



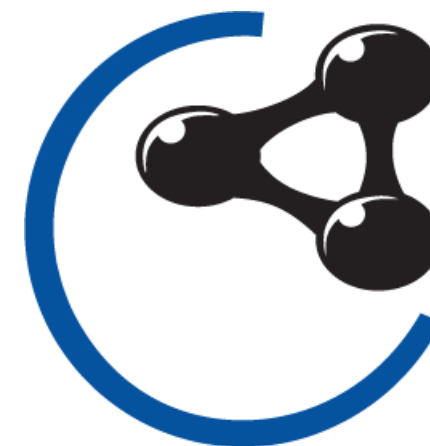
Studentská vědecká konference

Mariánská 2016

18. – 22. 1. 2016



china eu india japan korea russia usa



HELCZA

Zařízení pro testování vysokým
tepelným tokem pro
komponenty reaktoru ITER

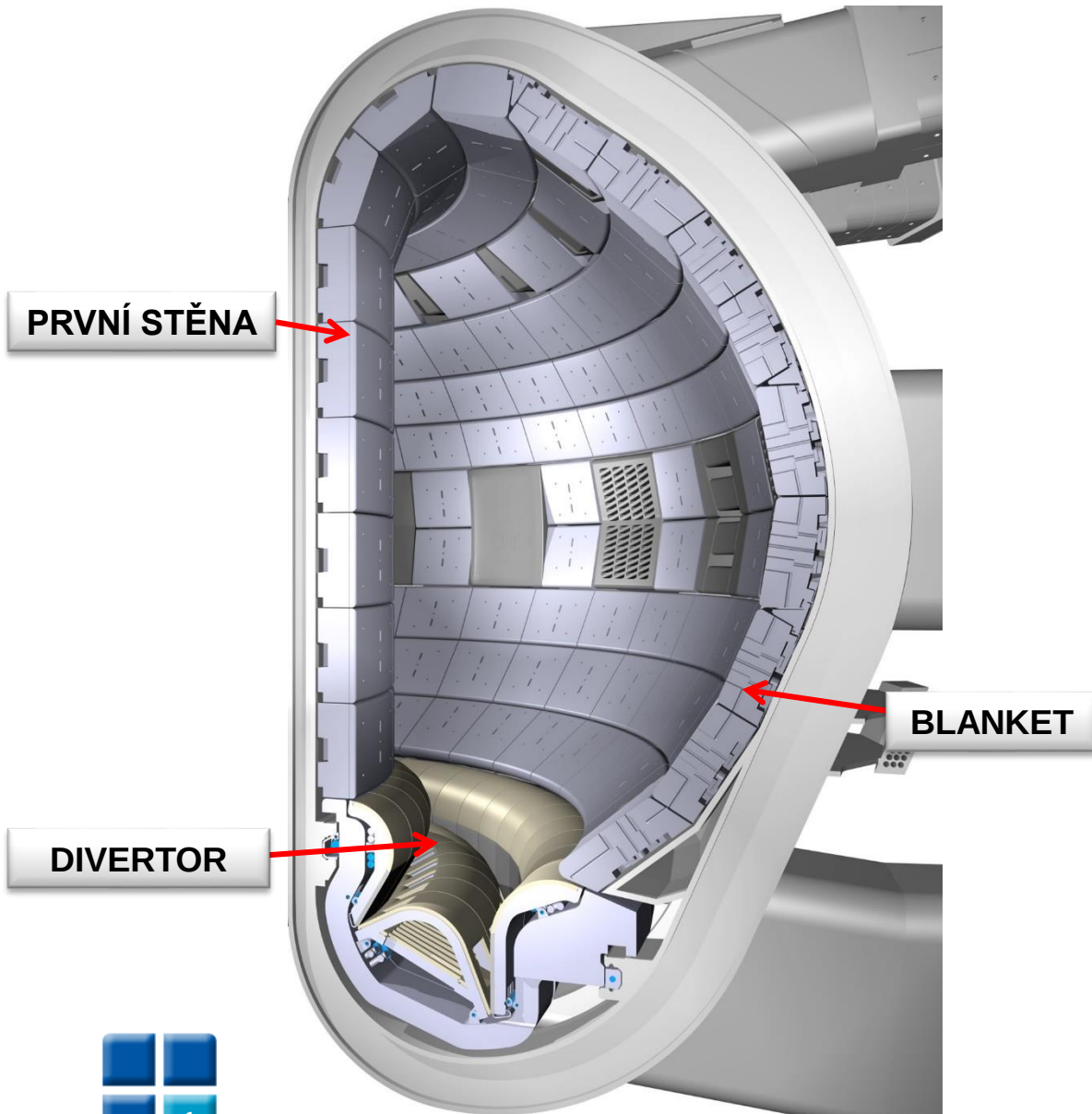
Jan Prokůpek

20. ledna 2016



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE





První stěna – JET, ITER, DEMO, FPP

- Chrání celou konstrukci reaktoru
- Stoupající zátěž s výkonem

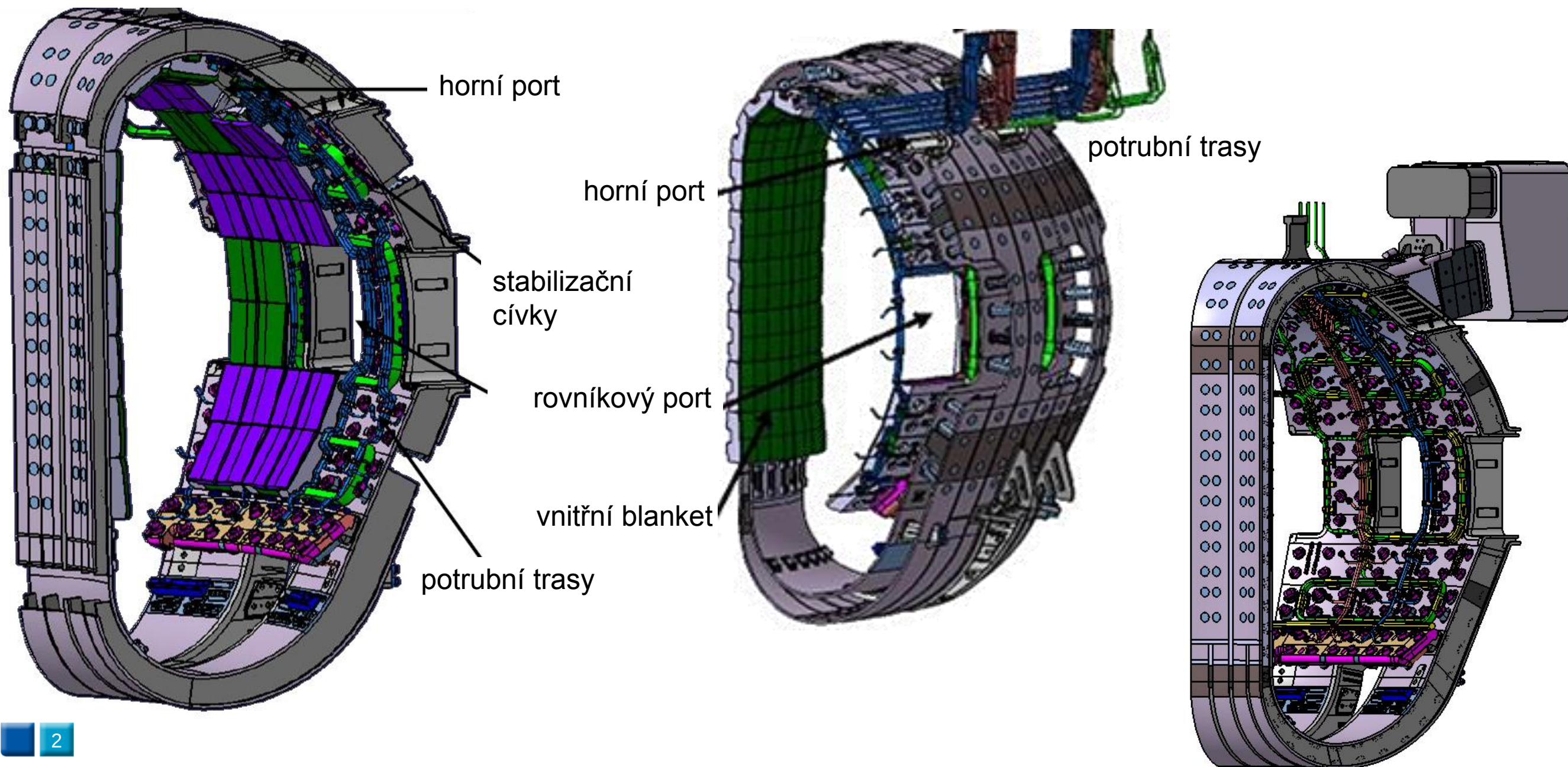
Divertor – (JET), ITER, DEMO, FPP

- Čistí a modeluje tvar plazmatu
- Chrání první stěnu

Blanket – (ITER), DEMO, FPP

- Odvádí energii
- Chrání konstrukci reaktoru
- Produkuje palivo (v ITERu pouze TBM)

SEGMENTY TERMOJADERNÉHO REAKTORU



PANEL PRVNÍ STĚNY (FW) REAKTORU ITER

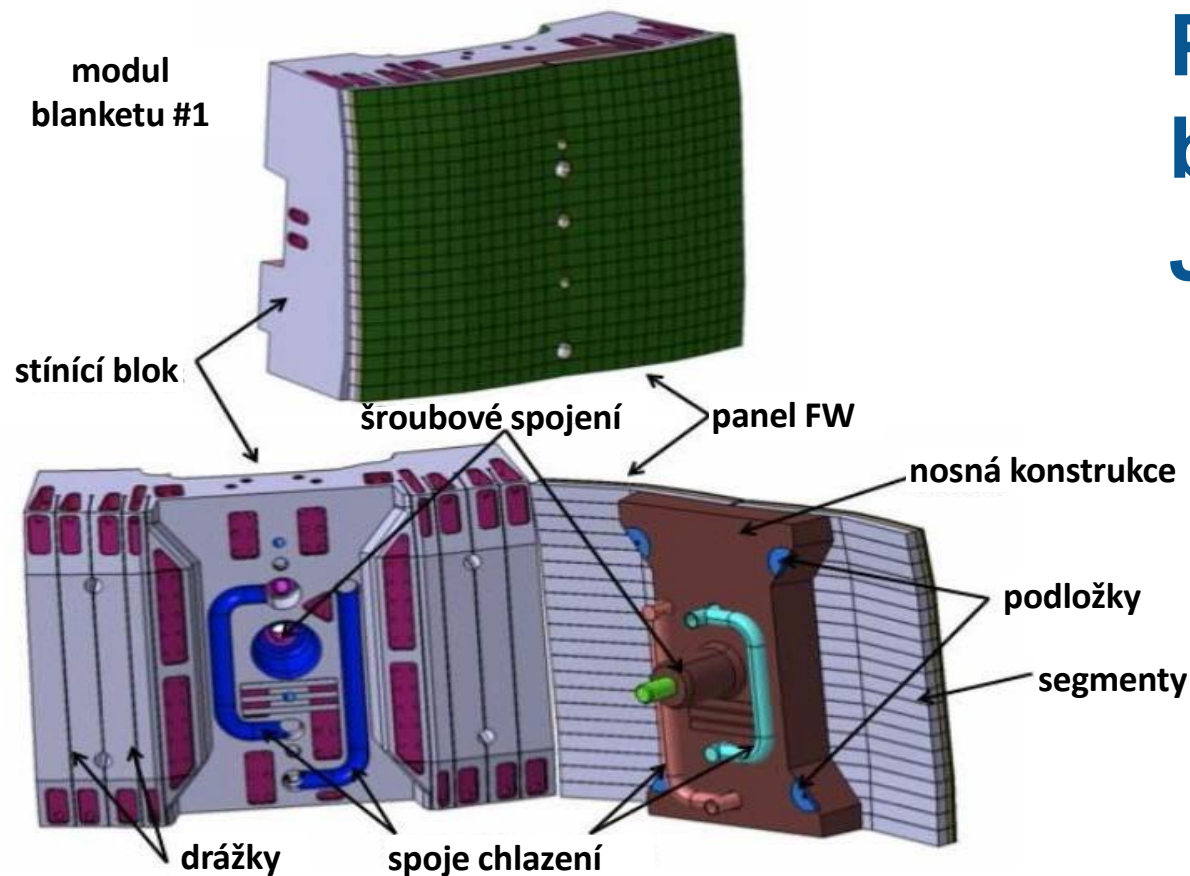


modul
blanketu = první
stěna + stínící
blok

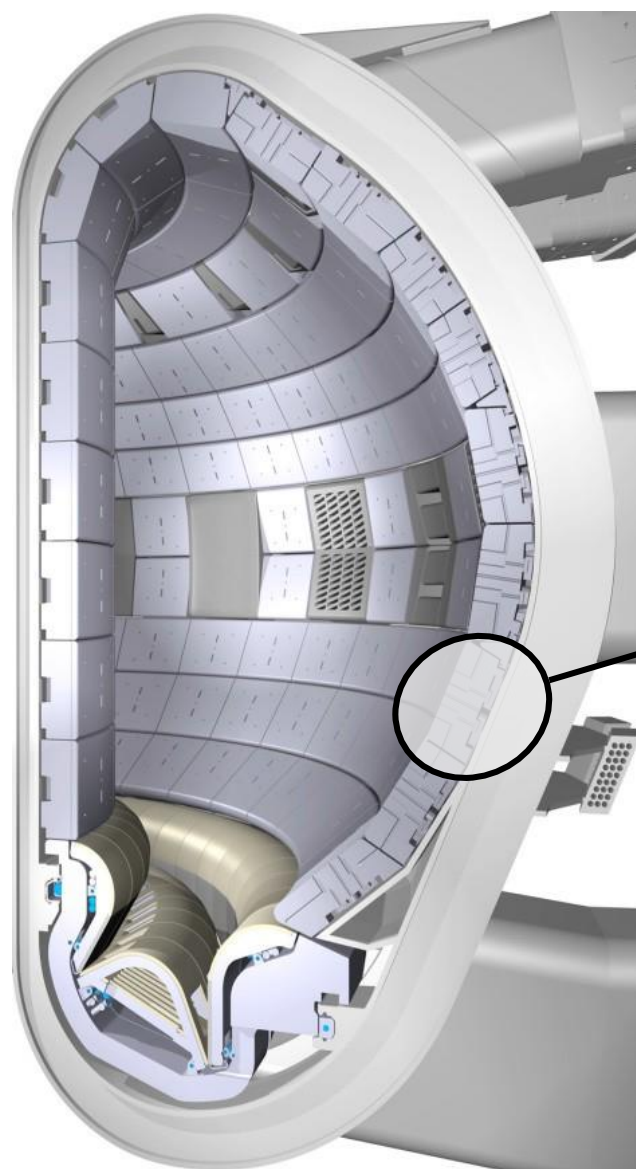
Hlavní funkce

Panel první stěny je součástí modulu blanketu, který přímo čelí plazmatu. Jeho hlavní funkce jsou:

- Zajišťuje termální a jaderné stínění vakuové nádoby tokamaku a dalších reaktorových komponent.
- Minimalizuje kontaminaci plazmatu nečistotami z konstrukčních prvků reaktoru.
- Funguje jako primární výměník tepla, jenž odebírá teplo pocházející z fúzních reakcí.
- Nejvíce odolává termální, mechanické a elektromagnetické zátěži všech komponent termojaderného reaktoru.

