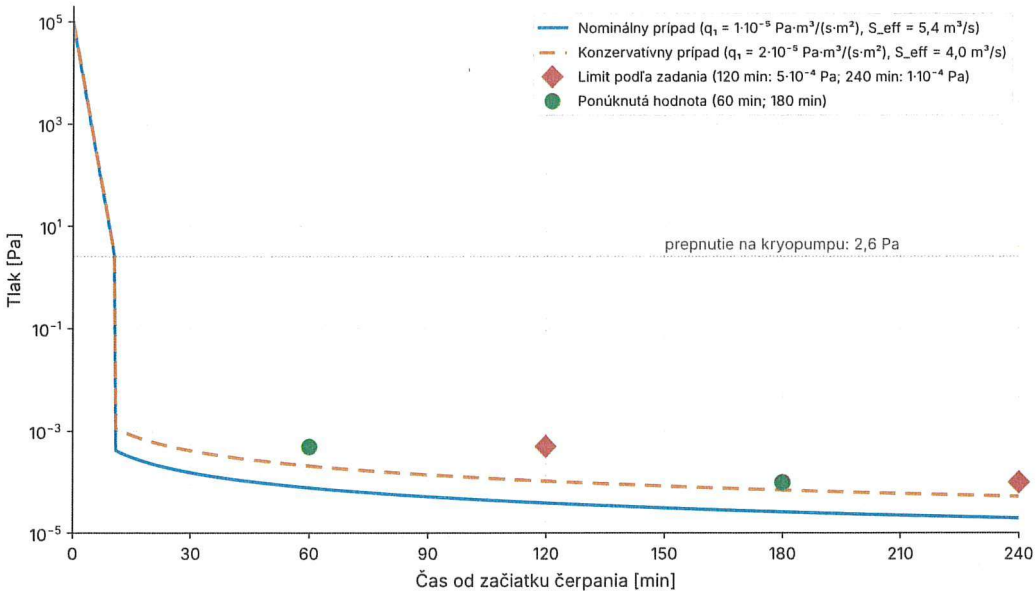
$$p_x = Q_x / V = 40\ Pa{\cdot}m^3 / 15{,}6\ m^3 \approx 2{,}6\ Pa$$

Vysokovákuová fáza. Tlak určuje povrchové odplyňovanie a efektívna čerpacia rýchlosť:

$$p(t) = [q_1 \cdot (t_ref / t) \cdot A + Q_n] / S_eff$$

Označenia: t je čas od začiatku čerpania; t_ref = 1 hodina; q_1 je merné povrchové odplyňovanie po 1 hodine (nevyhrievaná, čistená nehrdzavejúca oceľ, horná časť rozsahu 10^{-6} … 10^{-5} Pa·m³/(s·m²) uvádzaného v literatúre); Q_n je netesnosť a permeácia elastomérových tesnení (≤ 10^{-6} Pa·m³/s, voči odplyňovaniu zanedbateľná). Predpoklady: A ≈ 41 m² (vnútorný povrch s príslušenstvom). Nominálny prípad: $q_1 = 1{\times}10^{-5}$ Pa·m³/(s·m²), S_eff = 5,4 m³/s pre vodnú paru (rýchlosť kryopumpy 9,5 m³/s znížená vodivosťou šupátkového ventilu a nátrubku). Konzervatívny prípad: $q_1 = 2{\times}10^{-5}$ Pa·m³/(s·m²), S_eff = 4,0 m³/s.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.



Obrázok 3 – Vypočítaná krivka čerpania prázdnej komory (iXL1000 + Cryo-Torr 10F).

Udalosť	Nominálny prípad	Konzervatívny prípad	Zadanie
Prepnutie na kryopumpu (2,6 Pa)	cca 11 min	cca 11 min	–
Dosiahnutie 5×10⁻⁴ Pa	cca 11 min	cca 25 min	≤ 120 min
Dosiahnutie 1×10⁻⁴ Pa	cca 46 min	cca 124 min	≤ 240 min
Tlak po 4 hodinách	cca 2×10⁻⁵ Pa	cca 5×10⁻⁵ Pa	≤ 1×10⁻⁴ Pa

4.6. Garantované hodnoty (prázdna komora)

Parameter	Požiadavka	Ponuka
Pracovné vákuum	≤ 1×10⁻⁴ Pa, za ≤ 4 hodiny	≤ 1×10⁻⁴ Pa, za ≤ 180 min
Dosiahnutie 5×10⁻⁴ Pa	≤ 120 min	≤ 60 min
Vypnutie (zabezpečenie, zavzdušnenie, otvorenie)	≤ 120 min	≤ 30 min

Ponúknuté hodnoty s rezervou pokrývajú aj konzervatívny výpočtový prípad. Čas vypnutia pozostáva zo zatvorenia šupátkového ventilu, zo zavzdušnenia (15,6 m³, priemerný prietok cca 1 500 l/min) a z otvorenia dverí; kryopumpa zostáva studená, takže opätovné spustenie je rýchle:

$$t_zavzdušnenie = 15\ 600\ l\ /\ 1\ 500\ l/min \approx 10{,}4\ min$$

$$t_vypnutie \approx 1\ min + 11\ min + 5\ min \approx 17\ min \leq 30\ min$$

Hodnoty sa merajú pri FAT skúškach a pri preberaní na mieste.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

