



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Rekonstrukce ozařovny a modernizace
experimentálního kobaltového ozařovače**

**Reconstruction of irradiation facility and
modernization of the experimental cobalt
irradiator**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Jan ŘÁDA

Studijní program:	N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor:	2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Vedoucí práce:	Ing. František Lopot, Ph.D.
Odborný konzultant:	Ing. Pavel Krupička

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Řáda** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **382339**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Rekonstrukce ozařovny a modernizace experimentálního kobaltového ozařovače

Název diplomové práce anglicky:

Irradiation room renewal and upgrade of experimental cobalt irradiator

Pokyny pro vypracování:

V rámci diplomové práce zpracujte konstrukční řešení výsuvu a blokovacího mechanismu radionuklidového zdroje ^{60}Co v rámci modernizace ozařovny "Malý kobalt CVŘ" v areálu ÚJV Řež. Výstupem práce bude 3D model včetně potřebné výkresové dokumentace, dimenzování a kontroly důležitých konstrukčních uzlů a zhodnocení ekonomické náročnosti projektu. Projekt bude řešen ve spolupráci a v návaznosti na činnost společnosti UJP PRAHA a.s.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.
Katalogy dodavatelů polotovárů a dílčích komponent

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. František Lopot Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.03.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.06.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce

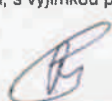

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

10-4-2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci pod názvem: „Rekonstrukce ozařovny a modernizace experimentálního kobaltového ozařovače“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Lopota, Ph.D., s využitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 26.06.2017

Bc. Jan Řáda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce Ing. Františku Lopotovi, Ph.D., za rady a konzultace v průběhu zpracování práce. Dále děkuji kolegovi z oddělení konstrukce, Jiřímu Vernerovi, za pomoc a trpělivost během realizace projektu. Poděkování patří také Ing. Pavlu Krupičkovi za schovívavost a přístup nadřízeného v zaměstnání během celého studia.

V neposlední řadě patří mé srdečné poděkování celé rodině za nekonečnou podporu po celou dlouhou dobu mého studia.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Bc. Jan ŘÁDA
Název DP: Rekonstrukce ozařovny a modernizace experimentálního kobaltového ozařovače
Anglický název: Reconstruction of irradiation facility and modernization of the experimental cobalt irradiator
Rok: 2017
Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Obor studia: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP: Ing. František Lopot, Ph.D.
Konzultant: Ing. Pavel Krupička

Bibliografické údaje:

počet stran	64
počet obrázků	55
počet tabulek	0
počet příloh	5

Klíčová slova: ionizující, ozařovna, blokace, pohon
Keywords: ionizing, irradiation facility, blocking, drive

Anotace: Předmětem práce je konstrukční návrh pohonu výsuvu zdroje s mechanickou blokací, a to včetně výrobní výkresové dokumentace s přímou vazbou na praxi.

Abstract: The object of this work is to design a drive of irradiator with mechanical blocking system, including manufacturing drawings with a direct link to the practice.

OBSAH

1. Úvod	1
2. Cíl práce	3
2.1. Požadavky zákazníka	3
2.1.1. Renovace skladovacího kontejneru	3
2.1.2. Nové pouzdro zářiče.....	3
2.1.3. Krycí trubka v ozařovací komoře	3
2.1.4. Nový ovládací mechanismus výsuvu zdroje	3
2.1.5. Posuvné dveře	4
2.1.6. Bezpečnostní mechanismus	4
3. Popis výchozího stavu	4
3.1. Pohon výsuvu zdroje	5
3.2. Mechanická blokace	5
3.3. Stínící element.....	5
3.4. Posuvné dveře	6
3.5. Nedostatky původního řešení	7
4. Vlastní konstrukční řešení	8
4.1. Vybavení ozařovny	8
4.1.1. Skladovací obal.....	9
4.1.2. Sestava zářiče	11
4.1.2.1. Zdroj ionizujícího záření	12
4.1.2.2. Wolframové stínění.....	12
4.1.2.3. Pouzdro zářiče.....	13
4.1.2.4. Nástavec pouzdra zářiče	14
4.1.2.5. Tyč s ozubeným hřebenem.....	15
4.1.3. Vedení hřebenu.....	16
4.1.4. Vnitřní převod	18
4.1.4.1. Držák pohonu	19
4.1.4.2. Vnitřní hřídel	20
4.1.5. Krycí trubka	22
4.1.6. Celková sestava 3D modelu vybavení ozařovny	23
4.2. Pohon výsuvu zdroje včetně mechanické blokace	27
4.2.1. Montážní rovina	28
4.2.2. Pohon skrz zeď	29
4.2.3. Pohonná jednotka	30
4.2.3.1. Držák pohonu	31
4.2.4. Blokovací mechanismus	31
4.2.5. Spřažený převod.....	33
4.2.6. Koncové spínače.....	36
4.2.7. Ruční pohon	37
4.2.8. Krytování pohonu.....	38
4.2.9. Celková sestava 3D modelu pohonu zdroje včetně mechanické blokace.....	39
4.3. Posuvné dveře	42
4.3.1. Elektrický pohon posuvných dveří	43

4.3.2. Protikus mechanické blokace a spodní vedení dveří	44
4.4. Princip funkce sestavy jako celku	44
5. Realizace	46
5.1. První etapa	46
5.2. Druhá etapa	49
5.3. Třetí etapa	50
6. Závěr.....	52