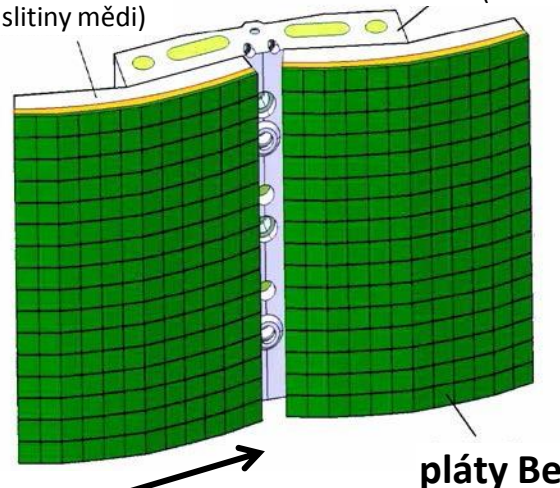


PANEL PRVNÍ STĚNY (FW) REAKTORU ITER



segmenty
(kompozit nerezové
oceli a slitiny mědi)

centrální nosná konstrukce
(nerezová ocel)



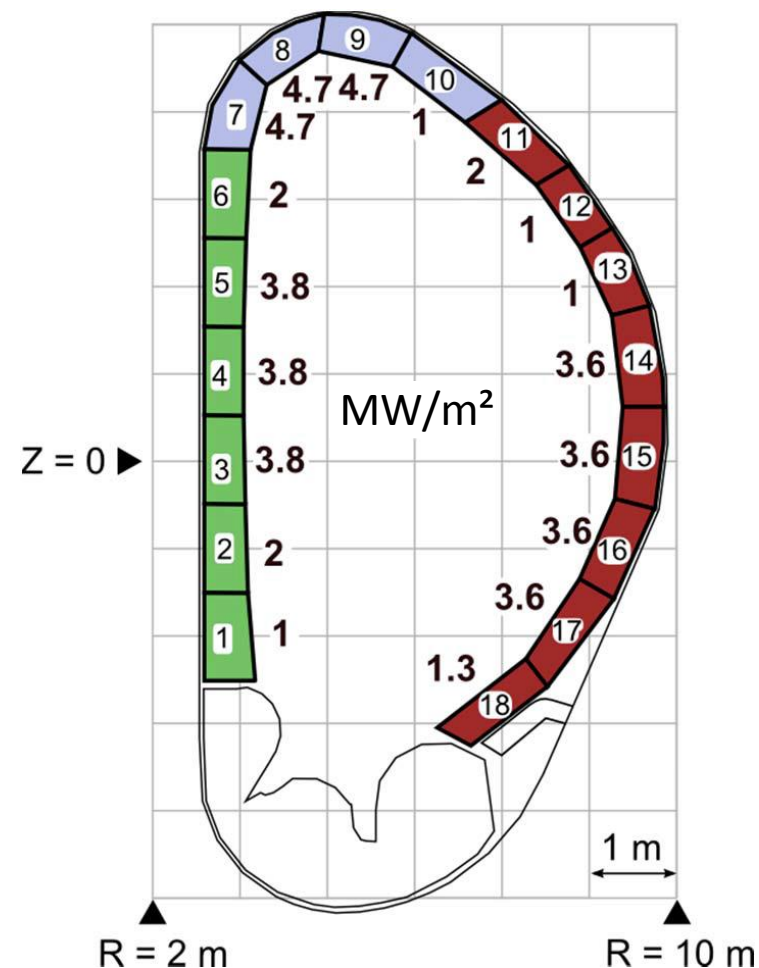
pláty Be

moduly blanketů
jsou rozmístěné v 18
poloidálních řadách

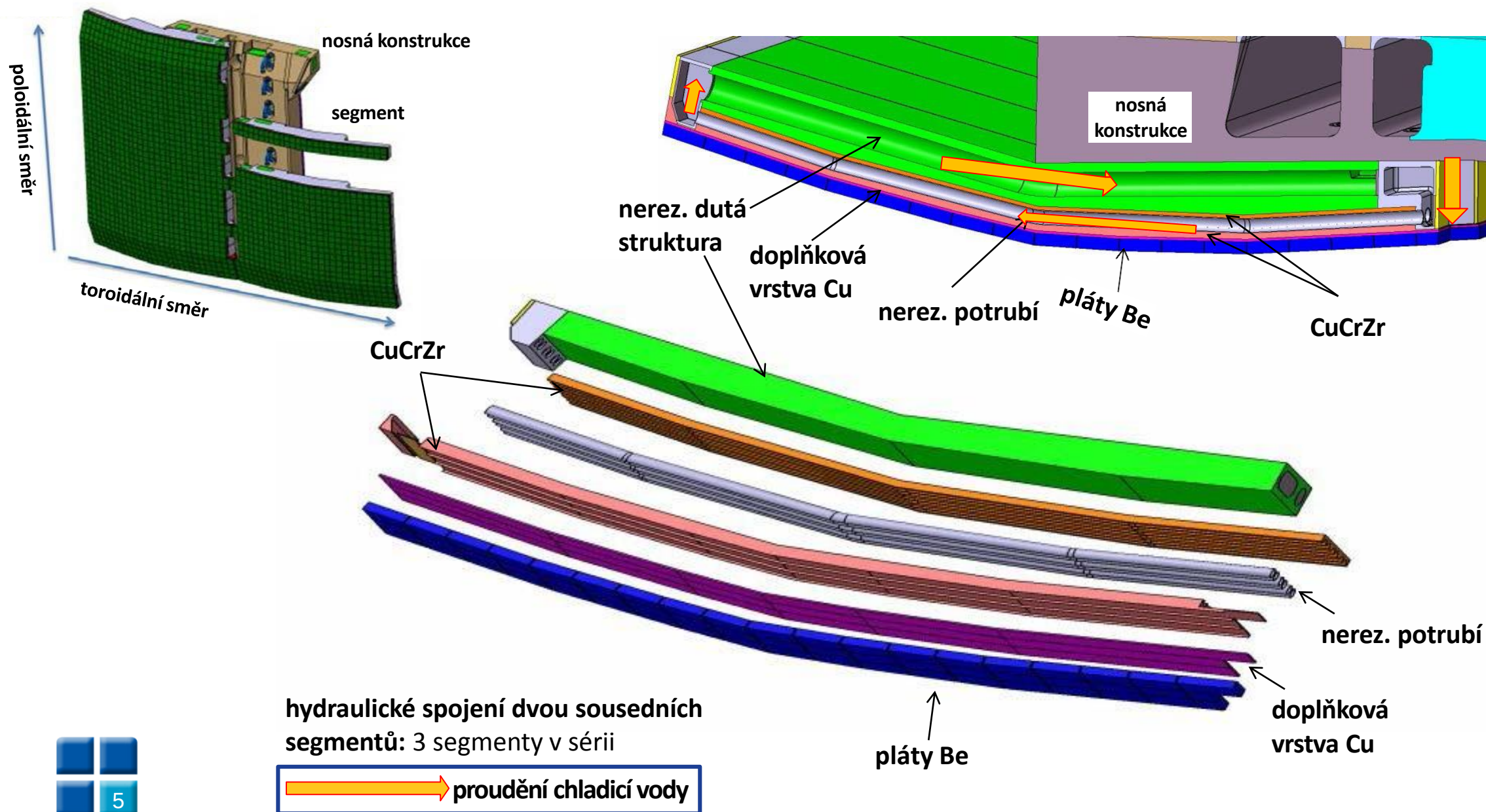
- | | | |
|---|--------------|----------|
| ■ | vnitřní řady | 1 až 6 |
| ■ | vrchní řady | 7 až 10 |
| ■ | vnější řady | 11 až 18 |

Panely jsou rozdělené do dvou kategorií:

- normální tepelný tok (NHF) ($< 2 \text{ MW/m}^2$)
- zvýšený tepelný tok (EHF) ($< 4,7 \text{ MW/m}^2$)



PANEL PRVNÍ STĚNY (FW) REAKTORU ITER

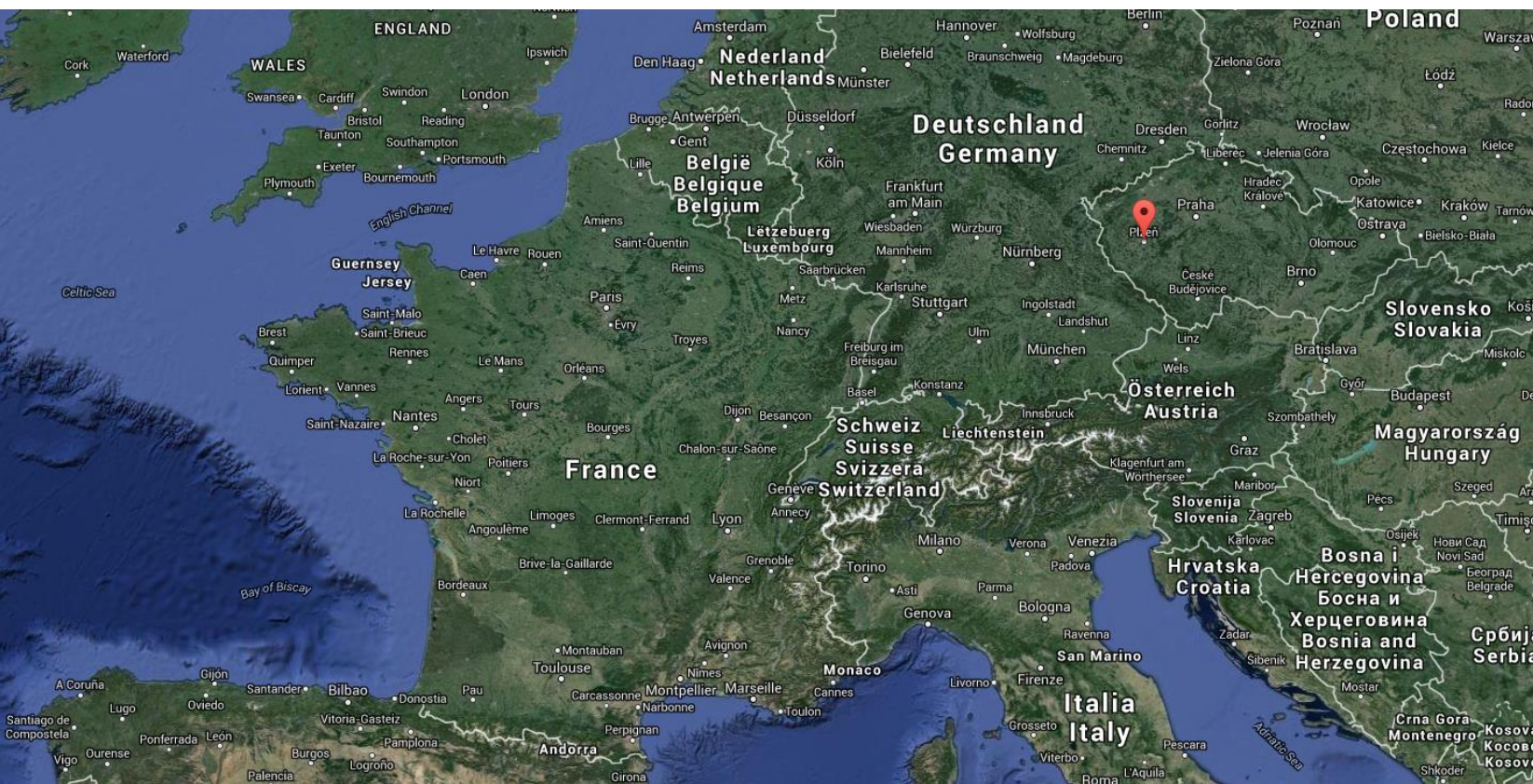


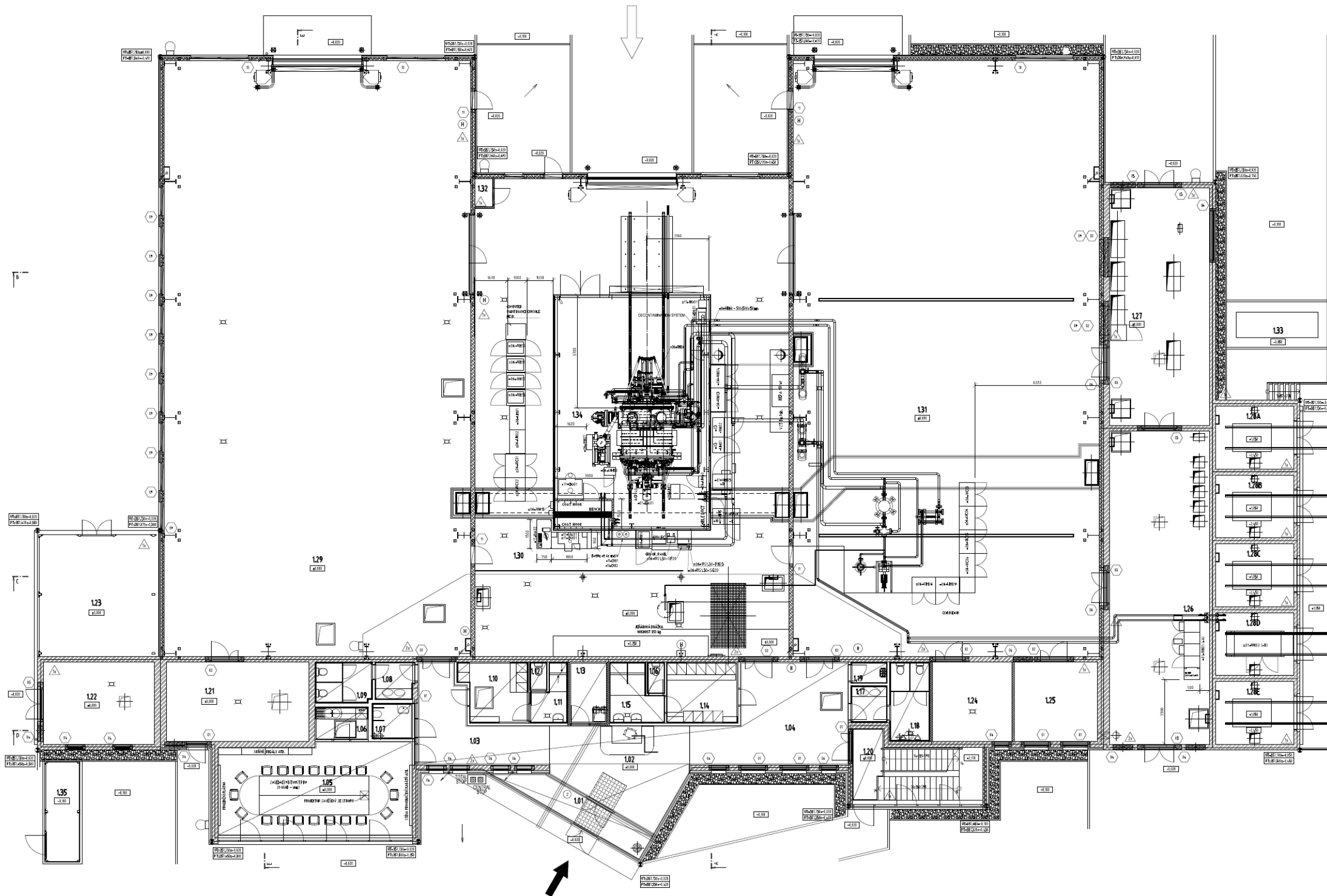
- High Energy Load Czech Assembly
- Zařízení pro testování vysokým tepelným tokem