4.7. Meranie vákua

- **Celý rozsah:** Piraniho vákuometer (G1, 10^{5} … 10^{-2} Pa) a invertovaný magnetrónový vákuometer (G2, 1 … 10^{-7} Pa) sa prekrývajú v rozsahu 10^{-2}–10^{-4} mbar, takže meranie je spojité od atmosférického tlaku po vysoké vákuum. Cieľová hodnota (10^{-4} Pa) leží v strede rozsahu G2.
- **Lokálne analógové zobrazenie:** ručičkový vákuometer (G3) na komore, ktorý zobrazuje stav komory aj bez elektrického napájania.
- **Digitálne meranie:** vákuometre sú pripojené priamo do PLC (analógový signál 0–10 V, resp. sériový signál). Zapínanie a vypínanie magnetrónového vákuometra, ako aj spínacie body riadi PLC a softvér ThermaSentinel; namerané hodnoty sa graficky zobrazujú v používateľskom rozhraní a zaznamenávajú.
- Príprava na pripojenie analyzátora zvyškových plynov (RGA) na jednu z rezervných prírub.

4.8. Zdôvodnenie voľby kryopumpy

- **Čerpacia rýchlosť pre vodnú paru:** Cryo-Torr 10F čerpá vodnú paru rýchlosťou 9 500 l/s, čo je približne trojnásobok hodnoty turbomolekulárnej vývevy s rovnakou veľkosťou príruby. V nevyhrievanej, často zavzdušňovanej komore tvorí plynovú záťaž vysokovákuovej fázy prevažne vodná para.
- **Robustnosť:** kryopumpa nemá vo vákuovom priestore pohyblivé časti, preto je odolnejšia voči zváracím rozstrekom, časticiam a parám kovov z budúceho zvárania elektrónovým lúčom; sací nátrubok chráni ochranný plech proti rozstreku, predpisy na čistenie a údržbu obsahuje návod na obsluhu.
- **Energetická efektívnosť:** po prepnutí je možné predvákuovú vývevu prepnúť do úsporného pohotovostného režimu (Green Mode).
- **Prevádzka:** kryopumpa zostáva pri zavzdušnení studená za šupátkovým ventilom; regeneráciu je možné prevádzkovo naplánovať na noc.

5. Riadiaci a elektrický systém

5.1. Riadiaci systém ThermaSentinel

Riadenie komory a používateľské rozhranie zabezpečuje softvér ThermaSentinel vlastného vývoja spoločnosti SoliVac, ktorý je v bežnej prevádzke na vákuových komorách postavených spoločnosťou SoliVac. Systém pozostáva z dvoch navzájom nezávislých vrstiev:

- **Priemyselné PLC (riadenie v reálnom čase):** s cyklom 100 ms vykonáva postupnosti čerpania, prepnutia, zavzdušnenia a regenerácie (bod 4.4), ovláda ventily, vývevy a vákuometre, zabezpečuje blokovania a nezávisle od sieťového pripojenia samostatne udržiava komoru v bezpečnom stave.
- **Webové používateľské rozhranie:** aplikácia dostupná z prehliadača na zostavovanie programov (receptov), spúšťanie experimentov, sledovanie komory v reálnom čase a export nameraných údajov. S PLC komunikuje cez Ethernet (Modbus TCP).

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.



Obrázok 4 – Referenčný obrázok: používateľské rozhranie ThermaSentinel (prehľad) na inštalácii termovákuovej komory SoliVac. Obrazovky ponúkaného systému budú prispôsobené zariadeniam tejto komory.

5.2. Hlavné vlastnosti

- **Prehľad a schéma systému:** stav bežiaceho programu, schéma komory so stavmi ventilov a zobrazenie tlaku a nameraných hodnôt obnovované každých päť sekúnd; meniace sa hodnoty sú zvýraznené.
- **Krivka vákua:** grafické trendy v reálnom čase (Grafana), na samostatných stránkach vákuového systému a jednotlivých komponentov s hodnotou každého kanála, jednotkou, rozsahom alarmu a signálnou kontrolkou.
- **Recepty a experimenty:** opakovane použiteľné programy rozdelené na fázy s koncovými podmienkami (čas, nad/pod limitom, ustálená hodnota) a s bezpečnostnými limitmi; experiment beží s vlastnou kópiou receptu, takže úpravy receptu počas behu ho neovplyvnia.
- **Signalizácia a spracovanie porúch:** signalizácia dosiahnutia cieľovej hodnoty, varovaní a porúch; poruchové hlásenia zostávajú aktívne až do resetovania a hlási sa vždy prvá vzniknutá príčina. Priebežná diagnostika: test nárastu tlaku vo vysokom vákuu (odhad celkovej plynovej záťaže) a sledovanie času čerpania.
- **Záznam a export údajov:** namerané, stavové a poruchové údaje zaznamenané v databáze časových radov (InfluxDB); export CSV pre každý experiment, ktorý je možné uložiť lokálne aj na USB kľúč.
- **Denník a sledovanie zmien:** automatické a ručné záznamy v denníku o každej zmene stavu; každú zmenu parametra je možné dohľadať s pôvodnou a novou hodnotou, autorom a časom.
- **Správa používateľov:** individuálne používateľské účty s oprávneniami pridelenými administrátorom.
- **Bezpečnosť:** núdzové zastavenie, obvod dverí a tlakový spínač PS1 v reťazci blokovaní; ak sa preruší spojenie medzi používateľským rozhraním a PLC, PLC dokončí prebiehajúci krok a najneskôr do dvoch minút prejde do bezpečného stavu: šupátkové ventily sa zatvoria, komora zostane oddelená v existujúcom stave vákua, kryopumpa pracuje studená a oddelená. Pri núdzovom zastavení a pri rozpojení reťazca blokovaní je reakcia okamžitá (jeden cyklus PLC, 100 ms).
- **Lokálny displej:** vlastný displej PLC pri komore zobrazuje stav nezávisle od používateľského rozhrania a v servisnom režime umožňuje ručné ovládanie vývev a ventilov.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