SEZNAM ZKRATEK

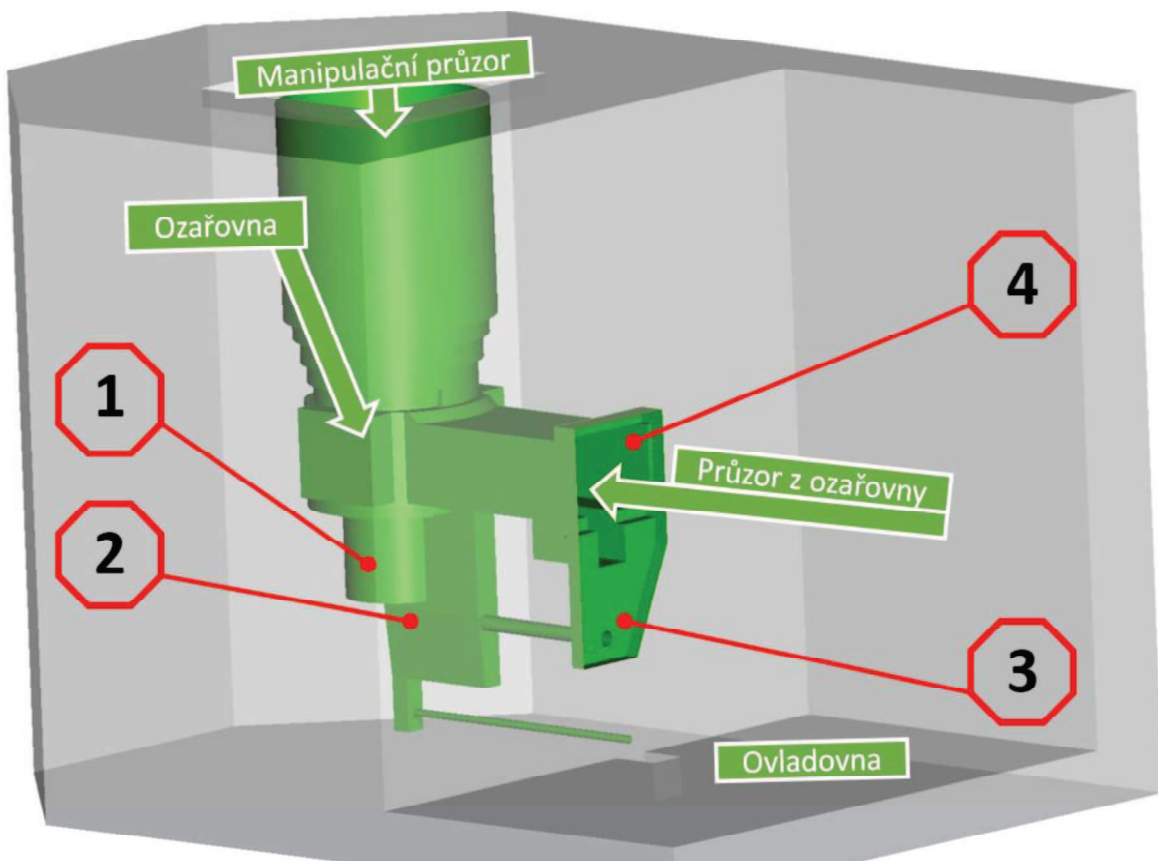
SÚJB	[-]	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
ZIZ	[-]	Zdroj ionizujícího záření

LATINSKÁ ABECEDA

d	[mm]	průměr roztečné kružnice
h _{OT}	[mm]	zdvih na otáčku
h _{ZD}	[mm]	výška zdvihu
k	[-]	bezpečnost
p	[mm]	rozteč zubů
z	[-]	počet zubů

1. Úvod

Zdroje ionizujícího záření jsou díky svým vlastnostem využívány ve stále rostoucím počtu nejen průmyslových aplikací. Mezi jejich nesporné výhody patří stálost fyzikálních parametrů a jejich snadná deklarace bez ohledu na podmínky okolního prostředí. Díky využití moderních technologií (osobní dozimetrie, GPS navigace apod.) jsou významně snižována rizika spojená s používáním zdrojů ionizujícího záření (ZIZ). Přesto je nutné věnovat bezpečnosti a postupům při jejich používání velkou pozornost a zejména nepodceňovat nebezpečí tohoto záření, které není viditelné, ale jeho dopad na okolní prostředí, a to včetně ohrožení lidského života a dlouhodobých dopadů na životní prostředí, je obrovský. Z uvedených faktů je zřejmé, že úroveň znalostí o radiaci z oboru fyziky je vysoká a jejich aplikace do praxe dostupná. K bezpečné manipulaci se ZIZ jsou využívány ozařovny.



- | | |
|--------------------------|--|
| 1 Skladovací obal | 3 Pohon výsuvu zdroje s mechanickou blokadí |
| 2 Vnitřní převod | 4 Posuvné dveře |

Obr. 1: Situační model ozařovny s popisem a rozmístěním konstrukčních uzlů

Pojem ozařovna je všeobecným označením stíněné místnosti, kde je umožněno pomocí manipulátorů pracovat přímo se ZIZ. Tímto pojmem jsou v praxi označovány horké komory pro všeobecné použití, jednocelové horké komory (kalibrační laboratoře, experimentální boxy) nebo ozařovny ve zdravotnických zařízeních. Díky koncepci horkých komor je možné jejich použití také k výzkumným projektům např. pro zjišťování odolnosti materiálů a přístrojů vůči ionizačnímu záření. Výzkumné projekty v horkých komorách přímo navazují na výzkumnou činnost v rozmanitém spektru oborů. Tyto činnosti jsou mimo jiné velmi nápomocné i při samotném výzkumu chování ZIZ a jeho působení na okolí. Každá ozařovna podléhá přísným požadavkům Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB), který se řídí Atomovým zákonem č.263/2016 Sb. vycházejícího z původního Atomového zákona č. 18/1997 Sb. v platném znění pozdějších předpisů, který předepisuje podmínky pro mírové využití jaderné energie a ionizujícího záření.