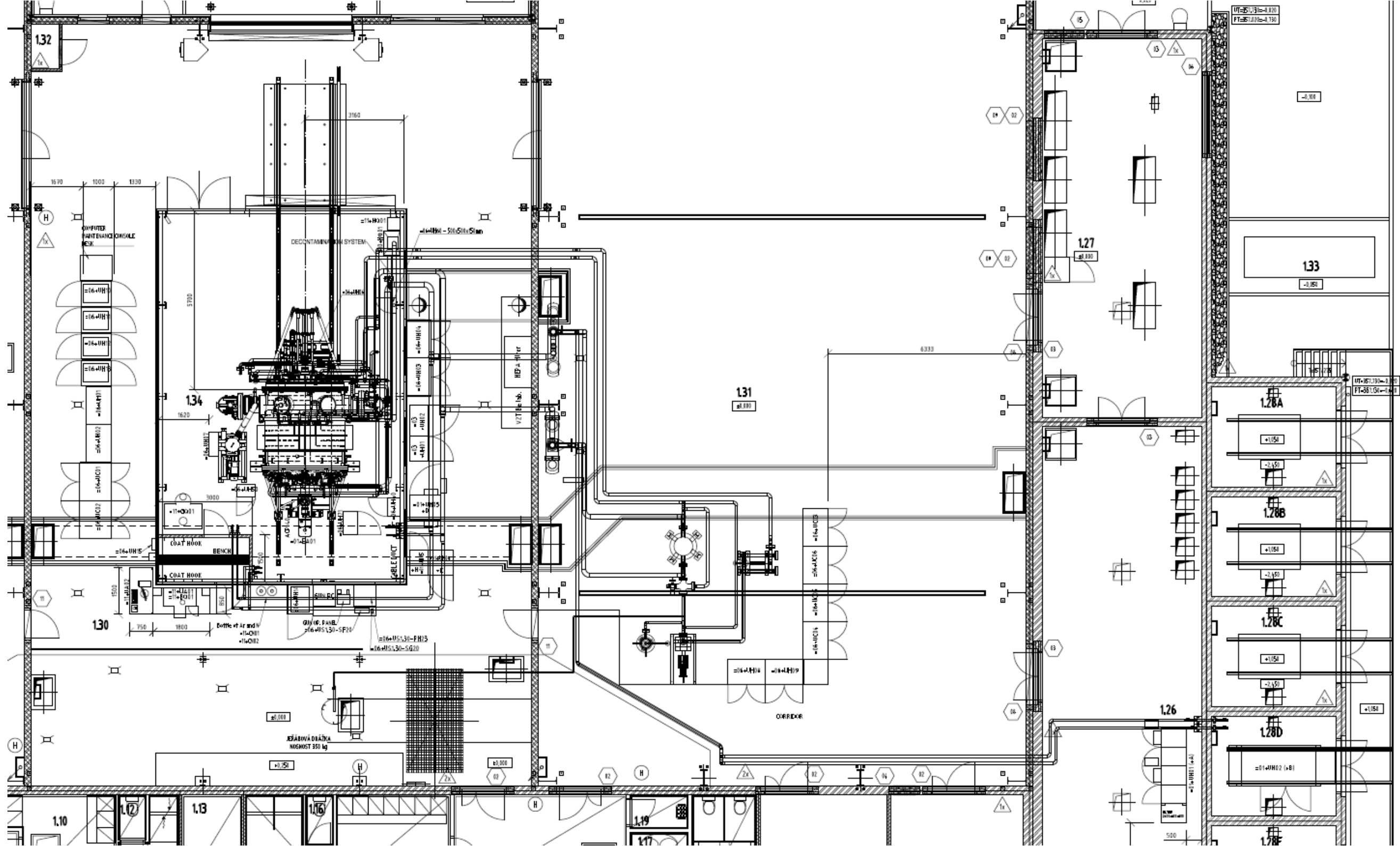




■ Umístění v Plzni – na Borských polích



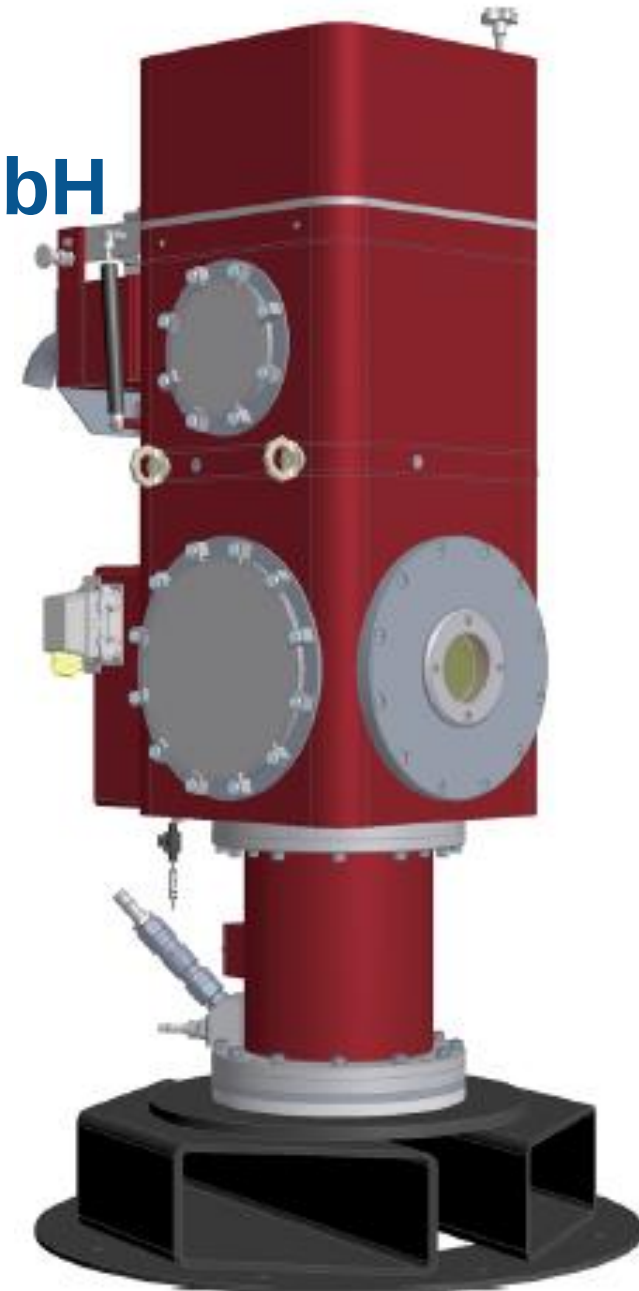


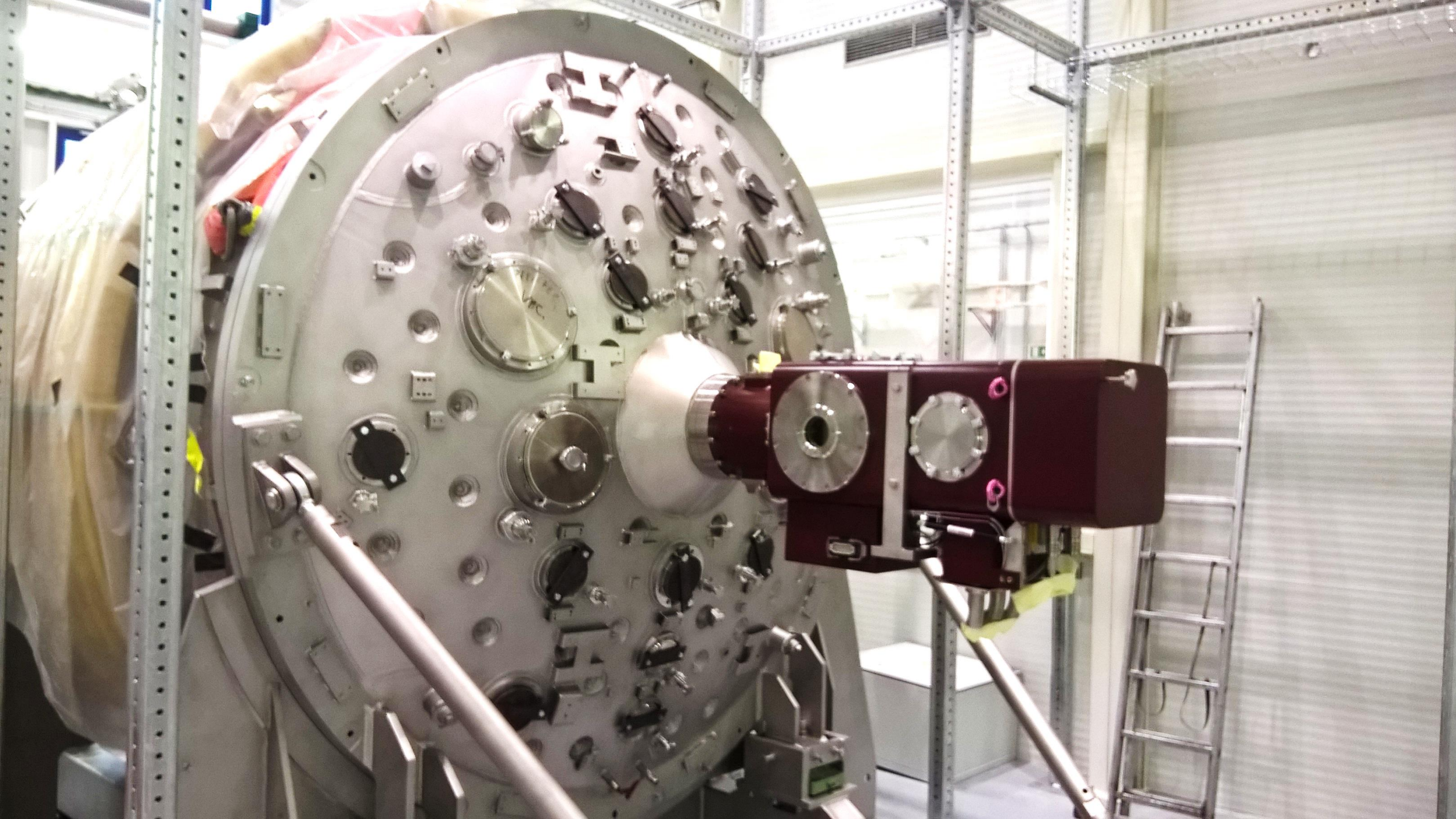


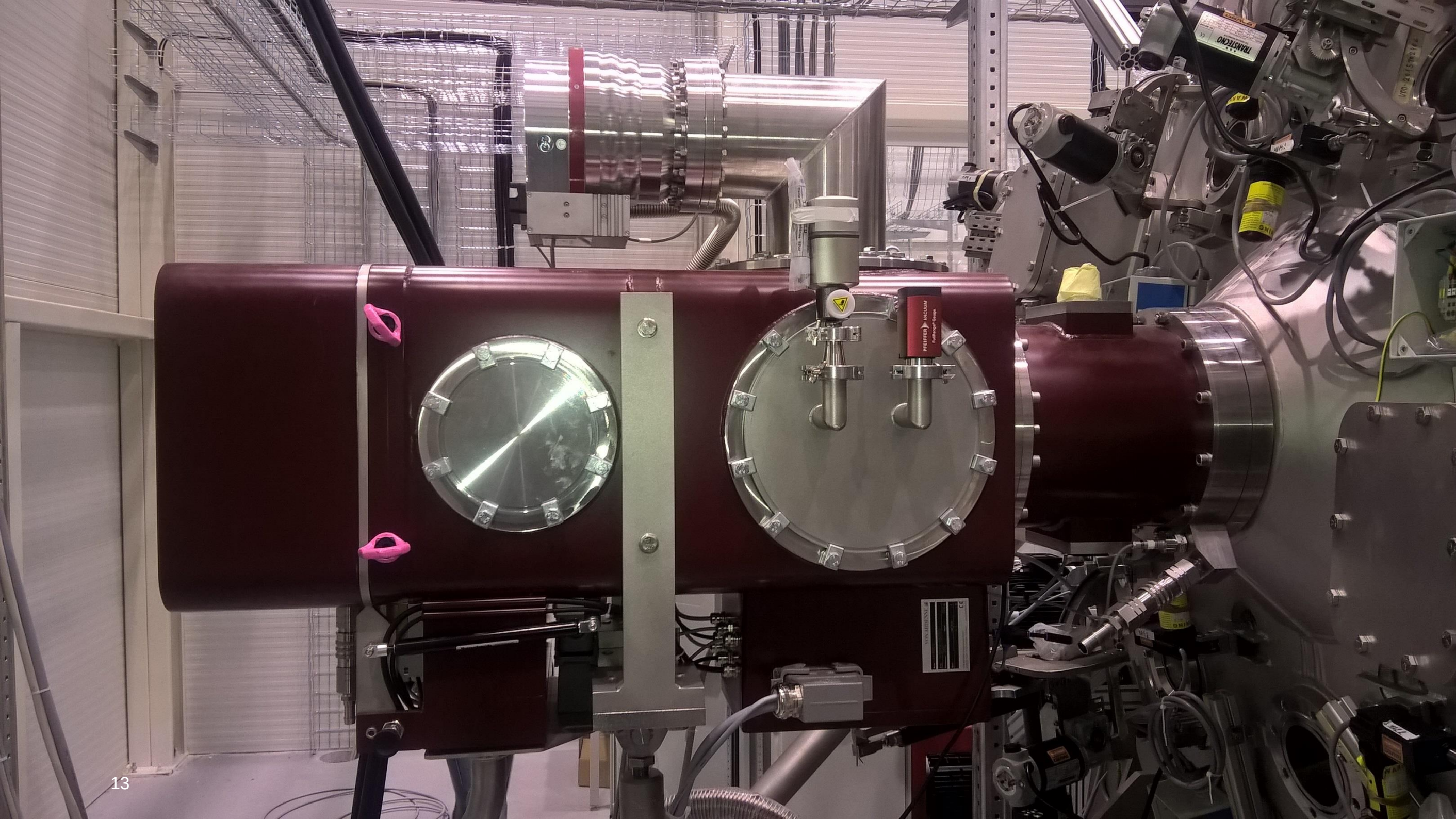


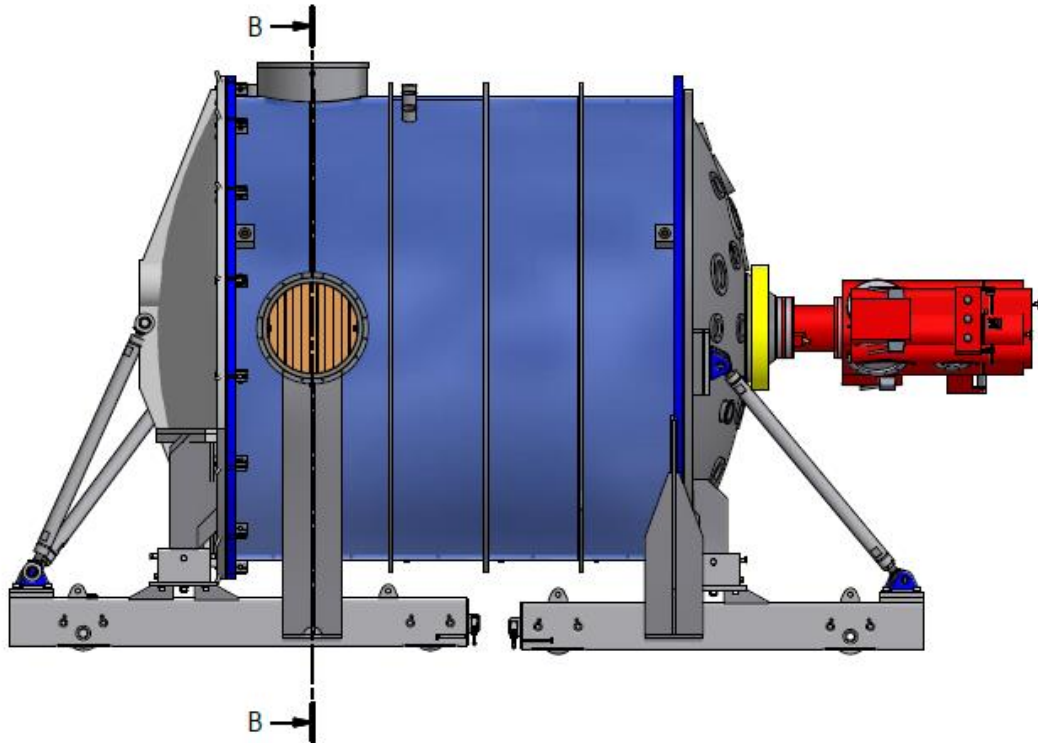


- typ elektronového děla **EBS800/55**
- výrobce **Von Ardenne GmbH**
- maximální výkon v elektronech **800 kW**
- maximální urychlovací napětí **55 kV**
- maximální elektrický proud **~ 13.5 A**
- frekvence mag. optiky (f0.7) **20 kHz**
- maximální úhel elektronů od osy **$\pm 40^\circ$**
- úhlová rychlost pohybu svazkem **$\pi/2$ rad za 25 μ s**



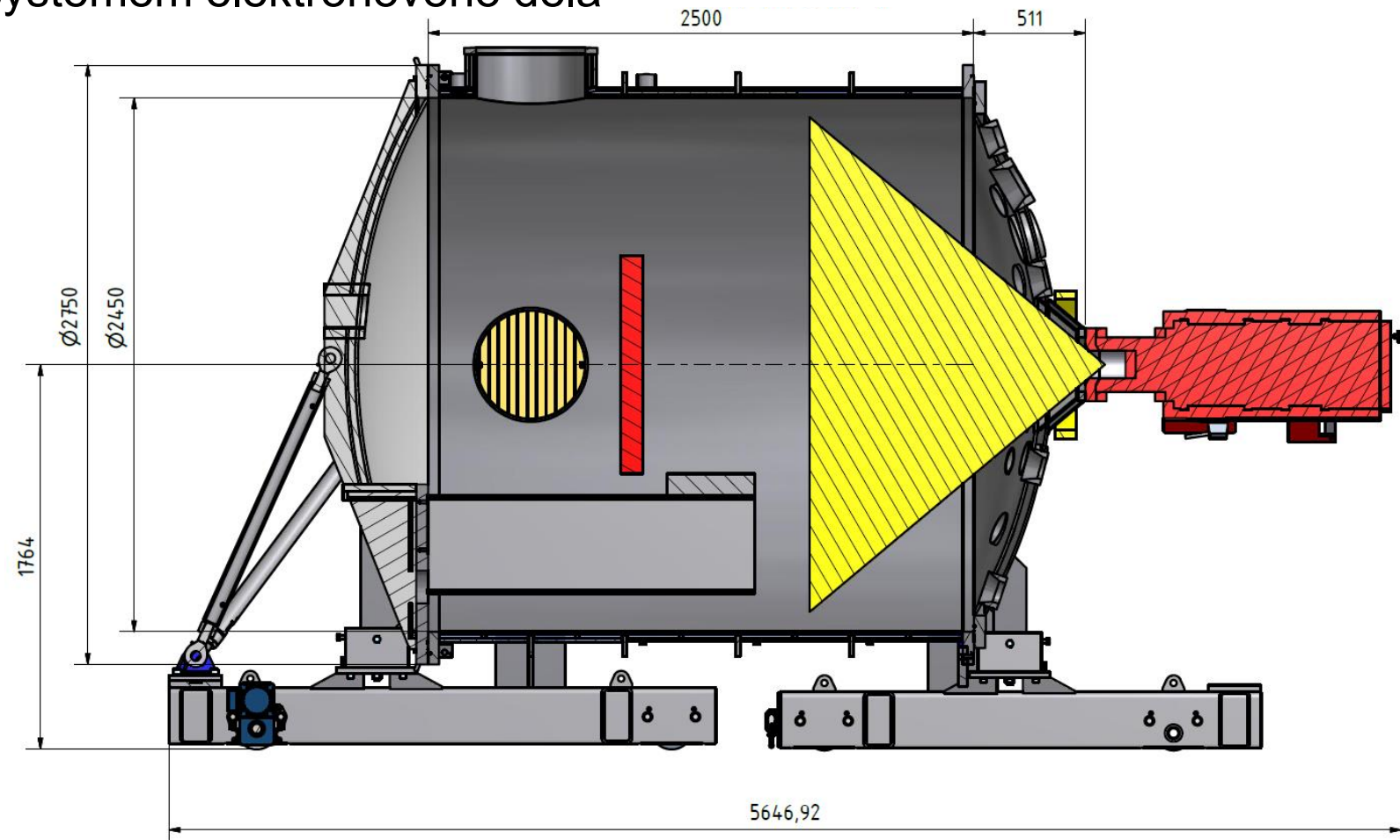






- horizontální poloha na kuželové přírubě
- programovatelné ozařovací sestavy s využitím vychylování paprsku až o 40°
- Rtg. záření max. 1 $\mu\text{Sv/h}$ na povrchu děla