5.3. Hardvér a súlad so zadaním

- **Používateľské rozhranie:** dotykové panelové PC s uhlopriečkou najmenej 15,6 palca, ovládateľné aj klávesnicou a myšou.
- **Elektrický rozvádzač** na ráme, v jednom celku s komorou, kabeláž na telese komory v káblových žľaboch.
- **Vzdialený prístup:** ethernetový port a rozhranie Modbus TCP sú súčasťou dodávky (čítanie nameraných hodnôt a stavov, prijímanie povelov); rozhranie OPC UA na požiadanie. Nadradený systém dohľadu nie je súčasťou dodávky.

6. Príprava na tienenie ionizujúceho žiarenia

6.1. Charakter žiarenia

Pri zváraní elektrónovým lúčom vznikajú dopadom elektrónov na obrobok brzdné röntgenové žiarenie a charakteristické röntgenové žiarenie. Elektróny lúča sa pohltia vo vnútri komory, žiarenie alfa ani beta nevzniká, v rozsahu 60–150 kV nedochádza k aktivácii a žiarenie zaniká vypnutím lúča. Aproximácia účinnosti vzniku röntgenového žiarenia (Kramers):

$$\eta \approx 1{,}1\times10^{-9} \cdot Z \cdot U\,[V]$$

kde η je podiel výkonu lúča premenený na röntgenové žiarenie, Z je protónové číslo terča, teda materiálu obrobku zasiahnutého lúčom (poradové číslo v periodickej sústave), a U je urýchľovacie napätie vo voltoch. Na materiáli s vyšším protónovým číslom teda vzniká viac röntgenového žiarenia.

Pre oceľový terč (hlavnou zložkou je železo, Z = 26) je pri 60 kV η ≈ 0,17 %, pri 150 kV η ≈ 0,43 %; pre volfrám (Z = 74) je to približne trojnásobok.

6.2. Tieniaci účinok oceľovej steny hrúbky 20 mm

Predbežný odhad (nie konečné dimenzovanie): Kramersovo spektrum, oceľový terč, výkon lúča 6 kW, zdroj vo vzdialenosti 600 mm od steny, zoslabenie podľa hmotnostných koeficientov zoslabenia železa (NIST), dávkový príkon (aproximácia príkonu priestorového dávkového ekvivalentu kermou vo vzduchu) vo vzdialenosti 100 mm od povrchu komory; neobsahuje nárast rozptýleného žiarenia.

Urýchľovacie napätie	Dávkový príkon za stenou hrúbky 20 mm
60 kV	cca 1×10^{-4} µSv/h
70 kV	cca 0,1 µSv/h
75 kV	cca 1 µSv/h
80 kV	cca 7 µSv/h – potrebné doplnkové tienenie

Stena z nehrdzavejúcej ocele hrúbky 20 mm poskytuje pri 60 kV rezervu niekoľkých rádov: tienenie steny komory bez úprav postačuje do urýchľovacieho napätia 60 kV a podľa odhadu samo osebe udrží úroveň 1 µSv/h približne do 70–75 kV. Ochranu priezorov, škáry dverí, nátrubkov a priechodiek (olovnaté sklo, zakrytie, presah) preukáže konečné dimenzovanie.

6.3. Príprava na vyššie urýchľovacie napätie

S doplnkovými ochrannými doskami je možné komoru prispôsobiť do urýchľovacieho napätia 150 kV. Podľa predbežného odhadu, ktorý je potrebné overiť, je na to potrebné olovené opláštenie hrúbky cca 4 mm, s rezervou 6 mm, na vonkajšej strane oceľovej steny 20 mm (pri 6 mm olova cca 68 kg/m², na celej ploche cca 2,6 t); dimenzovanie rámu a kotviacich bodov toto dodatočné zaťaženie zohľadňuje.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

- Kotviace body a rovné plochy na dodatočnú montáž vonkajšieho oloveného opláštenia (sendvičové panely oceľ – olovo); rezerva únosnosti rámu na hmotnosť opláštenia.
- Na priezory je možné dodatočne namontovať ochranné okná z olovnatého skla; alternatívne kamerové sledovanie.
- Nátrubky a priechodky: pri rozšírení na 150 kV hlavná sacia vetva s kolenom alebo lapačom žiarenia, príruby rozšíriteľné olovenými golierami, zosilnené záslepky – bez priamej dráhy žiarenia (vodivosť kolena vtedy zohľadní vákuový výpočet; v tejto dodávke je sacia vetva priama).
- Presahujúce lícovanie dverí (kapitola 3); nátrubok pre merač dávkového príkonu; voľný vstup v riadiacom systéme na blokovanie dvere – vysoké napätie.
- Vnútorný raster M10 je vhodný aj na upevnenie lokálnych tienení v blízkosti zdroja (volfrám, meď) a lapača lúča.