Zadavatel, společnost UJP PRAHA a.s. se zabývá několika průmyslovými obory, a to obalovými soubory (kontejnery pro transport ZIZ), zdravotnickou technikou (radioterapeutické vybavení ozařoven v nemocnicích po celém světě), výrobou defektoskopů a prototypovou výrobou pro radiační pracoviště. Dalšími obory, kterými se UJP PRAHA a.s. zabývá, jsou dlouho i krátkodobé výzkumy, výroba pseudoslitin wolframu a mnoho dalších.

2. Cíl práce

Cílem práce je tvorba 3D a 2D dokumentace pro dílčí části rekonstrukce ozařovny s přímou vazbou na výrobu, a to při splnění požadavků zákazníka. Podíl zadavatele práce na celém projektu je přibližně jedna třetina, zbylé dvě třetiny jsou realizovány dalšími dvěma podniky v kooperaci. Dále je v rámci projektu zpracována potřebná textová dokumentace.

2.1. Požadavky zákazníka

V následujících podkapitolách budou popsány požadavky zákazníka, respektive bude popsán výpis z oficiální objednávky. Požadavky zákazníka vyplývají mimo jiné i z radiačních výpočtů pro danou ozařovnu.

2.1.1. Renovace skladovacího kontejneru

- Povrchová úprava
- Výměna vodící trubky pouzdra zdroje, dále jen píšťala, s adaptací na krycí trubku
- Nové řešení pohonu výsuvu zdroje

2.1.2. Nové pouzdro zářiče

- Jednotný průměr 52 mm
- Wolframové stínění nad zářičem 140 mm, pod zářičem 140 mm
- Závitové spojení mezi píšťalou a tyčí výsuvu zdroje
- Záruka na těsnost pouzdra zdroje 10 let
- Životnost pouzdra 15 let

2.1.3. Krycí trubka v ozařovací komoře

- Vnitřní průměr maximálně 54 mm, optimálně 53 mm
- Tloušťka stěny trubky v nerezovém provedení 2 mm, v případě Al 4 mm
- Vazba na skladovací kontejner

2.1.4. Nový ovládací mechanismus výsuvu zdroje

- Maximální výsuv – střed ZIZ ve středu průzoru
- Zastavení ZIZ v libovolné poloze
- Určení polohy zdroje na stupnici navázané na výsuv zdroje
- Elektrické ovládání – motor 24 V DC
- Nouzové ovládání – klika nebo kolečko

2.1.5. Posuvné dveře

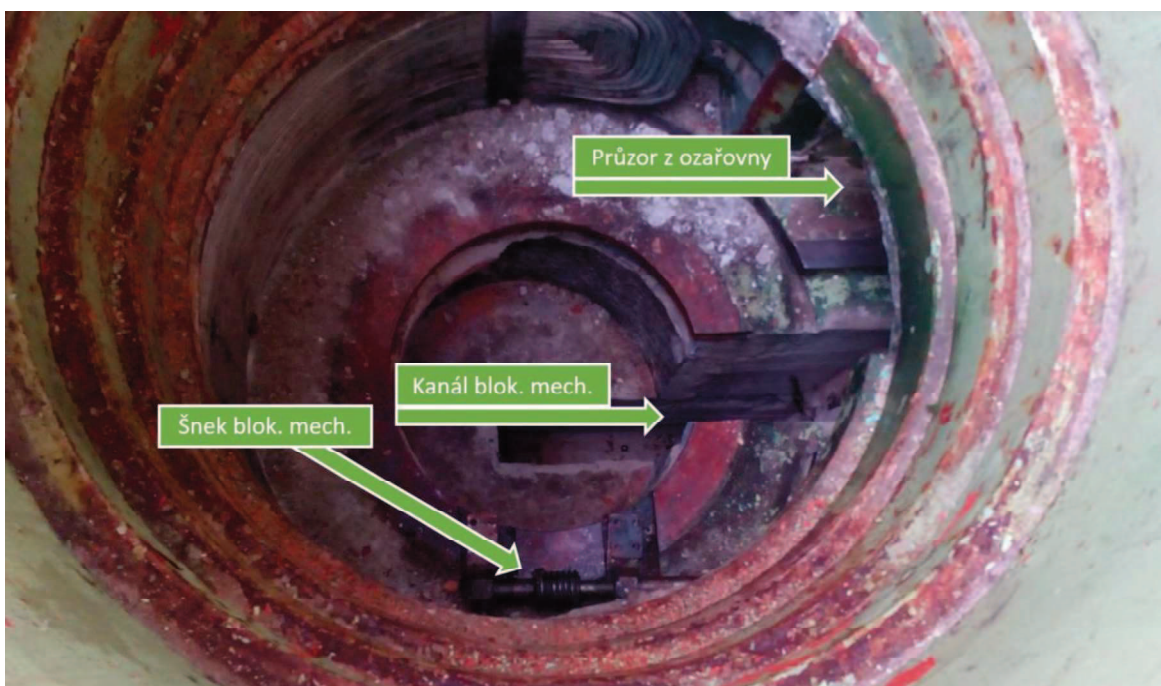
- Renovace pojezdu a doplnění o spodní vedení
- Povrchová úprava
- Ovládání elektrické – motor 24 V DC

2.1.6. Bezpečnostní mechanismus

- Mechanická konstrukce
- Vysunutí zdroje umožněno po splnění podmínky zasunutého a zajištěného experimentálního boxu (kooperace) a zavřených posuvných dveří

3. Popis výchozího stavu

Ozařovna byla stavěna za účelem výzkumu degradace materiálů pod vlivem ionizujícího záření. Výchozím stavem byla původní nepřesná masivní železobetonová sklepní zástavba z počátku devadesátých let s původními posuvnými dveřmi, částečně rozebraným mechanismem pohonu výsuvu zdroje a kompletně demontovaným systémem stínění průzoru z ozařovny.