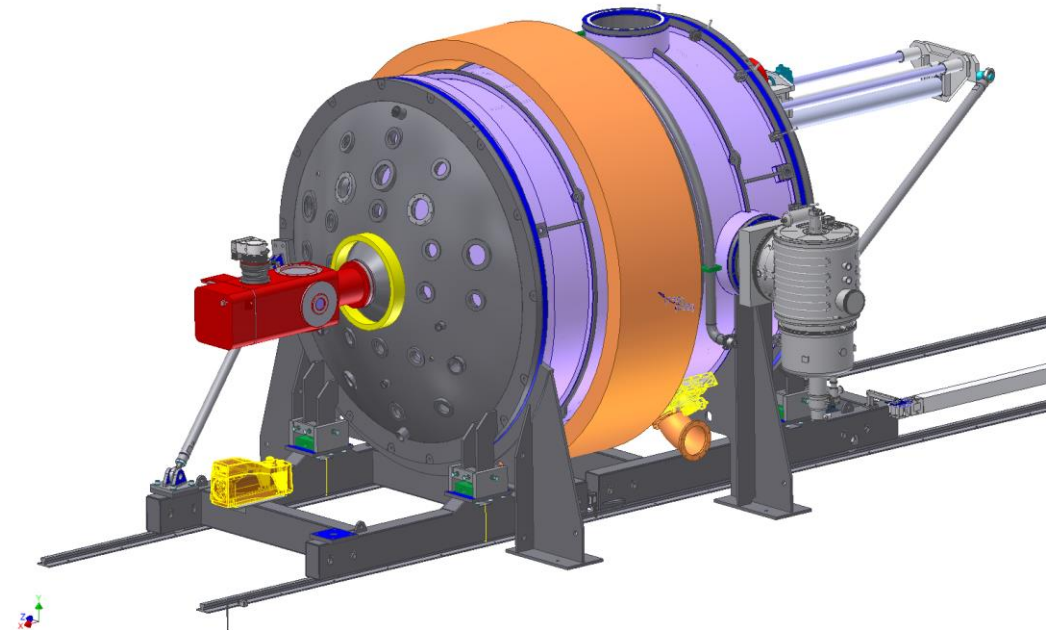
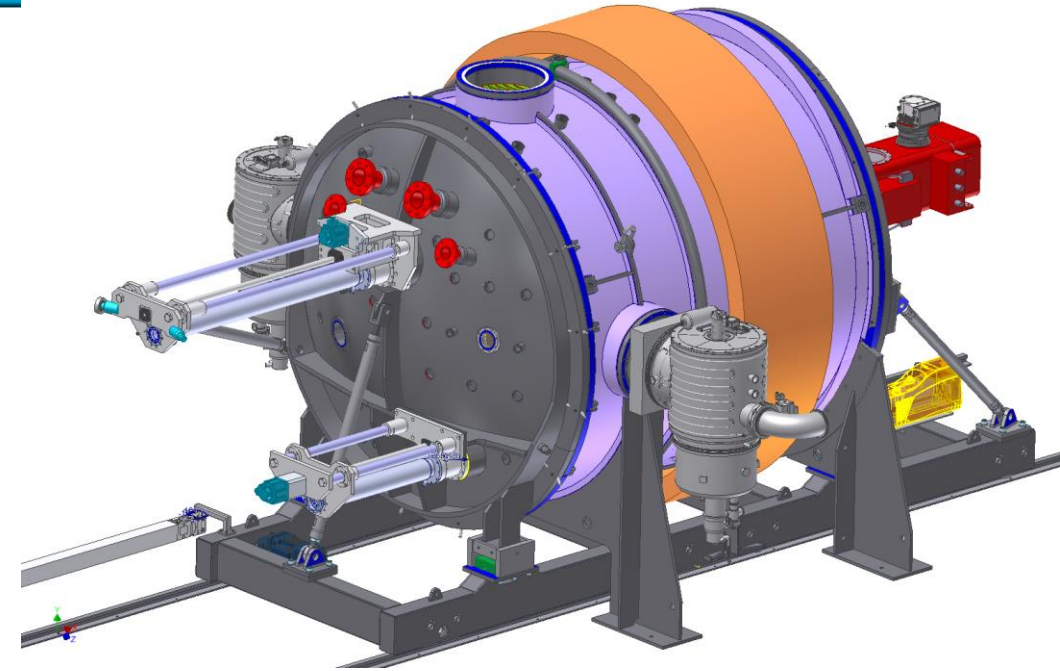
- ovládání elektronového děla:
 - velín laboratoře (ovládací panel + PC / OPC rozhraní)
 - beryliová laboratoř (ovládací panel + PC / OPC rozhraní)
- směřování paprsku je zajištěné vnitřním elektromagnetickým systémem elektronového děla



VAKUOVÁ NÁDOBA



- Tělo vakuové nádoby
 - Přední víko
 - Zadní víko
-
- parametry vakuové nádoby
 - pracovní úroveň vakua 10^{-1} Pa až 10^{-3} Pa
 - životnost při cyklické zátěži: 10 500 cyklů po 20 let

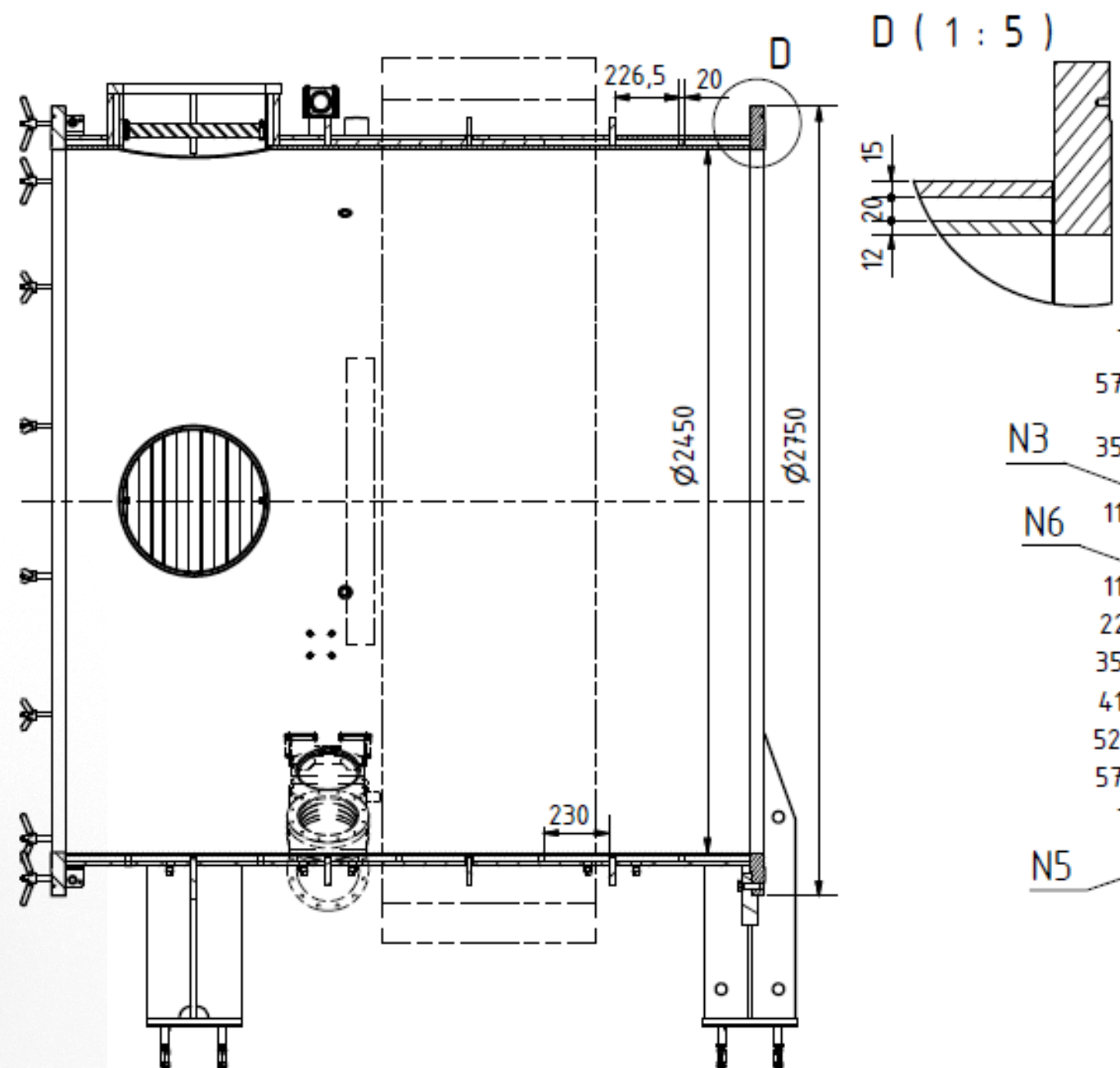
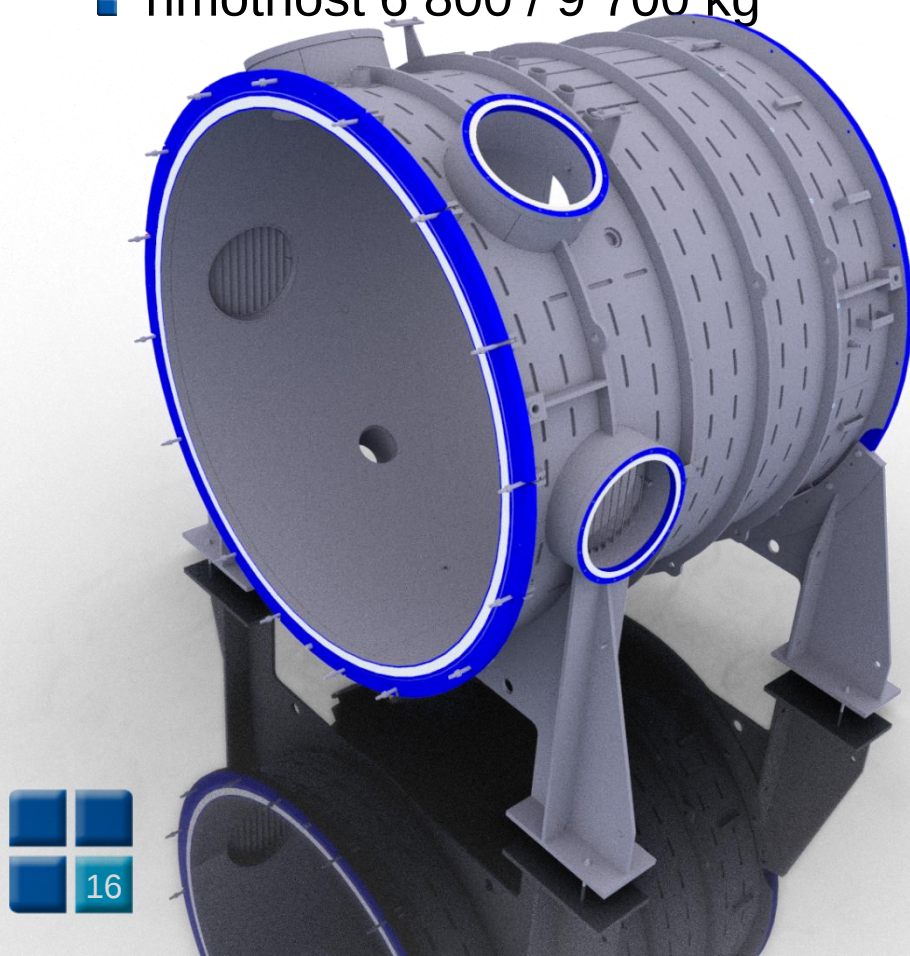


TĚLO VAKUOVÉ NÁDOBY



■ parametry

- vnitřní průměr 2 450 mm
- Délka 2 500 mm
- Nerezová ocel 1.4301
- hmotnost 6 800 / 9 700 kg