6.4. Súlad s normami

Konečné dimenzovanie ochrany pred žiarením sa vykoná podľa aktuálneho vydania súboru noriem DIN 54113 (najmä výpočtovej metódy DIN 54113-3), so znalosťou skutočných parametrov zariadenia na zváranie elektrónovým lúčom. Keďže údaje normy sa vzťahujú na röntgenové zariadenia s volfrámovou anódou, výpočet prispôsobíme spektru a terčom zvárania elektrónovým lúčom. Návrh tienenia bude v súlade s platnými slovenskými predpismi o radiačnej ochrane.

7. Pevnostný výpočet (metóda konečných prvkov)

Výpočet metódou konečných prvkov (FEM) je súčasťou fázy návrhu a jeho výsledok je súčasťou dokumentácie. Posudzované zaťažovacie stavy:

- Vákuové zaťaženie: vonkajší tlak 0,1 MPa; sila pôsobiaca na jednu dosku 2500 × 2500 mm:

$$F = p \cdot A = 0{,}1\ MPa \cdot 6{,}25\ m^2 = 625\ kN$$

- Robot: statické zaťaženie 800 kg a dynamické zaťaženia v prevádzke a pri núdzovom zastavení podľa ABB 3HAC022031-001 v oboch polohách.
- Strop: zavesené bremeno 800 kg (koľajnica, zdvíhadlo, bremeno) vrátane dynamického účinku zdvíhadla.
- Vnútorný pretlak: do otváracieho tlaku poistného ventilu V7 (cca +30 mbar); na jednej doske 2500 × 2500 mm cca 19 kN, na uzávery dverí, spoj zadného veka a armatúry.
- Stabilita: strata stability (vybočenie) plechových polí a rebier pri vákuovom zaťažení.
- Stav s otvorenými dverami: vlastná hmotnosť dverí na pántoch a opornom kolese.
- Rám: bezpečnosť neukotveného rámu proti posunutiu a prevráteniu a dodatočné zaťaženie od budúceho oloveného opláštenia (cca 2,6 t).
- Prepravné a zdvíhacie stavy vrátane montáže zadného veka a dverí na mieste.

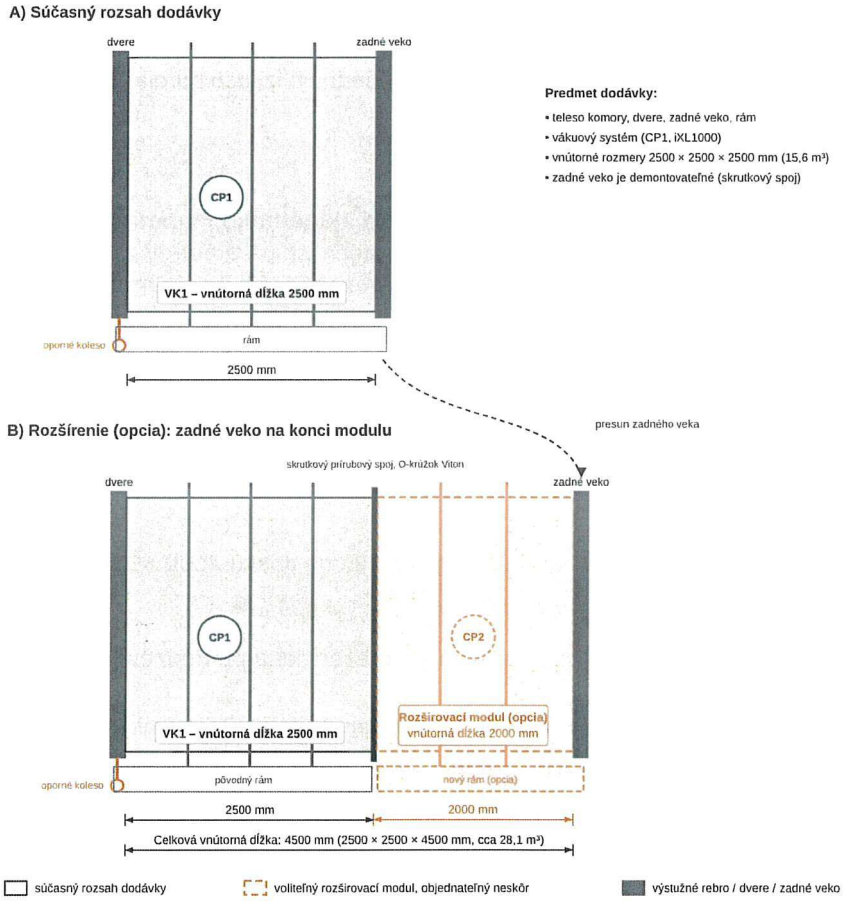
Kritériá prijateľnosti: dovolené napätie s bezpečnostným koeficientom voči medzi klzu materiálu; deformácia tesniacich plôch v rámci pracovného rozsahu tesnenia O-krúžkom.