Obr. 2: Původní stav – pohled do ozařovacího prostoru manipulačním průzorem (shora)

Na Obr. 2 je vyfocen ozařovací prostor v původním stavu při pohledu shora manipulačním průzorem (viz. Obr. 1), z kterého je zřejmý dopad vlivu ionizujícího záření na původní povrchovou úpravu.

3.1. Pohon výsuvu zdroje

Původní mechanismus výsuvu zdroje byl realizován pomocí mechanického převodu ozubené kolo – ozubený hřeben, kdy byl motor pohonu umístěn v ovladovně a ZIZ byl poháněn pomocí dělené hřídele skrz 800 mm silnou zeď železobetonové zástavby. Hřídel pohonu byla dělena v oblasti vnitřního pohonu, viz. Obr. 1, kde navazovala i na původní mechanickou blokaci v kanálu blokovacího mechanismu, viz. Obr. 2.

3.2. Mechanická blokace

Funkce blokace výsuvu zdroje je nezbytná pro zamezení vysunutí ZIZ ze skladovací polohy v případě nestíněného průzoru z ozařovny. Tento stav by měl fatální důsledky pro obsluhu ozařovny.

Mechanická blokace původního řešení z devadesátých let spočívala v natočení stínícího elementu do stíněné polohy a provázání s výsuvem zdroje bylo realizováno pomocí tyče blokovacího mechanismu, která byla poháněna stejnou hřídelí jako výsuv ZIZ. Výsuv tyče blokovacího mechanismu byl konstrukčně řešen jako kinematická dvojice ozubené kolo – ozubený hřeben se stejnými parametry jako pohon výsuvu ZIZ. Tyč blokovacího mechanismu včetně převodu byla umístěna v kanálu blokovacího mechanismu viz. Obr. 2.