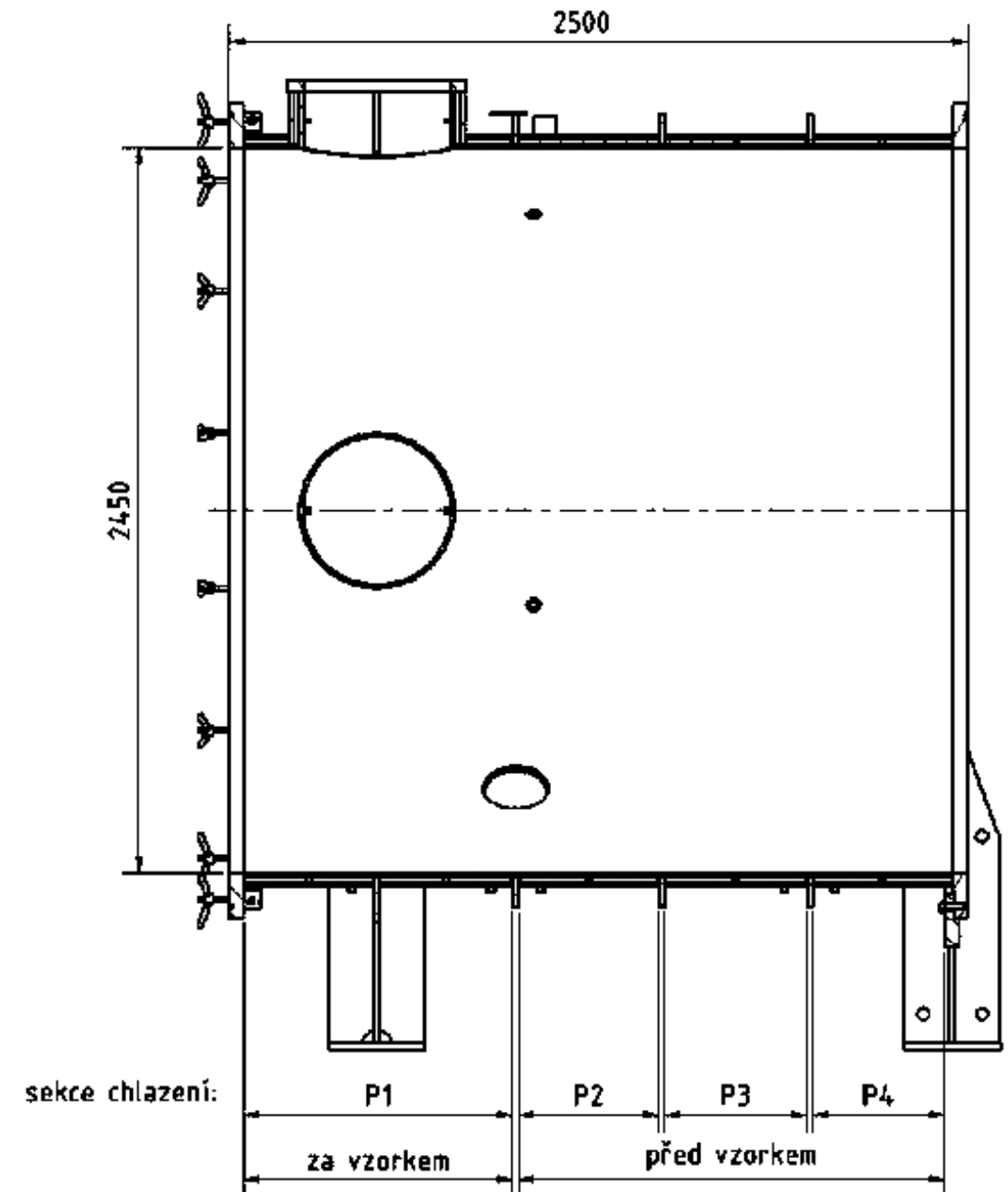


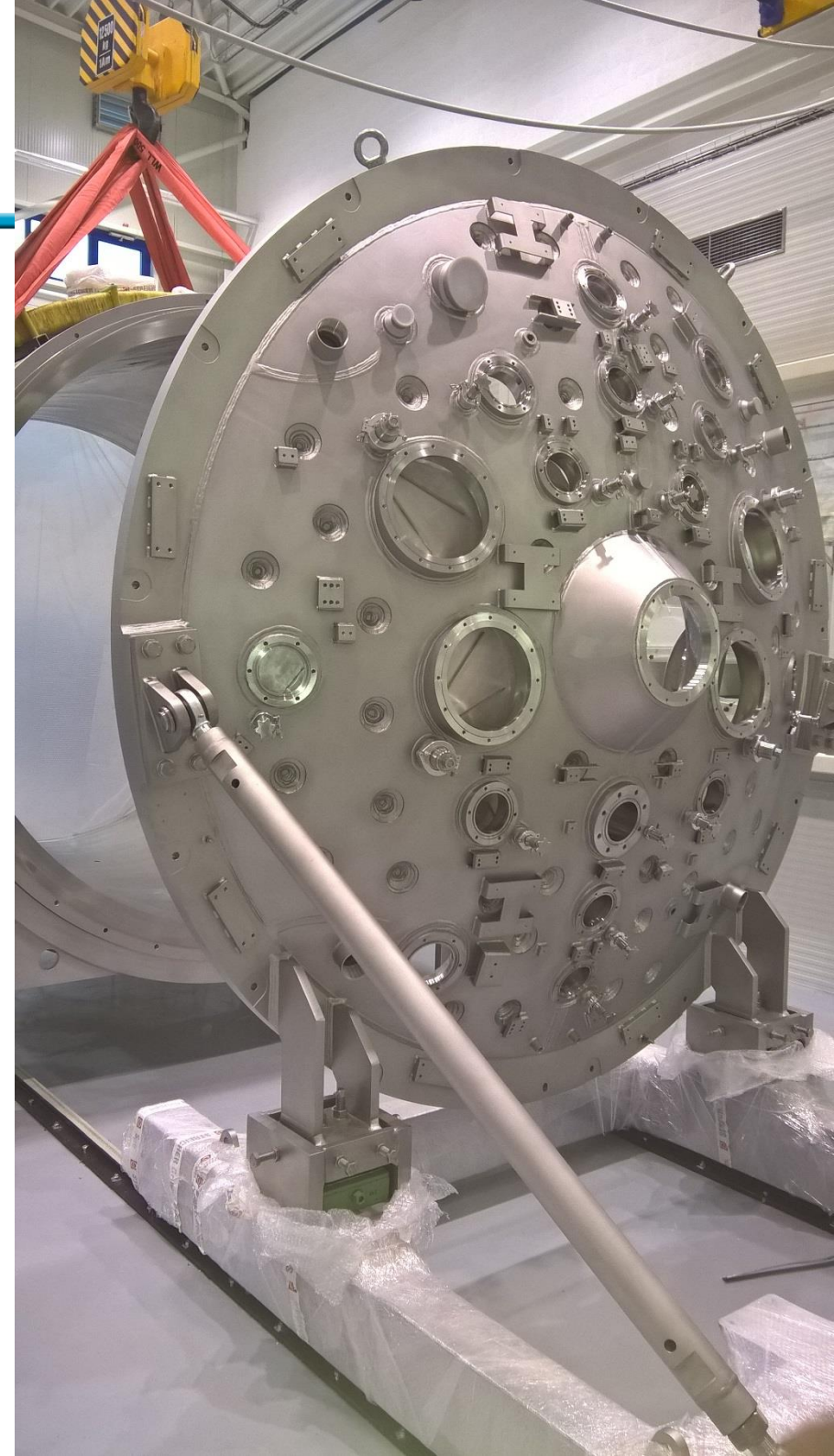
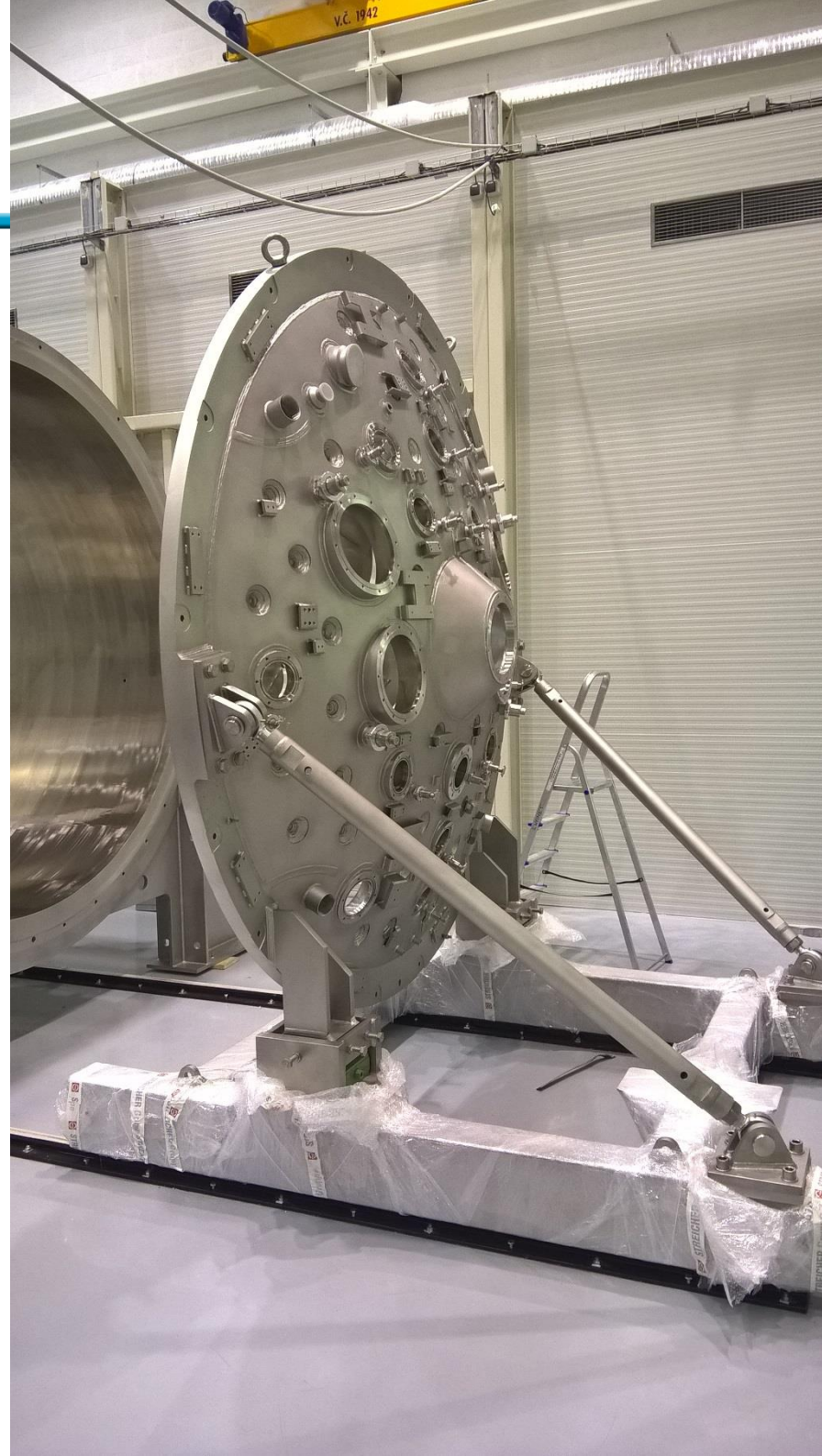
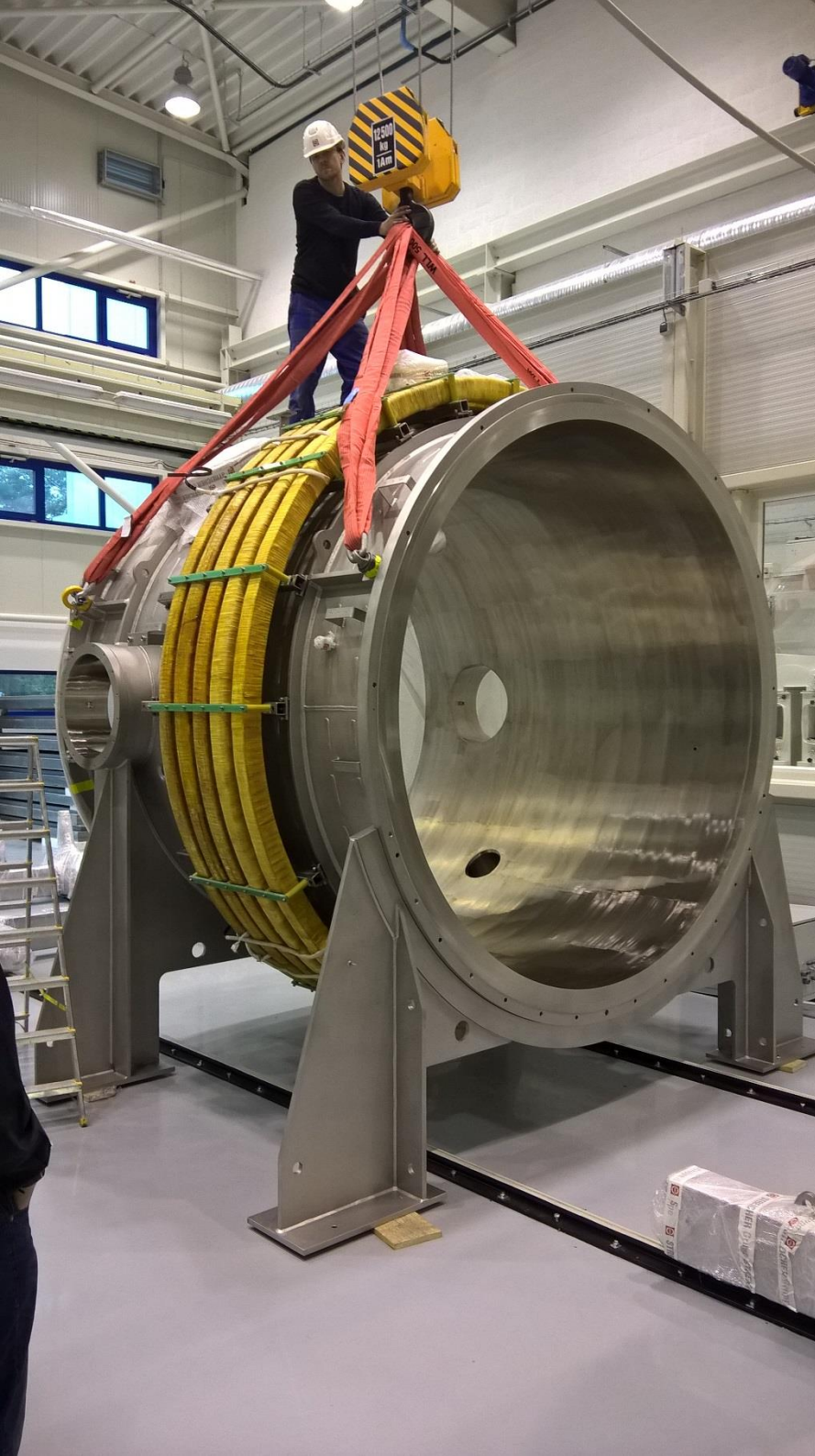
■ chladičí segmenty

- P1 za vzorkem
- P2, P3 a P4 před vzorkem

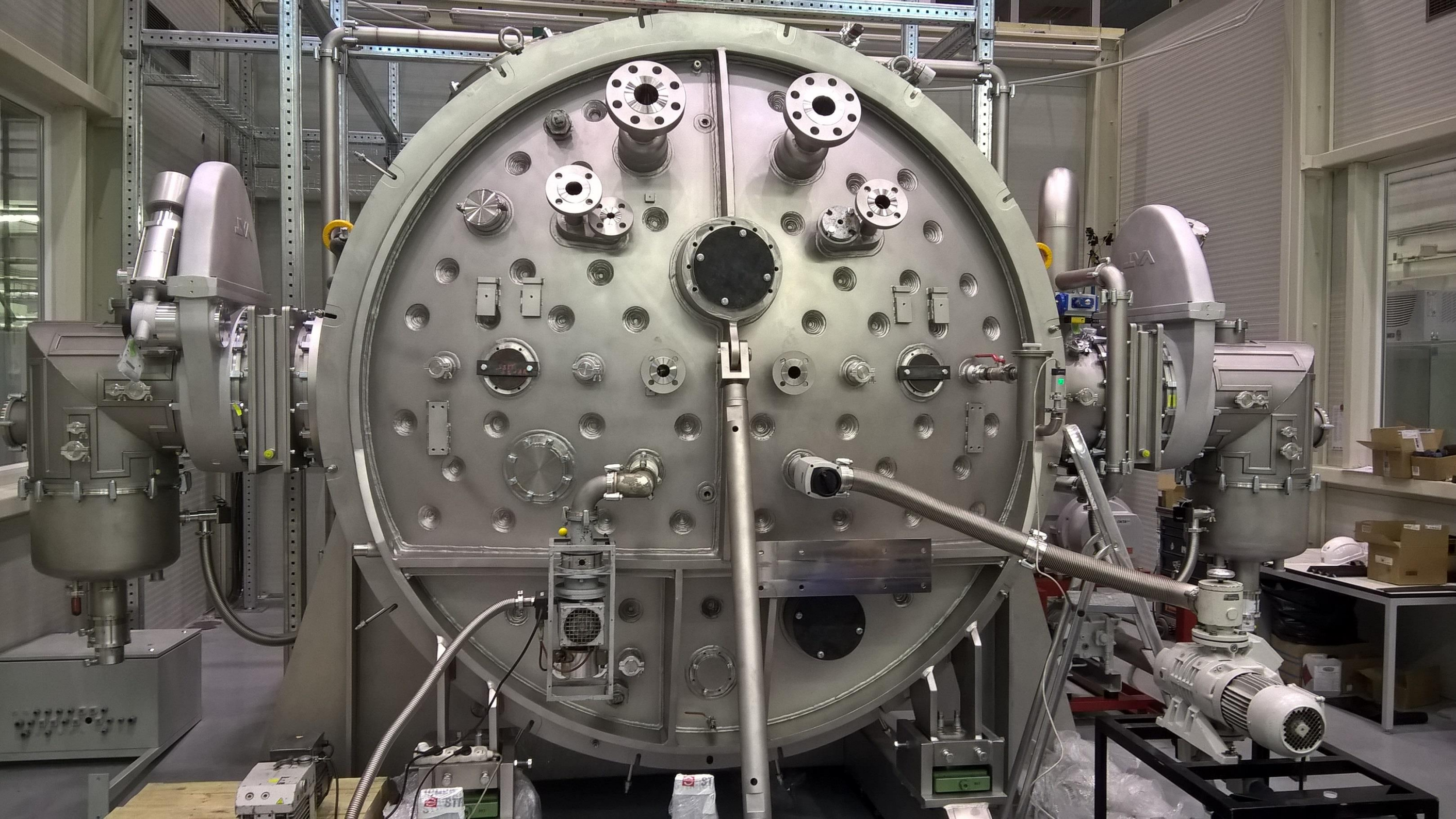
■ parametry chlazení

- chladičí kapalina: chemicky upravená voda
- tlak min. 4 bar, max. 6 bar
- rychlost proudění vody 0,5 m/s P1, 1,5 m/s P2-P4
- průtok 7,3 m³/h P1, 22 m³/h P2-P4
- vstupní teplota vody 20 – 27°C
- výstupní teplota vody až 40°C



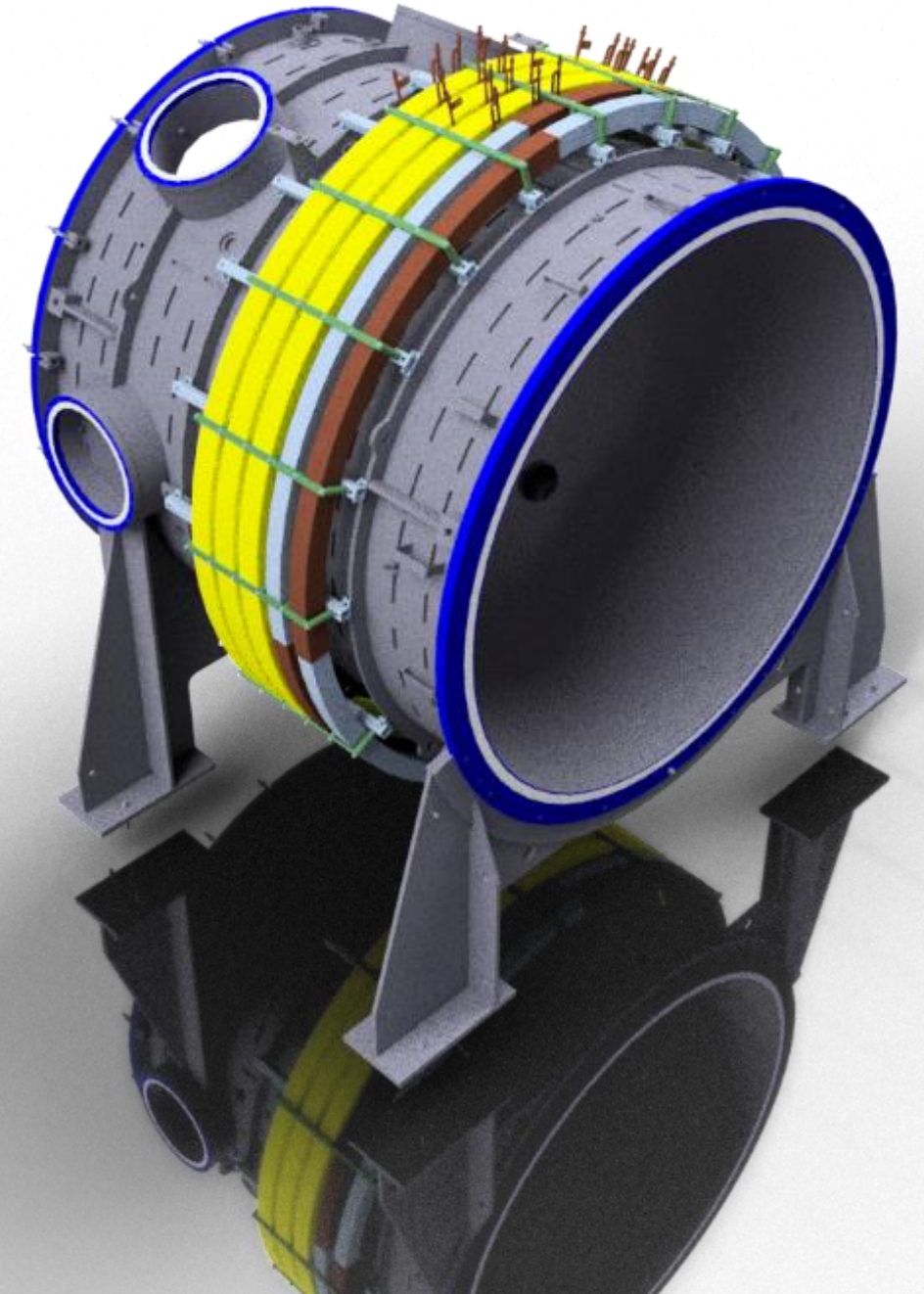








- **dodatečné magnetické cívky pro řízení elektronového paprsku – ohyb a fokus:**
 - Velké cívky – vnější průměr okolo 2 850 mm:
 - 3 fokusační cívky
 - 2 deflekční cívky
- **účel magnetických cívek:**
 - Zajištění úhlu dopadu na povrch vzorku pod úhlem max. $\pm 15^\circ$





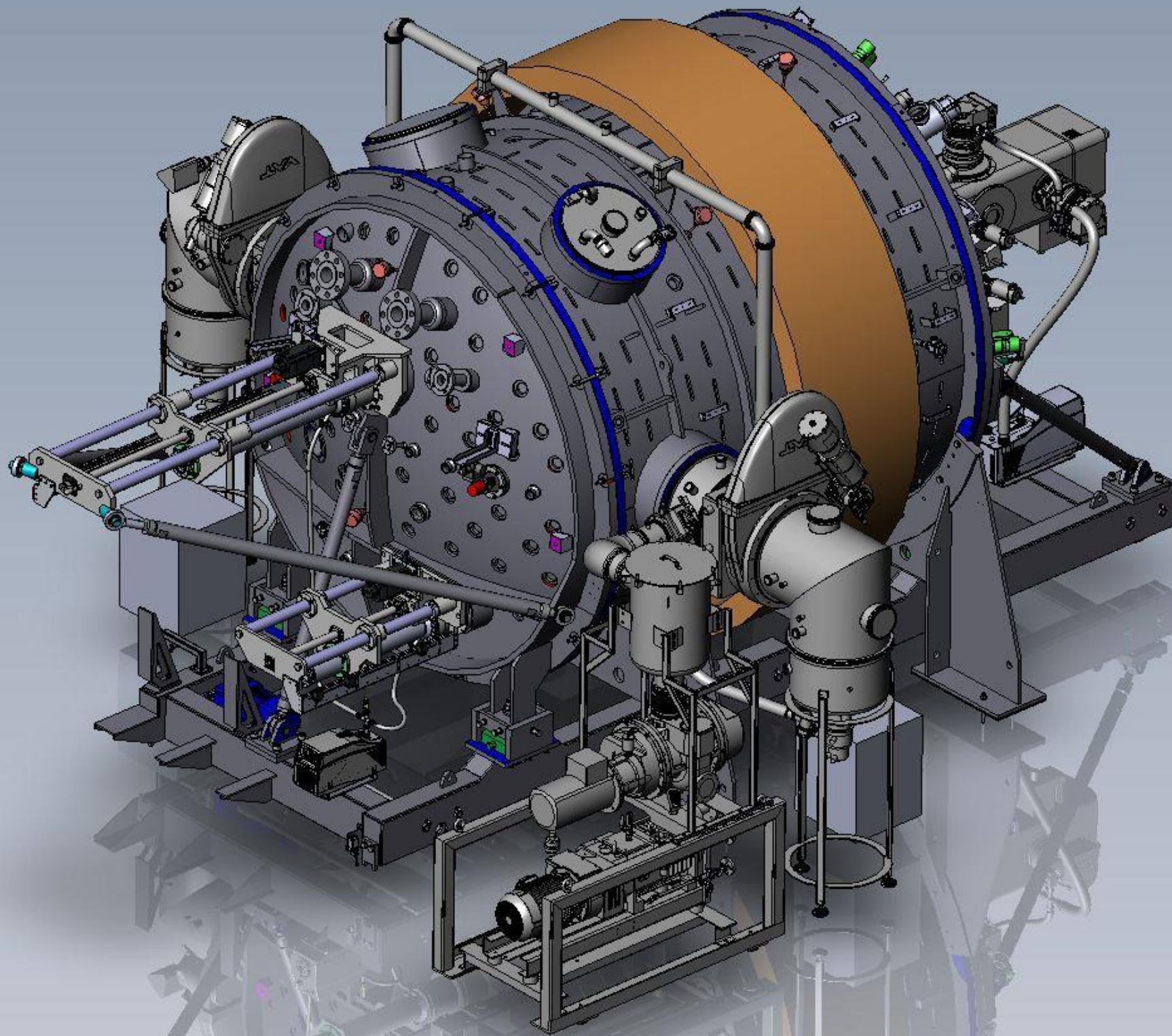
■ 7 chladicích okruhů:

- 1 – a) elektronové dělo + zrcadla infračervené diagnostiky; b) rozváděče elektronového těla; c) rozváděče kontroly řízení elektronového svazku
- 2 – vakuová nádoba
- 3 – stínící rámy + držák vzorku
- 4 – vakuové vývěvy
- 5 – elektromagnetické cívky
- 6 – vysokotlaký systém chlazení vzorku

■ každý z okruhů je dále rozdělen do podokruhů

VAKUOVÝ SYSTÉM

- Elektronové dělo
- Vakuová nádoba
- Systém čerpání
- Řízení tlaku





■ vývěvy pro dosažení hrubého vakua

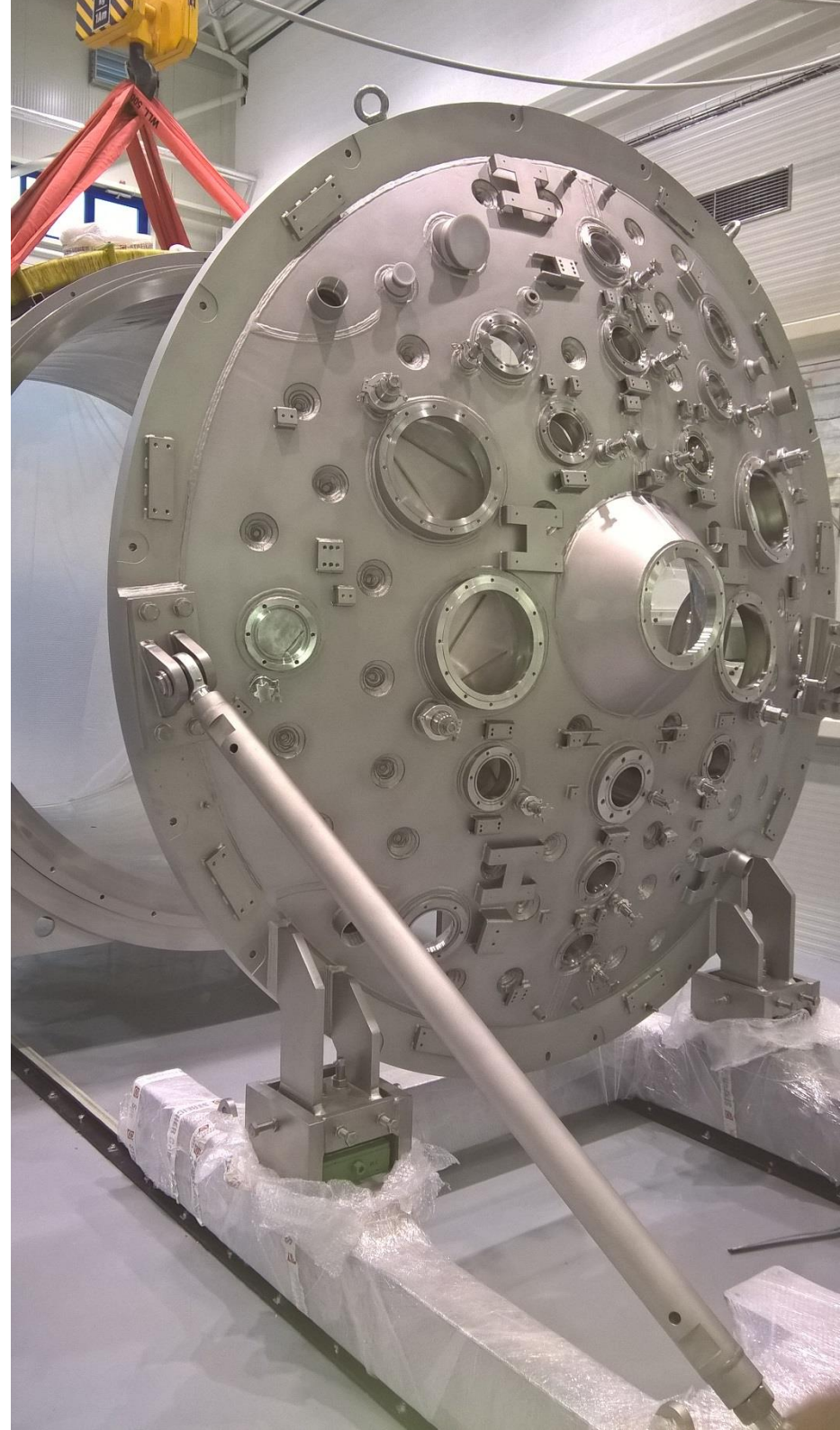
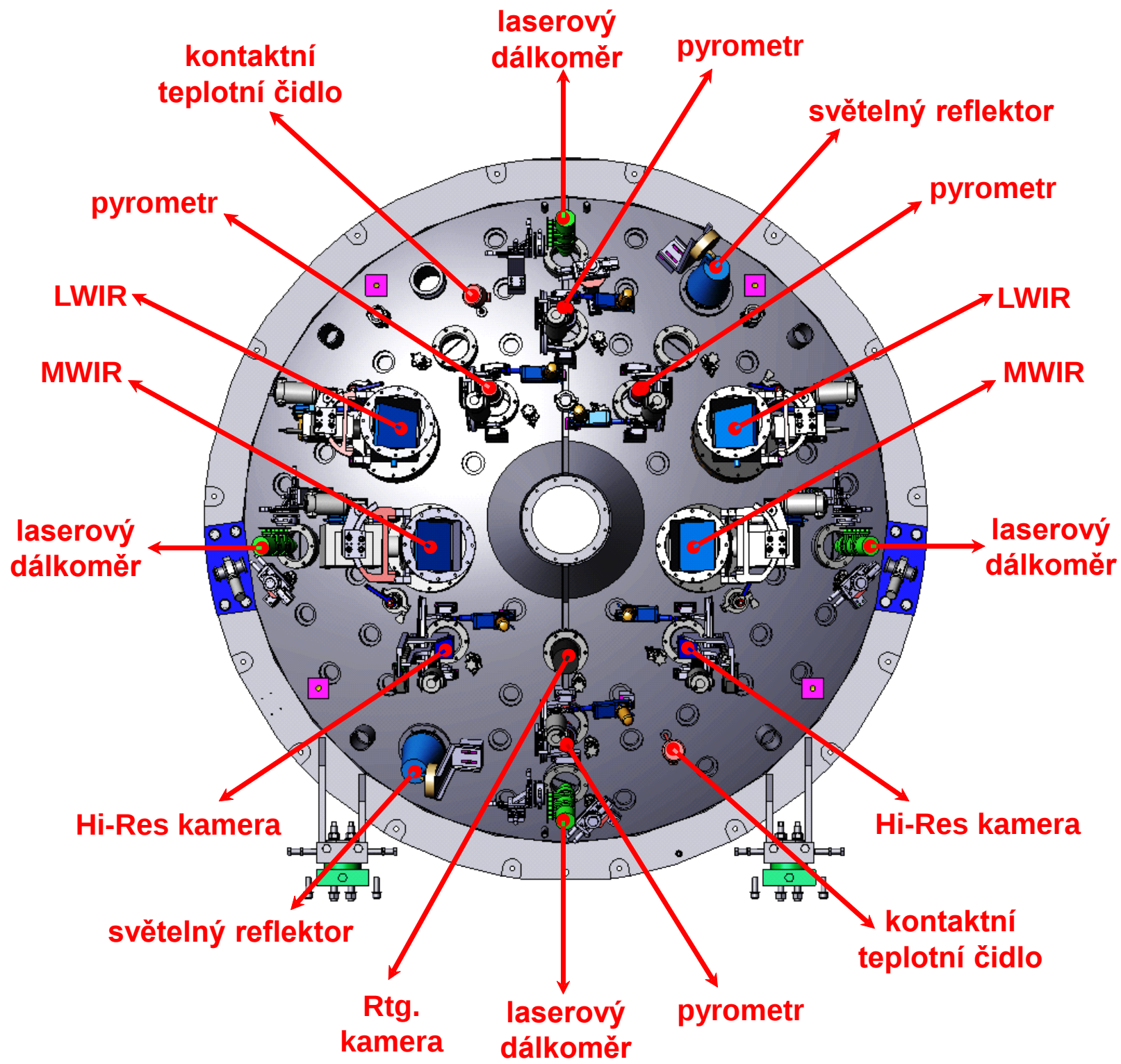
- Rootsovy vývěvy 2 000 m³/h
- napojení na odtah z beryliové laboratoře

■ kryosorpční vakuové vývěvy pro dosažení vysokého vakua

- 2 x vakuové vývěvy Velco 500 12 000 l/s pro N₂
- snížení účinnosti čerpání kvůli tepelným štítům na 2 x 5 625 l/s
- čas potřebný pro dosažení pracovní teploty 102 min
- doba regenerace 5 h
(každá vývěva bude regenerovat zvlášť, tj. jedna vývěva regeneruje zatímco druhá pracuje)
- kapacita jedné kryosorpční vývěvy 10000 bar



- ovládání pozice vzorku
- ovládání zorných polí kamer
- ovládání parametrů chladicí vody
- Hi-Res kamery
- LWIR infračervené kamery
- MWIR infračervené kamery
- Rtg. kamera
- kamerové pyrometry
- kontaktní teplotní čidla
- tlaková, teplotní a průtoková čidla chladicí vody





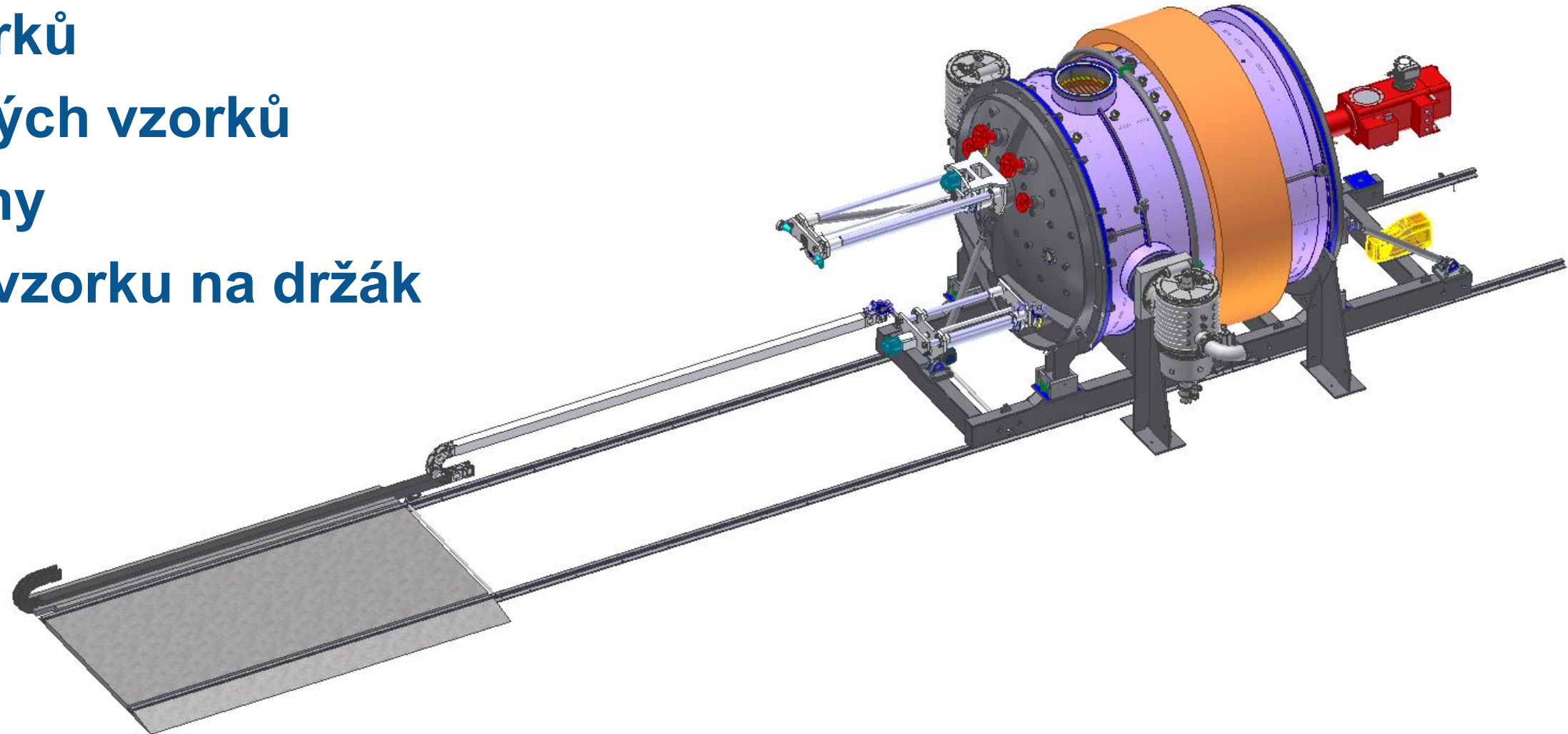
- **LWIR** **InfraTec VarioCAM HD head 880, 7.5 – 14.0 μm , 1024x768, 30 – 240 fps, 0°C – 2000°C**
- **MWIR** **FLIR SC8203, 3.0 – 5.0 μm , 1024x1024, 132 fps, 0°C – 2000°C**
- **Hi-Res kamera** **PCO.edge 5.5, CMOS, 370 – 1100 nm, 2560x2160, 100 fps**
- **Rtg. kamera** **Proxivision Proxicam HR40 X-ray CF, 1388x1038, 30 fps, 2.5 keV – 50 keV**
- **1-barevný pyrometr** **Keller (Siemens) 1x PA10 AF1/C (8 – 14 μm , 0°C – 1000°C)**
- **2-barevný pyrometr** **Keller (Siemens) 2x PA50 AF1/C (0.95 – 1.55 μm , 500°C – 1400°C),
Keller (Siemens) 1x PA40 AF4/C (0.95 – 1.05 μm , 750°C – 2400°C)**



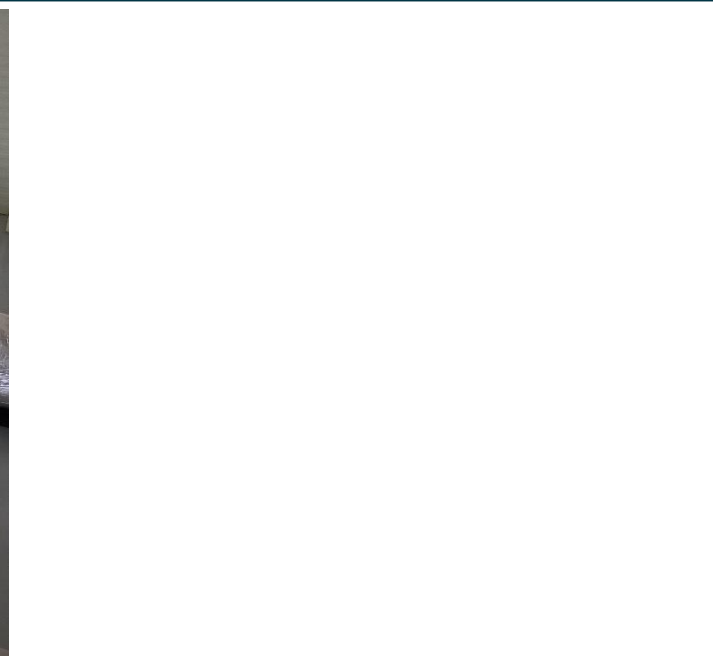
- **sledování, vyhodnocování, vizualizace signálů a řízení všech systémů zařízení HELCZA**
- **umožňuje grafické a plně programovatelné ovládání parametrů, úkonů a vzájemnou spolupráci jednotlivých podsystémů zařízení**
- **datové úložiště**
 - 88 TB kapacita úložiště
 - kapacita záznamu všech naměřených hodnot po dobu minimálně 160 dní
 - nahrávání záznamu ze všech diagnostických kamer po dobu minimálně 160 days s kvalitou záznamu minimálně 25 snímků za sekundu
- **pořizování záznamů**
 - záznam dat ze všech senzorů o frekvenci minimálně 1 Hz
 - měření teploty vzorku a obrazové záznamy kamer s minimální frekvencí 25 Hz