8. Návrh rozšírenia na vnútornú dĺžku 4500 mm

Zadné veko komory je pripojené k zadnej prírube telesa komory rozoberateľným skrutkovým spojom. Pri rozšírení sa zadné veko demontuje, na zadnú prírubu telesa komory sa pripojí doplnkový komorový modul s vnútornou dĺžkou 2000 mm rovnakým skrutkovým prírubovým spojom s O-krúžkom Viton a zadné veko sa namontuje na zadnú prírubu doplnkového modulu. Celková vnútorná dĺžka oboch komôr je 2500 mm + 2000 mm = 4500 mm, čo zodpovedá rozmeru rozšírenia 2500 × 2500 × 4500 mm (cca 28,1 m³) uvedenému v zadaní.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

- Zadnú prírubu telesa komory – rozmiestnenie otvorov, tesniacu plochu, tuhosť – dimenzujeme na pripojenie rozširovacieho modulu už v tejto dodávke, takže rozšírenie je možné vykonať bez úpravy existujúcej komory.
- Hrúbka steny, rebrovanie a vnútorné kotviace rastre modulu (M10, M12, 250 × 250 mm) sú rovnaké ako pri telese komory; pod rozširovací modul sa umiestni nový samostatný rám, pôvodný rám zostáva bez zmeny.
- Na module sa zhotoví druhý sací nátrubok DN320 pre ďalšiu kryopumpu (CP2), aby boli vákuové hodnoty splnené aj pri väčšom objeme. Riadiaci systém je softvérovo pripravený na druhú čerpaciu vetvu.



Obrázok 5 – Koncepcia rozšírenia: A) súčasný rozsah dodávky (2500 mm), B) s neskôr objednateľným rozširovacím modulom (2500 + 2000 = 4500 mm) a presunom zadného veka.

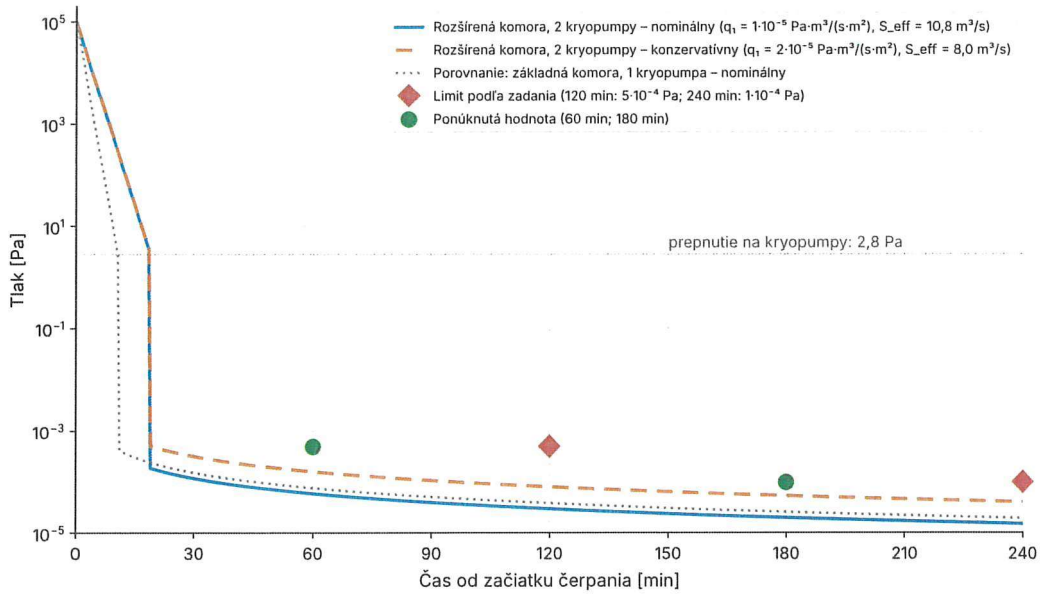
Čerpanie v rozšírenom stave. Objem rozšírenej komory je 28,1 m³, vnútorný povrch s príslušenstvom cca 63 m². Predvákuum naďalej vytvára existujúca výveva iXL1000; čas predvákuovej fázy sa predĺži úmerne objemu. Vo vysokovákuovej fáze spoločná čerpacia rýchlosť dvoch kryopúmp s veľkou rezervou vyrovná 1,5-násobne väčší odplyňujúci povrch.

$$p_x = 2 \cdot 40\ Pa{\cdot}m^3 / 28{,}1\ m^3 \approx 2{,}8\ Pa$$

$$t_p = (28{,}1\ m^3 / 0{,}258\ m^3/s) \cdot \ln(10^5\ Pa / 2{,}8\ Pa) \approx 1\,140\ s \approx 19{,}0\ min$$

$$p(t) = [q_1 \cdot (t_ref / t) \cdot A + Q_n] / S_eff, \quad A \approx 63\ m^2, \quad S_eff \approx 8{,}0 \ldots 10{,}8\ m^3/s$$

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.



Obrázok 6 – Vypočítaná krivka čerpania rozšírenej komory (2500 × 2500 × 4500 mm; iXL1000 + 2 ks Cryo-Torr 10F) v porovnaní so základnou komorou.

Udalosť	Základná komora, 1 kryopumpa (nominálny / konzervatívny)	Rozšírená komora, 2 kryopumpy (nominálny / konzervatívny)	Ponuka / zadanie
Prepnutie na kryopumpu (kryopumpy)	cca 11 / 11 min	cca 19 / 19 min	–
Dosiahnutie 5×10⁻⁴ Pa	cca 11 / 25 min	cca 19 / 19 min	60 / 120 min
Dosiahnutie 1×10⁻⁴ Pa	cca 46 / 124 min	cca 35 / 95 min	180 / 240 min
Tlak po 4 hodinách	cca 2×10⁻⁵ / 5×10⁻⁵ Pa	cca 1,5×10⁻⁵ / 4×10⁻⁵ Pa	≤ 1×10⁻⁴ Pa

Rozšírená komora s dvoma kryopumpami spĺňa aj garantované hodnoty ponúknuté v tejto ponuke; vzhľadom na povrchovú vodnú paru v praxi počítame do prepnutia s cca 20–25 minútami. Predčerpanie druhej kryopumpy po regenerácii vykonáva existujúca výveva iXL1000 cez vlastný rohový ventil predčerpania KF25.