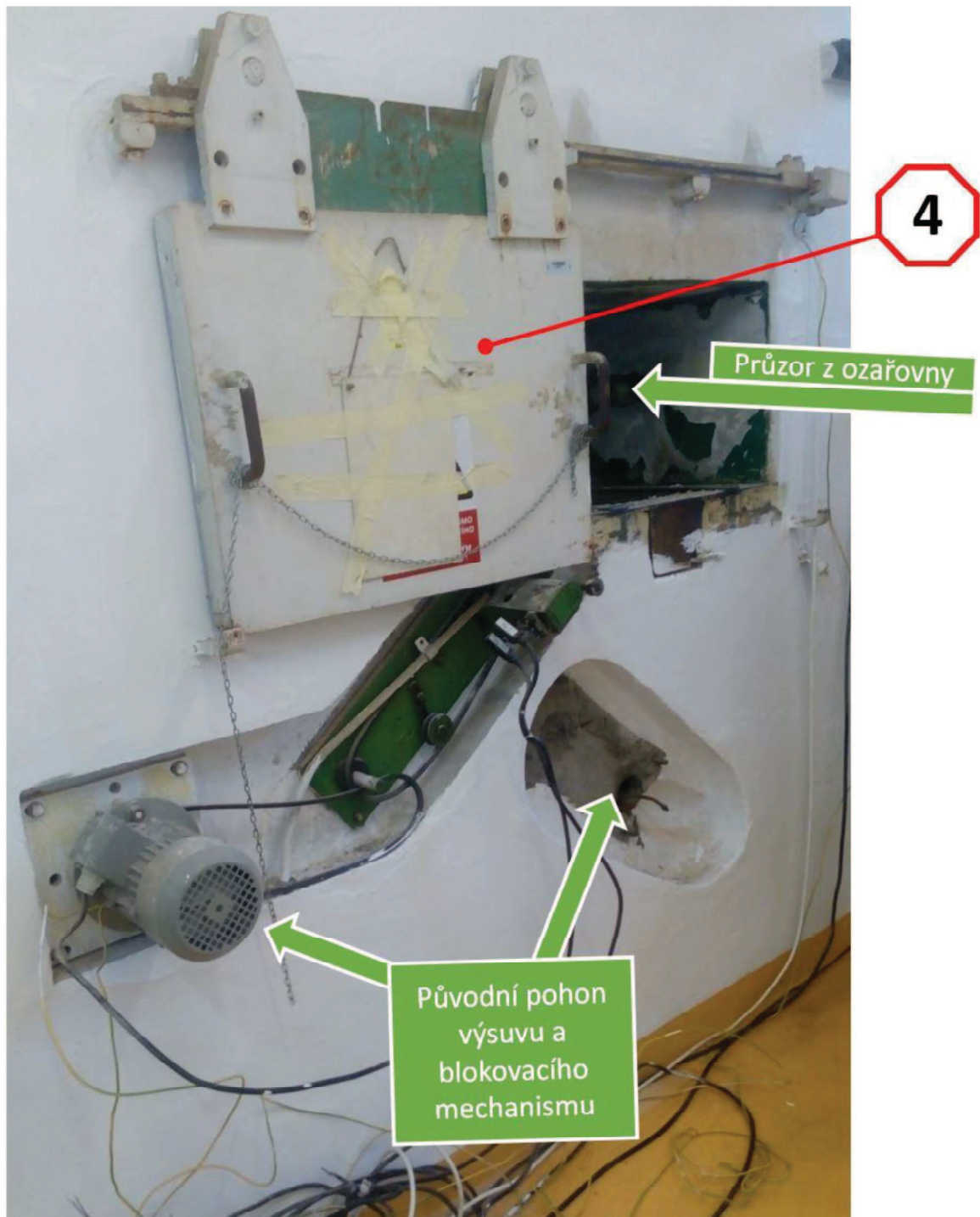
3.3. Stínící element

Stínění průzoru z ozařovny bylo realizováno pomocí masivního olověného bloku ve tvaru půlměsíce. Blok byl natáčen tak aby byl průzor stíněný, respektive nestíněný. Natáčení stínícího půlměsíce bylo realizováno samostatným pohonem. Na spodní hraně stínícího elementu bylo připevněno velké ozubené kolo, které spoluzabíralo se šnekem, viz. Obr. 2, poháněným motorem umístěným v ovladovně, viz. Obr. 3, opět přes zeď železobetonové zástavby.

Provázání stínícího elementu s mechanickou blokací výsuvu ZIZ bylo řešeno dírou ve stínícím elementu, která byla s tyčí blokovacího mechanismu souosá pouze v případě, že byl průzor z ozařovny plně stíněn. V případě nestíněného průzoru by tyč blokovacího mechanismu narazila na stínící element a ZIZ by tudíž nemohl být vysunut ze skladovací polohy.

3.4. Posuvné dveře

Ve výchozím stavu plnily posuvné dveře funkci dostínění a uzavření průzoru do ozařovny. Byly konstrukčně řešené jako závěsné, na kolejnici s tyčovým čtvercovým průřezem, bez spodního vedení viz. Obr. 3. Pohon dveří byl ruční, a kromě koncového spínače s vazbou na pohon výsuvu ZIZ, nebyly nijak mechanicky vázané na pohon a blokovací mechanismus výsuvu ZIZ.



Obr. 3: Původní stav – ovladovna

3.5. Nedostatky původního řešení

Původní řešení blokovacího mechanismu výsuvu ZIZ mělo dva zásadní nedostatky.

Prvním byla uvažovaná situace poruchy nebo servisování blokovacího mechanismu, který byl v kanálu za 800 mm silnou železobetonovou zdí. V takovém případě bylo nutné vybit ozařovnu, respektive zdroj ionizujícího záření pomocí manipulačních tyčí zasunout do přepravního nabíjecího kontejneru a poté v podstatě celé vybavení uvnitř ozařovny rozebrat.

Druhým stěžejním nedostatkem byla nutnost absence stínícího prstence pro uvolnění prostoru pro zařízení modernizované komory. Do průzoru byla umístěna speciální technologie, respektive byl průzor ozařovny doplněn o experimentální box krykomory, který umožňuje ozařované vzorky udržovat v teplotním spektru od mínus 175°C do plus 500°C. Teplotní rozsah společně s ionizujícím zářením umožňuje simulaci podmínek ve vesmíru. Tento fakt je využit ve vývoji elektronických čipů pro použití ve vesmíru, respektive pro výzkum vlivu vesmírných podmínek na elektroniku používanou v tomto odvětví.

Nedostatky původního stínícího elementu vedly k požadavku stínění průzoru z ozařovny olověným blokem pevně spojeným s experimentálním boxem.

Všechny tyto fakty vedly na požadavky pro novou konstrukci blokovacího mechanismu – propojení závislé na zasunutí experimentálního boxu, zavření posuvných dveří a blokovací mechanismus jako součást ovladovny pro snadný servis, respektive seřízení.