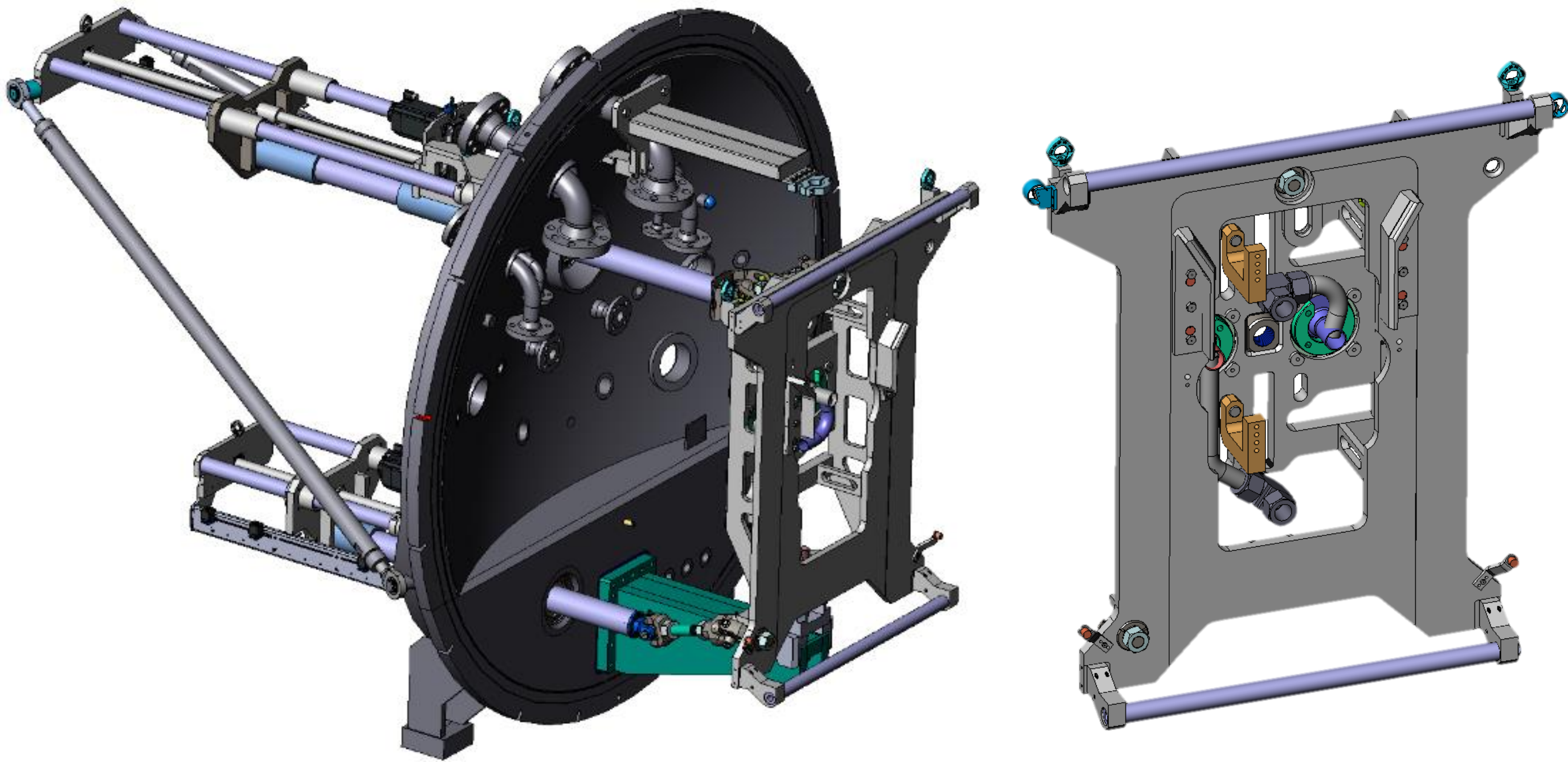
- transportér vzorků na předním víku
- nosič elektronového děla na zadním víku
- držák vzorků
- držák malých vzorků
- stínící rámy
- instalace vzorku na držák



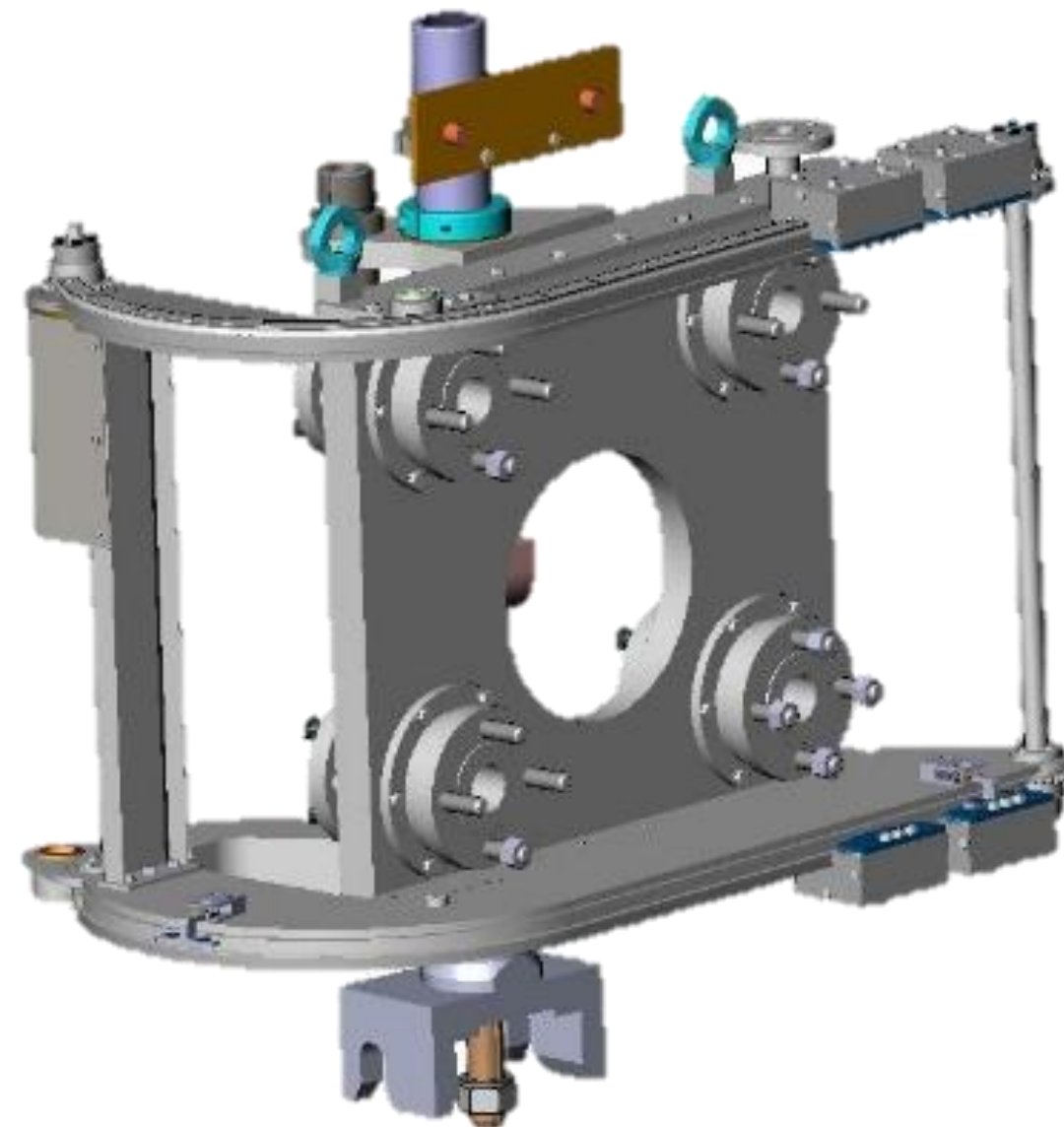
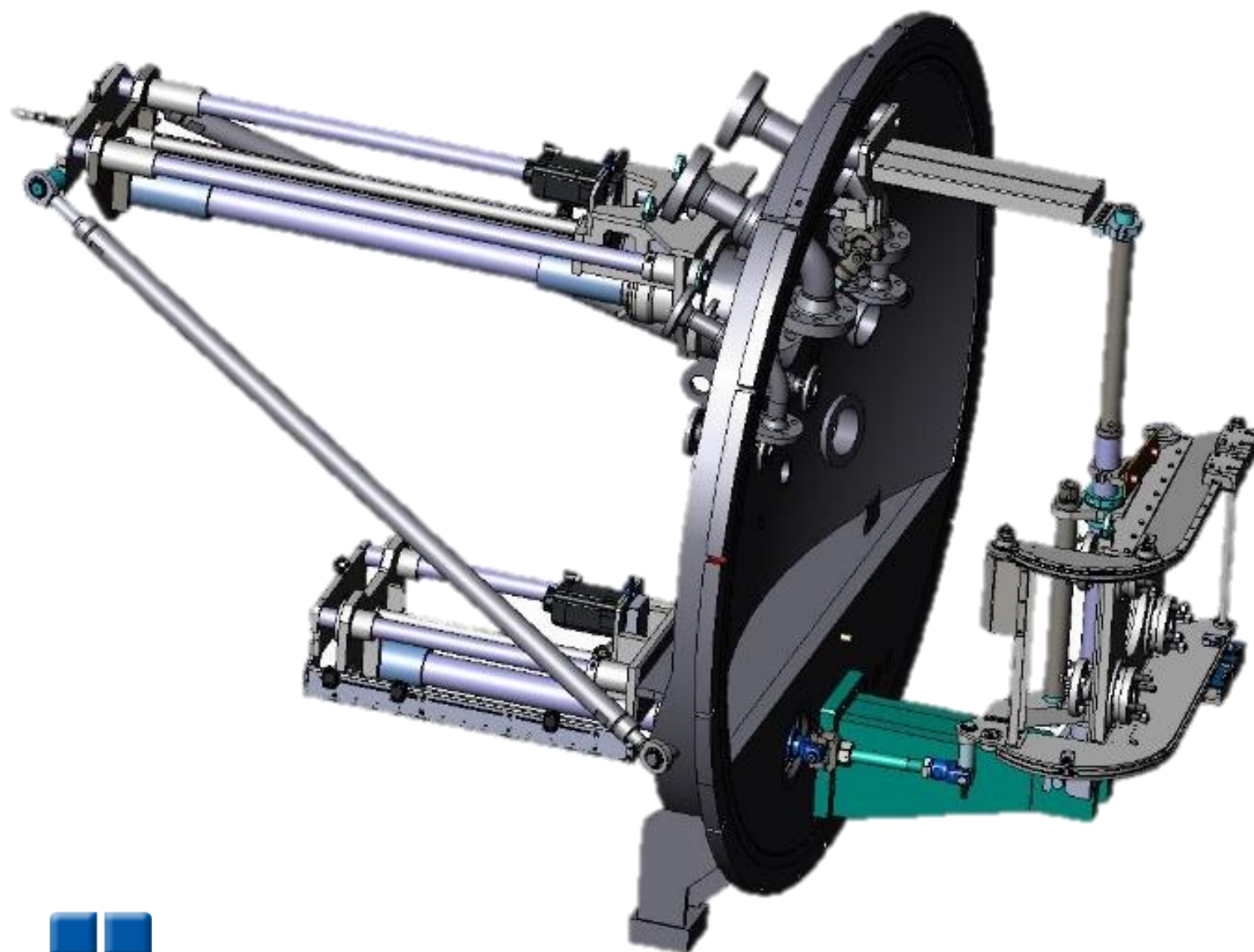
TRANSPORTNÍ A MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ



POHYBOVÝ SYSTÉM VZORKU FW



POHYBOVÝ SYSTÉM VZORKU FW





■ dekontaminační systém je založen na třech hlavních principech

- bezpečné otevření vakuové nádoby po ukončení experimentu, tj. otevřít tak, aby nedošlo ke kontaminaci okolí nádoby beryliem
- dekontaminace testovaných vzorků před jejich zabalením a transportem pro potřeby další analýzy
- umožnění bezpečného vstupu zaměstnanců do vakuové nádoby k dekontaminaci jejích vnitřního povrchu

■ manuální dekontaminace

- Pokud bude potřeba, po otevření vakuové nádoby dojde k manuální dekontaminaci jejích vnitřních povrchů a dekontaminace testovaných vzorků. Veškerý personál, který bude provádět dekontaminační práce, bude vybaven dostatečnými osobními ochrannými prostředky (respirátory, ochranné oděvy, atd.). Dostatečné odvětrávání pracovního místa bude zajištěno vzduchotechnikou beryliové laboratoře udržující stálý podtlak cca 50 Pa oproti okolí.
- Během jakékoliv mechanických prací se vzorky obsahujícími berylium (manipulace, dekontaminace) a během manuální dekontaminace vakuové nádoby bude mít obsluha přenosný analyzátor prachu. Toto zařízení bude neustále prosávat aerosoly skrze filtr, jenž bude následně vyhodnocen metodou NIOSH Meth 7102 na přítomnost a množství berylia.



■ dekontaminační systém vakuové nádoby

- Během testů budou všechny ventily vakuové nádoby zavřeny a ventilátor na provětrávání bude vypnutý.
- Po skončení testů bude vakuová nádoba prudce zavzdušněna otevřením napouštěcího vakuového ventilu až na atmosférický tlak. Potom bude napouštěcí ventil zavřen.
- Po zavzdušnění budou otevřeny ventily dekontaminačního systému a spustí se ventilátor. Vzduch uvnitř vakuové nádoby bude cirkulovat uzavřenou dekontaminační smyčkou skrz HEPA filtry.
- Po určité době průběhu dekontaminace (nastavená pomocí testovacích kalibračních procedur dekontaminačního systému) budou otevřeny ventily bypassu do prachového analyzátoru. Začnou se načítat hodnoty prachu proudící z vakuové nádoby, zatímco vzduch z vakuové nádoby bude neustále filtrovat v uzavřené smyčce skrz HEPA filtry.
- Po dosažení konstantní hodnoty koncentrace prachových částic nebo po dosažení hodnoty pod $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se otevře další bypass pro filtr, kde dojde k odebrání vzorků podle metody NISOH Meth 7102 (25 až 1000 litrů profiltrovaného vzduchu). Po ukončení filtrace budou uzavřeny klapky bypassu, zastaveno provětrávání a zavřeny provzdušňovací ventily vakuové komory.
- Filtr je následně odebrán z přístroje pro odebírání vzorků ze vzduchu a následně chemicky analyzován. Pokud dojde k tomu, že bude naměřena hodnota převyšující $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, potom bude znovu spuštěna dekontaminační procedura vakuové nádoby a celý proces odebírání vzorků ze vzduchu vakuové nádoby se bude opakovat, dokud nebude dosažena podlimitní koncentrace beryliových částic. Bude-li to nezbytné, dojde i k bezkontaktní výměně HEPA filtrů mezi dvěma dekontaminačními sekvencemi.



- **odběr vzorků prachu**
- **odběr vzorků berylia ve vzduchu**
 - obecné procedury pro sběr vzorků (prach)
 - metody sběru relevantních vzorků (potenciálně obsahující berylium)
 - vyhodnocení vzorků pro přítomnost berylia ve vzduchu
- **měření povrchové kontaminace – odběr vzorků z povrchu**
 - obecné procedury stěrů z povrchu panelů testovaných v testovacím zařízení
 - kontrola vnitřního povrchu vakuové nádoby
 - kontrola povrchů beryliové laboratoře
- **obecná bezpečnostní opatření na ochranu proti kontaminaci beryliovým prachem**
- **vybavení laboratorního zařízení pro analýzu vzorků**

NAKLÁDÁNÍ S PANELY FW



- navezení vzorku do haly 3
- dočasné skladování modulů v halách 1 & 3
- rozbalování vzorků uvnitř zóny 2
- testování vzorků v zóně 1 (uzavřená vakuová nádoba)
- dekontaminace vzorků v zóně 2
- expedice vzorků v hale 3



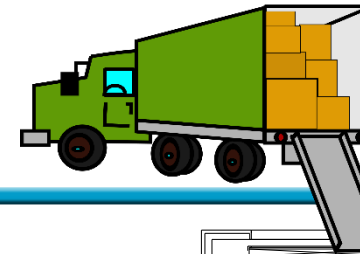
ZÓNA 1 - VNITŘNÍ PROSTOR VAKUOVÉ NÁDOBY S AUTOMATICKÝM DEKONTAMINAČNÍM SYSTÉMEM
ZÓNA 2 - PODTLAKOVĚ VĚTRANÁ BERYLIOVÉ LABORATOŘE
ZÓNA 3 - SLEDOVANÉ PÁSMO – EXPERIMENTÁLNÍ HALA 2