Položka	Cena (EUR bez DPH)
Rozširovací modul s vnútornou dĺžkou 2000 mm, s novým rámom, návrhom, výrobou a montážou	76 000
Druhá vetva kryopumpy: Cryo-Torr 10F s héliovým kompresorom, šupátkový ventil DN320, rohový ventil predčerpania KF25, vákuové pripojenie	68 750
Rozšírenie spolu (opcia)	144 750

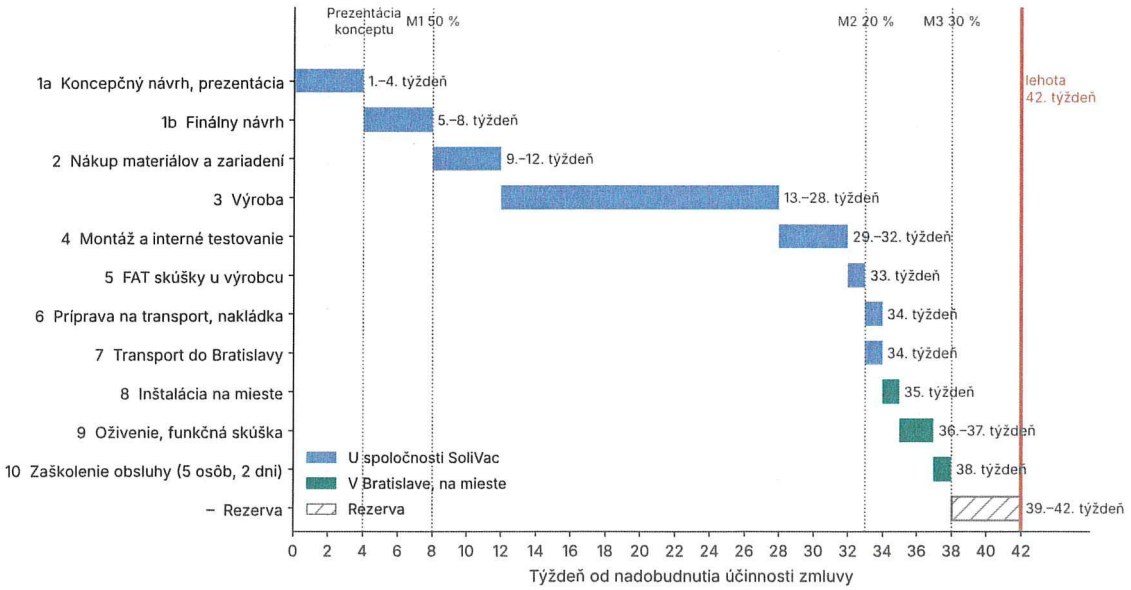
Rozšírenie je voliteľnou možnosťou; nie je súčasťou predmetu zákazky a jeho cena nie je zahrnutá do hodnotenej ponukovej ceny.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

9. Realizácia

9.1. Harmonogram

Ponúknutá lehota plnenia: 42 týždňov od nadobudnutia účinnosti zmluvy; plánovaný priebeh 38 týždňov so 4 týždňami rezervy.



Obrázok 7 – Predbežný harmonogram (Ganttov diagram) podľa desiatich fáz zadania, s platobnými míľnikmi.

9.2. Preberacie skúšky u výrobcu (FAT) a preberanie na mieste

- FAT skúšky prebiehajú v prevádzke spoločnosti SoliVac za účasti trojčlennej delegácie verejného obstarávateľa počas dvoch pracovných dní; náklady na ubytovanie a cestovné 3 osôb hradí spoločnosť SoliVac. Obsah FAT skúšok: mechanická skúška, vákuová skúška a overenie technologických časov.

Podmienky merania garantovaných hodnôt: čistená, prázdna komora (bez robota a skúšobnej vzorky); pred meraním najmenej 1 hodina zavzdušnenia suchým dusíkom, potom najviac 1 hodina na vzduchu so zatvorenými dverami; teplota komory 20 ± 5 °C; kryopumpa studená (druhý stupeň < 20 K), oddelená za šupátkovým ventilom; meranie času začína otvorením V2; tlak meria vákuometer G2 (presnosť podľa výrobcu ±30 %); dosiahnutie cieľovej hodnoty sa považuje za splnené, ak tlak zostane pod cieľovou hodnotou najmenej 5 minút. Konečný tlak sa zaznamená po 4 hodinách čerpania.

- **Mechanická skúška:** rozmerová a vizuálna kontrola, pohyb dverí a otváracia sila (≤ 250 N), kontrola uzatvárania a blokovania, porovnanie s dokumentáciou.
- **Vákuová skúška:** skúška tesnosti celej komory héliom, záznam krivky čerpania a konečného tlaku.
- **Overenie technologických časov:** čas dosiahnutia 5×10^{-4} Pa a 1×10^{-4} Pa, ako aj čas vypnutia (zabezpečenie, zavzdušnenie, otvorenie dverí).
- Funkčná skúška riadenia, záznamu údajov, signalizácie a blokovaní.
- Pri preberaní na mieste sa vákuové hodnoty a funkčné skúšky zopakujú; z oboch preberaní sa vyhotoví protokol.