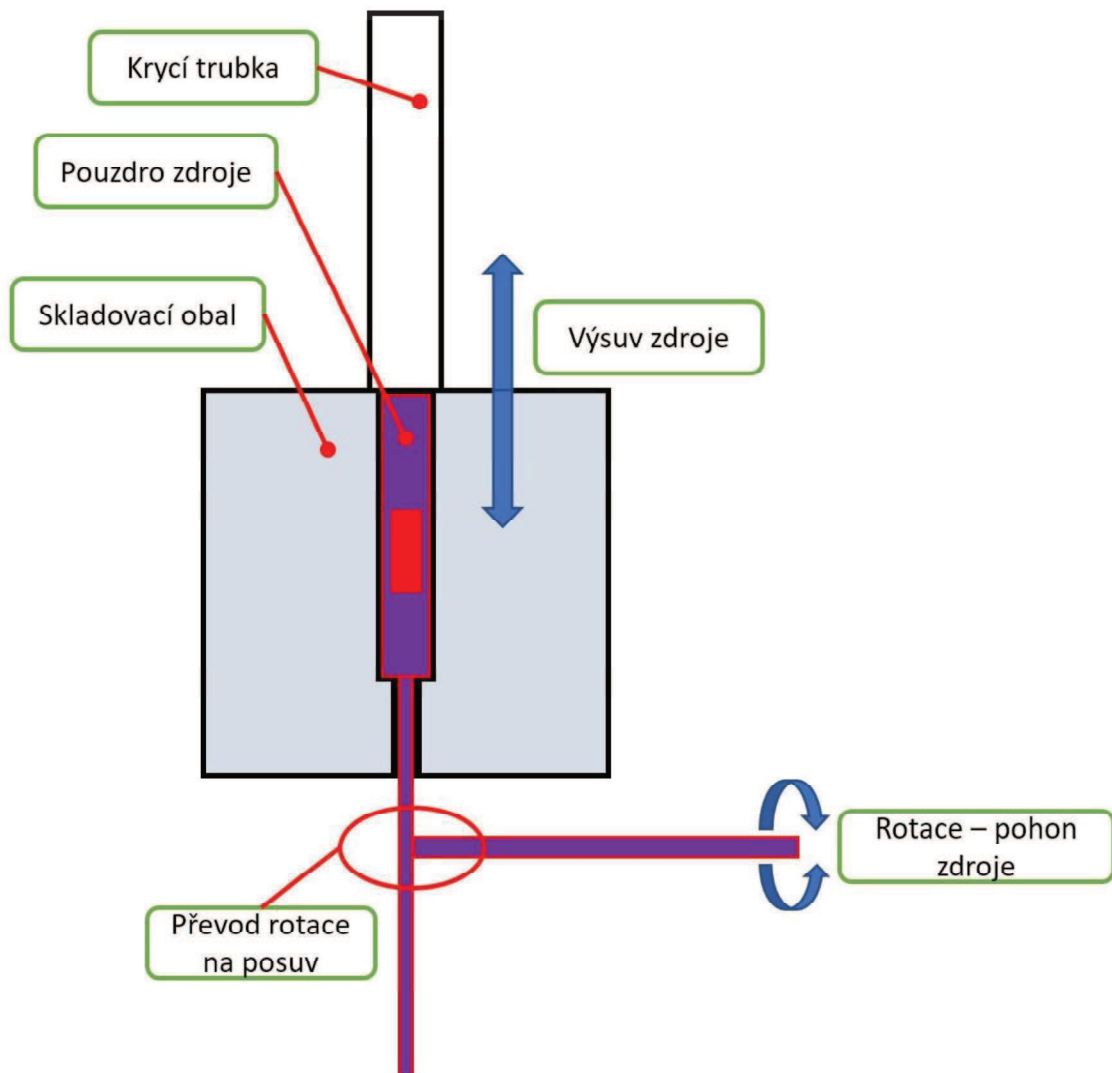
4. Vlastní konstrukční řešení

Vzhledem k požadavkům legislativy, zástavbovým možnostem a specifickým požadavkům zákazníka, které byly v průběhu času doplňovány, byl vypracován pouze jeden konstrukční návrh, který prošel od prvotních dummy modelů řadou modifikací a byl poté vyroben, namontován a předán zákazníkovi.

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé konstrukční uzly, a to jak jejich funkce, tak jejich konstrukční řešení. V případech kde bylo více alternativních řešení bude vždy popsáno, proč zákazník vybral danou variantu.

4.1. Vybavení ozařovny

Vybavením ozařovny jsou prvky montované do ozařovacího prostoru, respektive pod něj – oblast 1 a 2 viz. Obr. 1.