➡ - VSTUP / VÝSTUP

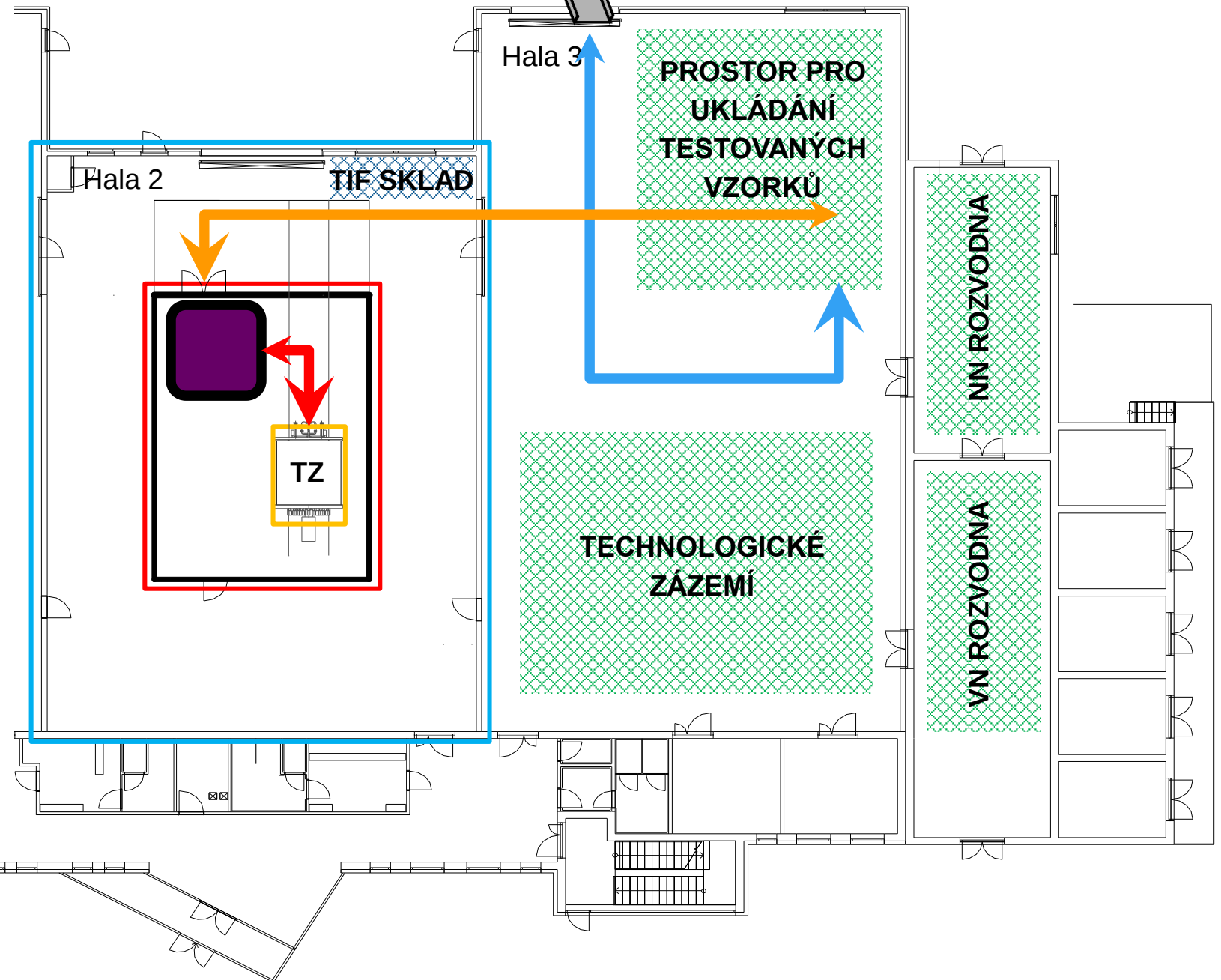
➡ - VSTUP / VÝSTUP SE VZORKEM

✕ - ZABEZPEČENÍ PROTI VSTUPU

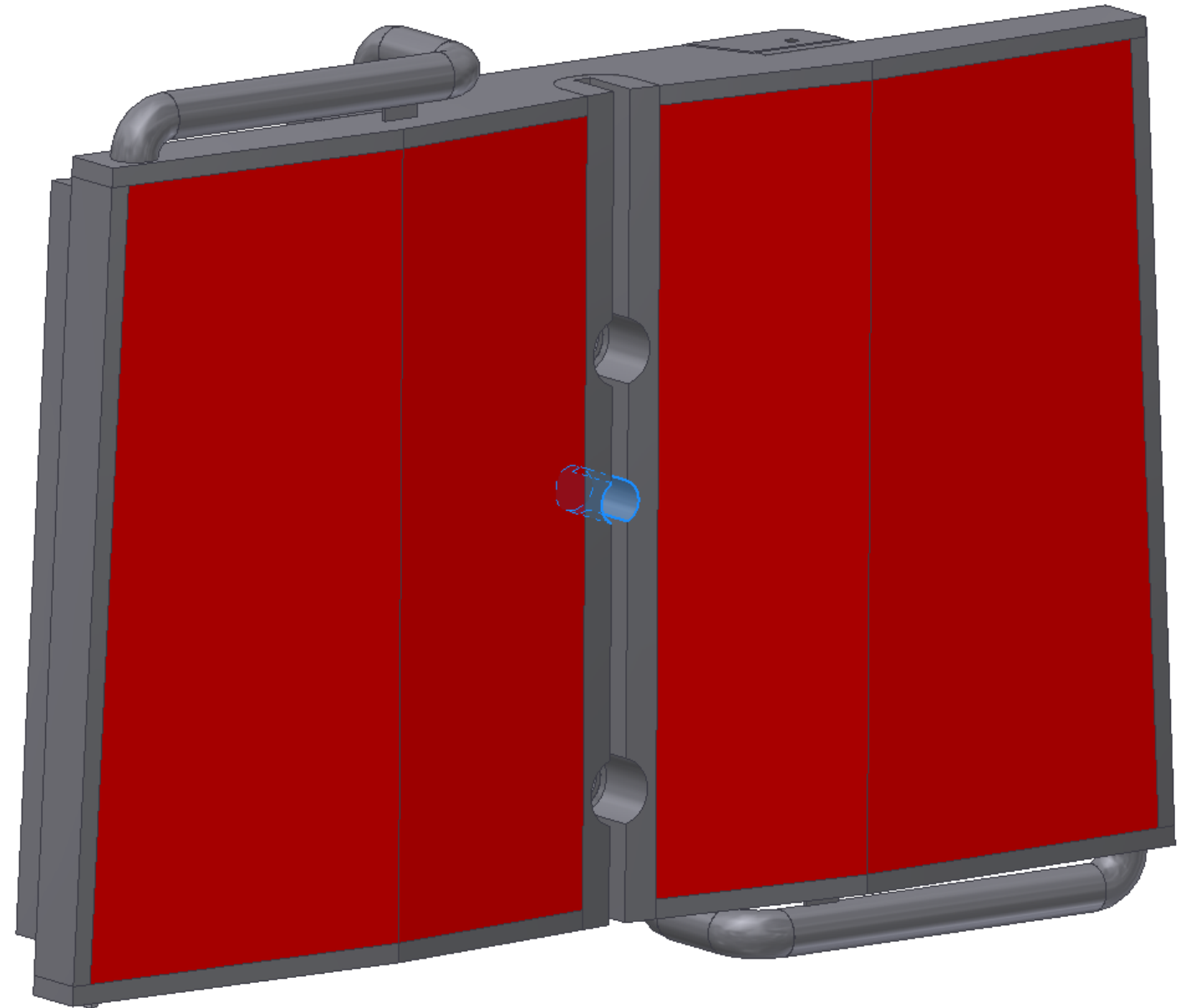
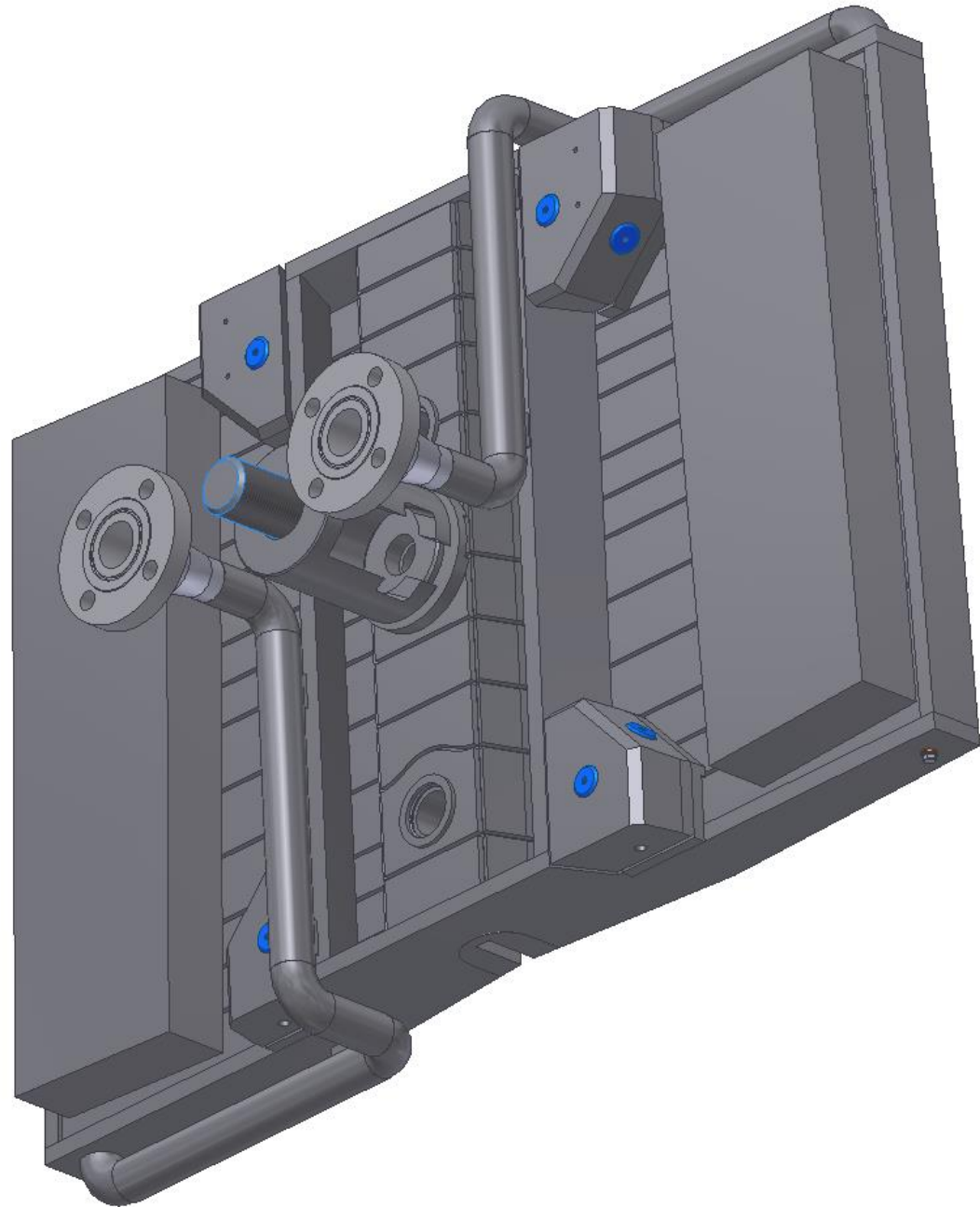
NAKLÁDÁNÍ S PANELY FW



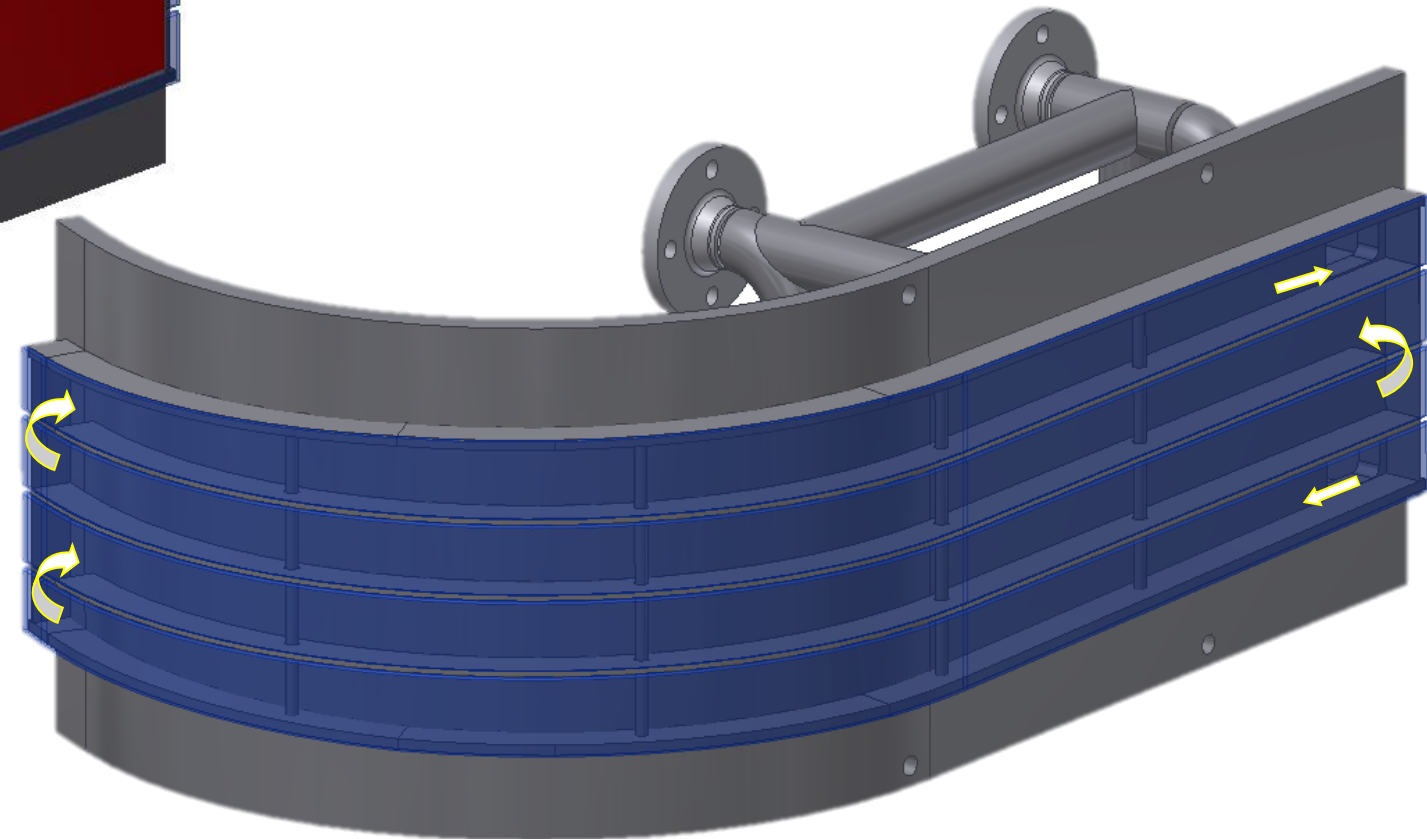
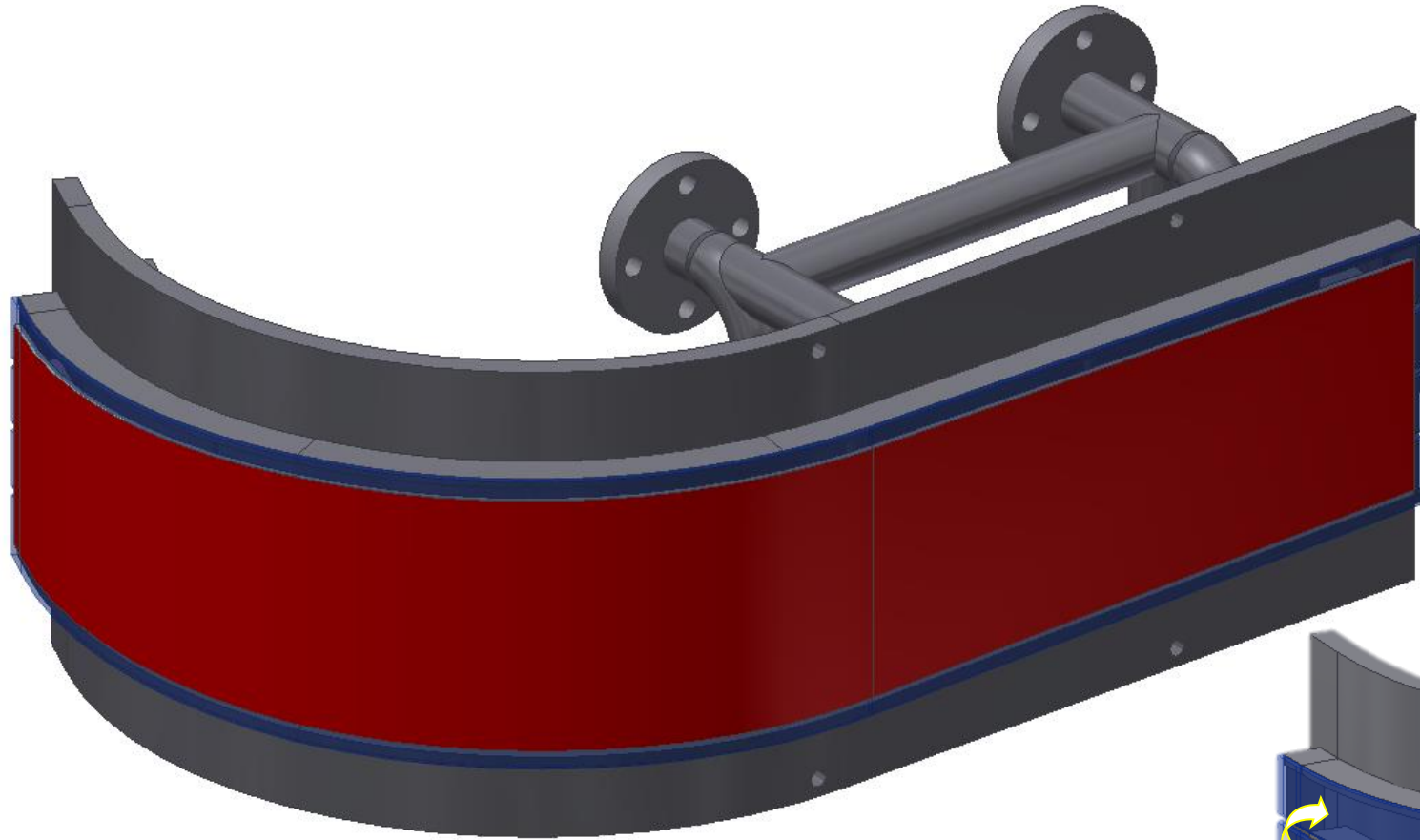
- vykládání/nakládání z/na kamion
- převoz do/z Beryliové laboratoře
- vybalování/zabalování
- montáž/demontáž do/z testovacího zařízení



MAKETA PANELU FW



MAKETA PANELU IVT





Studentská vědecká konference

Mariánská 2016

18. – 22. 1. 2016

Děkuji za pozornost!

Tato práce vznikla za finanční podpory projektu SUSEN CZ.1.05/2.1.00/03.0108,
který je realizován v rámci Evropského fondu regionálního rozvoje (ERDF).

www.cvrez.cz

cvrez@cvrez.cz



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE



2007-13
OP Research and
Development for Innovation