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

9.3. Zaškolenie

Dvojdňové zaškolenie piatich osôb na mieste: prevádzka, bezpečnosť, cykly čerpania a zavzdušnenia, odstraňovanie porúch, údržba, regenerácia kryopumpy.

10. Odovzdávaná dokumentácia

V dvoch papierových vyhotoveniach a na nosiči USB:

- Plán vedenia projektu a harmonogram
- 3D model (.step a .x_t) pre dodávaný rozmer komory vrátane pridruženej technológie
- Požiadavky na inštaláciu a prevádzku (médiá, priestorové nároky, zaťaženia)
- Pevnostný výpočet metódou konečných prvkov
- Výrobná dokumentácia
- Návod na obsluhu a údržbu v slovenskom jazyku
- Revízne správy a úradné skúšky
- Certifikáty materiálov a komponentov
- Návody na obsluhu a údržbu použitých zariadení a komponentov

11. Zoznam hlavných komponentov

#	Položka	Ks	Poznámka
1	Teleso komory, nehrdzavejúca oceľ 20 mm, s rebrami	1	výroba: SoliVac
2	Dvere 2500 × 2500 mm, s pántmi, oporným kolesom a upínačmi	1	výroba: SoliVac
3	Zadné veko, skrutkované, s tesnením O-krúžkom Viton	1	výroba: SoliVac
4	Zváraný, práškovo lakovaný oceľový rám s nivelačnými pätkami	1	výroba: SoliVac
5	Kryopumpa Edwards Cryo-Torr 10F, ISO320	1	alebo ekvivalent
6	Héliový kompresor Edwards 9600, 400 V, vodou chladený, s héliovými hadicami	1	alebo ekvivalent
7	Šupátkový ventil DN320 ISO-F, pneumatický	1	alebo ekvivalent
8	Suchá predvákuová výveva Edwards iXL1000	1	alebo ekvivalent
9	Predvákuový šupátkový ventil V2, ventily V3–V7, tlakový spínač PS1, častícový filter F1	1 súprava	alebo ekvivalent
10	Vákuometre G1–G5 (APG100-XLC, AIM-X, CG16K, 2× APG100-XM)	1 súprava	alebo ekvivalent
11	Priezor Ø150 mm	4	alebo ekvivalent
12	Záslepky so strediacim krúžkom a tesnením Viton: 10× KF50, 1× DN100 ISO-K, 3× DN250 ISO-K	14	alebo ekvivalent
13	PLC, dotykové panelové PC ≥ 15,6" so softvérom ThermaSentinel, elektrický rozvádzač	1 súprava	priemyselné PLC; softvér: SoliVac
14	Kabeláž, káblové žľaby, elektrická priechodka	1 súprava	–

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

#	Položka	Ks	Poznámka
	CF40		

V súlade s bodom 3.4 súťažných podkladov sa každý odkaz na výrobcu alebo typ rozumie s doplnením „alebo ekvivalentný“.

12. Tabuľka súladu s požiadavkami

#	Požiadavka (príloha č. 1)	Ponúknuté riešenie	Kapitola	Spĺňa?
1	Vnútorné rozmery min. 2500 × 2500 × 1500 mm	2500 × 2500 × 2500 mm (š × v × h)	2.1	áno
2	Prepravné rozmery max. 3300 × 3000 mm	teleso komory cca 2840 × 2840 mm; rám, kryopumpa a šupátkový ventil sú samostatné prepravné celky	2.1, 2.3	áno
3	Návrh a cena rozšírenia na vnútornú dĺžku 4500 mm	modulárne rozšírenie doplnkovou komorou 2000 mm s presunom zadného veka; cena v kapitole 8	8	áno
4	Pracovné vákuum ≤ 1×10^{-4} Pa za ≤ 4 hodiny	≤ 1×10^{-4} Pa za ≤ 180 min	4.6	áno
5	Dosiahnutie 5×10^{-4} Pa za ≤ 2 hodiny	za ≤ 60 min	4.6	áno
6	Vypnutie za ≤ 2 hodiny	za ≤ 30 min	4.6	áno
7	Svetlý otvor dverí min. 1200 × 2100 mm	dvere na celé čelo, svetlý otvor 2500 × 2500 mm; pántový mechanizmus s oporným kolesom, dva tesniace O-krúžky z materiálu Viton	3	áno
8	Čerpací systém s ventilmi, armatúrami, filtráciou	bezolejový vákuový systém: kryopumpa (Edwards Cryo-Torr 10F s héliovým kompresorom); bezolejová suchá predvákuová výveva (Edwards iXL1000); šupátkové ventily (V1 DN320, V2 DN160); rohové ventily (V3, V6); elektromagnetické ventily (V4, V5); pretlakové ventily (V7, V8); častícový filter (F1); tlakový spínač (PS1); vákuometre (G1–G5)	4.1, 4.2	áno
9	Meranie vákua v celom pracovnom rozsahu (lokálne analógové aj digitálne)	5 vákuometrov: 1 Piraniho vákuometer na princípe tepelnej vodivosti (Edwards APG100-XLC, 10^{5} … 10^{-2} Pa); 1 invertovaný magnetrónový vákuometer na princípe ionizácie so studenou katódou (Edwards AIM-X, 1 … 10^{-7} Pa); 2 Piraniho vákuometre na princípe tepelnej vodivosti, v predvákuovej vetve a na kryopumpe (Edwards APG100-XM); 1 ručičkový vákuometer na mechanickom (kapsulovom) princípe, lokálne analógové zobrazenie (Edwards CG16K, 0–1040 mbar)	4.7	áno
10	Elektrický rozvádzač a	elektrický rozvádzač vrátane PLC na ráme, v	5	áno