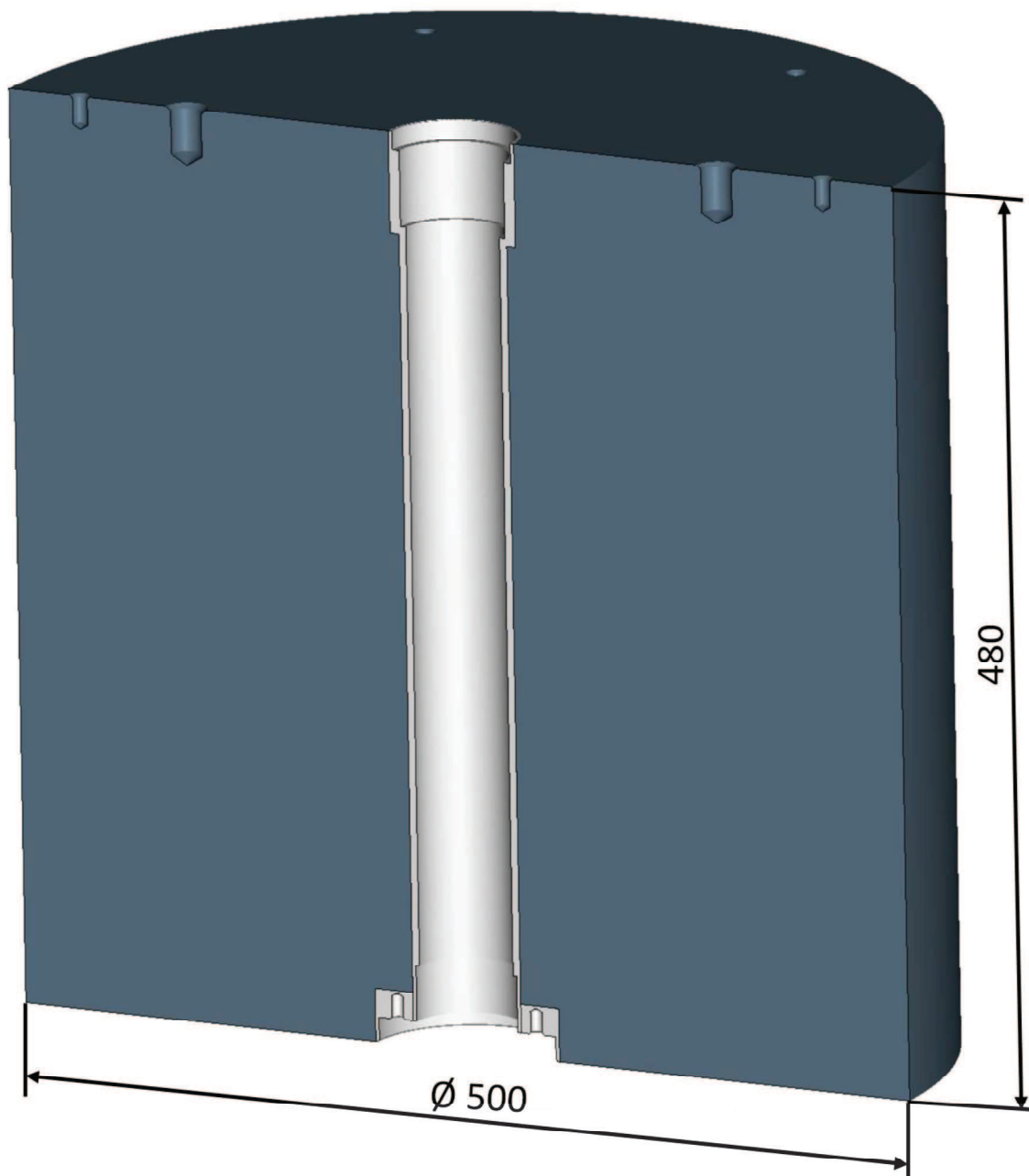


Obr. 4: Schéma – jednotlivé části vybavení ozařovny

Součástí tohoto konstrukčního celku je skladovací obal, vnitřní převod převádějící rotační pohyb od motoru na posuvný pohyb výsuvu zdroje, kompletní pouzdro zdroje a krycí trubka viz. Obr. 4. Tyto podsestavy budou dále popsány v následujících podkapitolách.

4.1.1. Skladovací obal

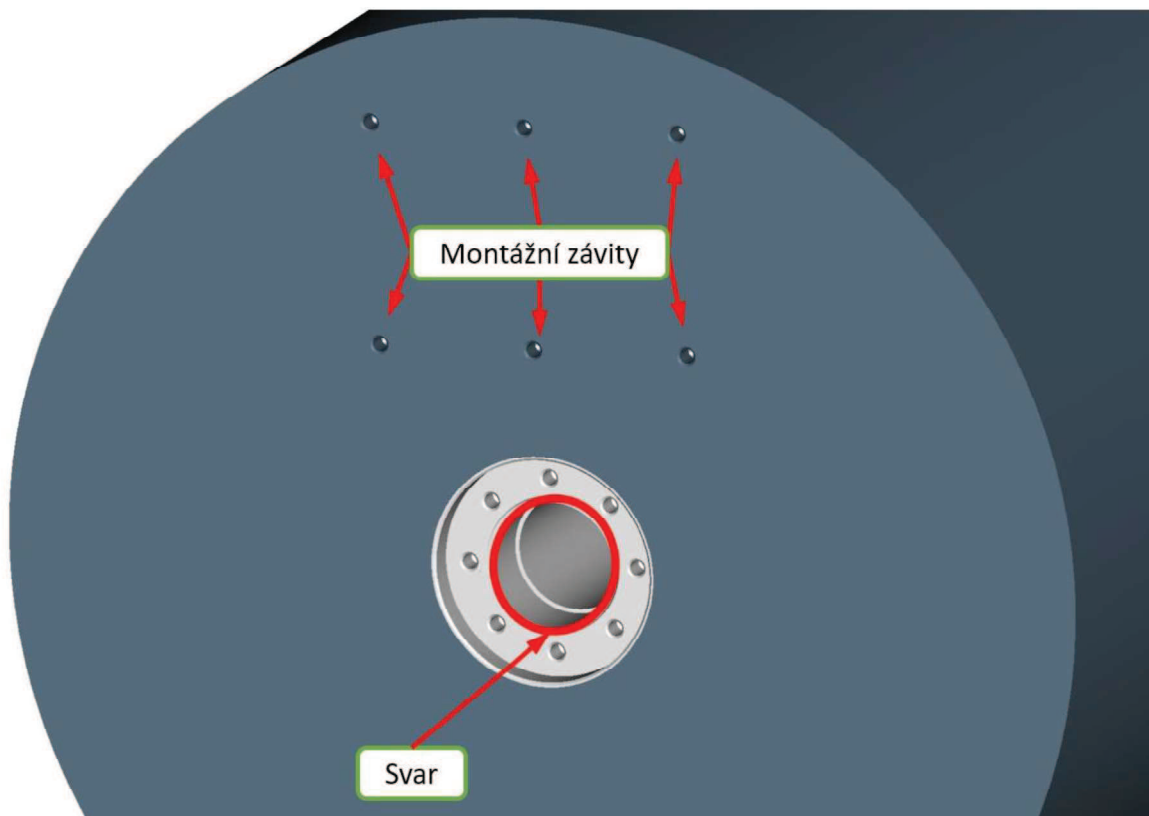
Konstrukčně je řešen jako ocelový válec zalitý olovem s dírou uprostřed pro uložení pouzdra ZIZ. Původní konstrukce a vnější rozměry skladovacího obalu byly zachovány, byl pouze v rámci konstrukčních možností upraven a opatřen novou povrchovou úpravou vnějšího pláště.



Obr. 5: Řez modelem skladovacího obalu

V původním skladovacím obalu byla upravena středová díra na jednotný průměr dle konstrukce nového pouzdra zdroje se zvětšením průměru na spodní straně pro přírubu kotvící vedení tyče s ozubeným hřebenem. Na horní straně je průměr dvakrát zvětšen pro zasunutí krycí trubky a její centrování viz Obr. 5.

Nově vrtanou díru a její soustružené zvětšené průměry, které zasahovaly až do olova bylo nutné znovu zapláštit. Zapláštění bylo, vzhledem k tvaru nové díry konstrukčně vyřešeno dvěma díly. Z horní strany byla vložena vodící trubka soustružená z polotovaru, který vyhovoval jak radiačním výpočtům, tak konstrukčním možnostem, silnostěnné trubky $\varnothing 71 \times 9$ z korozivzdorného materiálu 17 240. Protikusem byla závitová vložka přírubového tvaru z korozivzdorného materiálu 17 240.