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

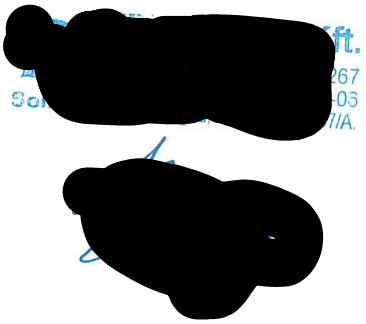
#	Požiadavka (príloha č. 1)	Ponúknuté riešenie	Kapitola	Spĺňa?
	rozvody na komore	jednom celku s komorou, s kabelážou vedenou podľa EN 60204-1		
11	Ovládací panel ≥ 15", dotykový, grafický priebeh vákua	dotykové panelové PC ≥ 15,6", riadiaci softvér ThermaSentinel, grafický priebeh vákua	5	áno
12	Signalizácia, záznam cyklov, uloženie na USB	zvuková a svetelná signalizácia podľa EN 60204-1 použitej pri označení CE; záznam cyklov; export na USB vo formáte CSV zo softvéru ThermaSentinel	5	áno
13	Príprava na vzdialené ovládanie cez Ethernet	ethernetový port a rozhranie Modbus TCP ako súčasť dodávky; OPC UA na požiadanie	5	áno
14	Samonosná konštrukcia	zváraný, práškovo lakovaný, nivelovateľný oceľový rám	2.4	áno
15	Podlaha: ABB IRB 2400/16, statické zaťaženie 800 kg + dynamické zaťaženie, FEM	robot je možné ukotviť v dvoch polohách; podlaha vyhovuje statickému aj dynamickému zaťaženiu; splnenie požiadaviek preukážeme výpočtom metódou konečných prvkov (FEM) a simuláciou	2.5, 7	áno
16	Podlaha: kotviace body M12, 250 × 250 mm	závit M12, raster 250 × 250 mm	2.5	áno
17	Steny a strop: kotviace body M10, 250 × 250 mm; strop 800 kg	závit M10, raster 250 × 250 mm; strop dimenzovaný na zaťaženie 800 kg, overené výpočtom FEM a simuláciou	2.5, 7	áno
18	4 ks priezorov Ø150 mm, pri každom 4× M6×25	4 ks priezorov, svetlý priemer 150 mm; dvere, strop, dve bočné steny; pri každom priezore 4× závitový otvor M6×25	2.6	áno
19	Doplnkové príruby: 10× KF50, 1× DN100, 3× DN250	10 ks KF50, 1 ks DN100 ISO-K, 3 ks DN250 ISO-K rezervných prírub; každá so strediacim krúžkom, tesnením Viton a záslepkou	2.6	áno
20	FAT skúšky u výrobcu za účasti 3 osôb	FAT skúšky v prevádzke SoliVac za účasti 3 osôb počas dvoch pracovných dní: mechanická skúška, vákuová skúška, overenie technologických časov; náklady na ubytovanie a cestovné 3 osôb hradí spoločnosť SoliVac	9.2	áno
21	Preprava, inštalácia, uvedenie do prevádzky	balenie a nakládka, preprava do Bratislavy, inštalácia, nivelácia a nastavenie dverí, uvedenie do prevádzky a funkčné skúšky	9	áno
22	Zaškolenie 5 osôb, 2 dni	zaškolenie 5 osôb na mieste počas 2 pracovných dní	9.3	áno
23	Dokumentácia (2 papierové vyhotovenia + USB)	plán vedenia projektu a harmonogram; 3D model (.step, .x_t); požiadavky na inštaláciu a prevádzku; výpočet FEM; výrobná dokumentácia; návod na obsluhu a údržbu v slovenskom jazyku; revízne správy a úradné skúšky; certifikáty materiálov a komponentov; návody na obsluhu a údržbu použitých	10	áno

Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.

#	Požiadavka (príloha č. 1)	Ponúknuté riešenie	Kapitola	Spĺňa?
		zariadení		
24	Príprava na tienenie ionizujúceho žiarenia	stena z nehrdzavejúcej ocele 20 mm: tienenie steny postačuje bez úprav do 60 kV; s olovenými ochrannými doskami do 150 kV; konečné dimenzovanie vrátane ochrany priezorov, škár a priechodiek podľa DIN 54113	6	áno

13. Odkazy

- DIN 54113-2 a -3: Radiačná ochrana röntgenových zariadení (požiadavky, výpočtová metóda), aktuálne vydanie.
- ABB Product manual IRB 2400, Document ID 3HAC022031-001.
- NIST XCOM / X-ray mass attenuation coefficients (Fe, vzduch).
- Edwards CTI-Cryogenics Cryo-Torr Cryopumps – katalóg výrobkov.
- Edwards iXL1000 dry pump – katalógový list.
- Edwards Vacuum Measurement and Control – katalóg.
- Súťažné podklady OM26UMS032, príloha č. 1 (Opis predmetu zákazky), príloha č. 2 (Kúpna zmluva).



Táto dokumentácia je duševným vlastníctvom spoločnosti SoliVac Mérnöki Kft. Jej kopírovanie alebo použitie bez povolenia nie je dovolené.