Obr. 6: Dolní pohled na model skladovacího obalu

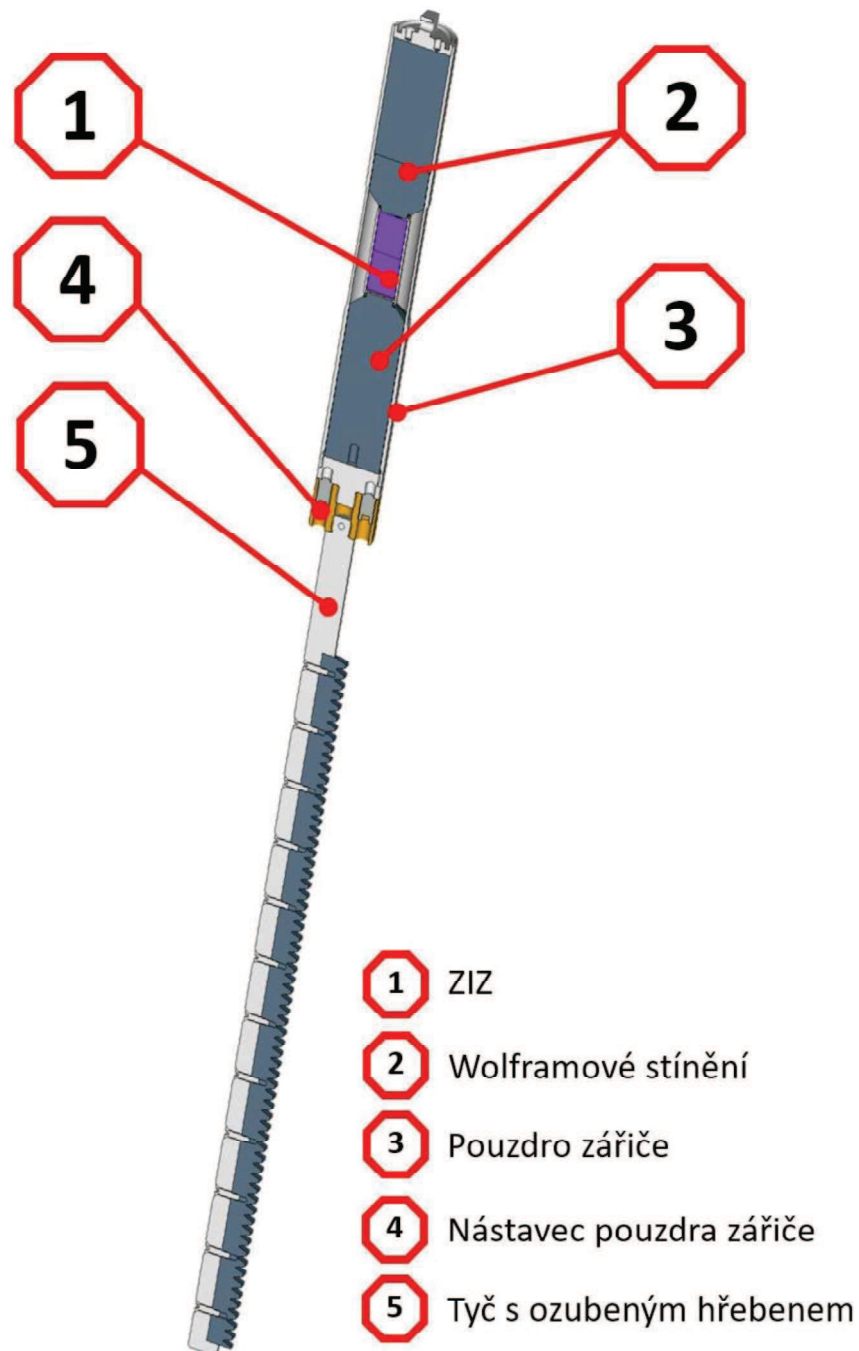
Tyto dva díly byly následně vzájemně svařeny v sestavě. Na čelech skladovacího obalu byly oba díly dále přivařeny bodovými svary k zamezení rotace vodící trubky v těle skladovacího obalu.

Po svaření bylo do závitové vložky vyrobeno 8 závitů M8 po 45 stupních a dalších 6 montážních závitů bylo vyrobeno na spodním čele skladovacího obalu pro montáž vnitřní části pohonu zdroje viz. Obr. 6.

Vzhledem k velkým rozměrům, viz. Obr. 5, a vysoké hmotnosti sestavy skladovacího obalu bylo vše obráběno na horizontální vyvrtávače. Nerezové polotovary byly dodány obrobené na CNC obráběcím centru.

4.1.2. Sestava zářiče

Sestava zářiče sestává z pouzdra ZIZ, jeho nástavce a tyči s ozubeným hřebenem. V pouzdru zářiče jsou umístěny dva ZIZ ^{60}Co o aktivitě 200TBq a wolframové stínění nad a pod zářičem viz. Obr. 7. Hmotnost celé sestavy je 13 kg.



Obr. 7: Model sestavy zářiče – celkový pohled

4.1.2.1. Zdroj ionizujícího záření

Zdroj ionizujícího záření ^{60}Co sestává z pouzdra zdroje speciální konstrukce z korozivzdorného materiálu a pro požadovanou aktivitu 200TBq, dvou zdrojů ^{60}Co .

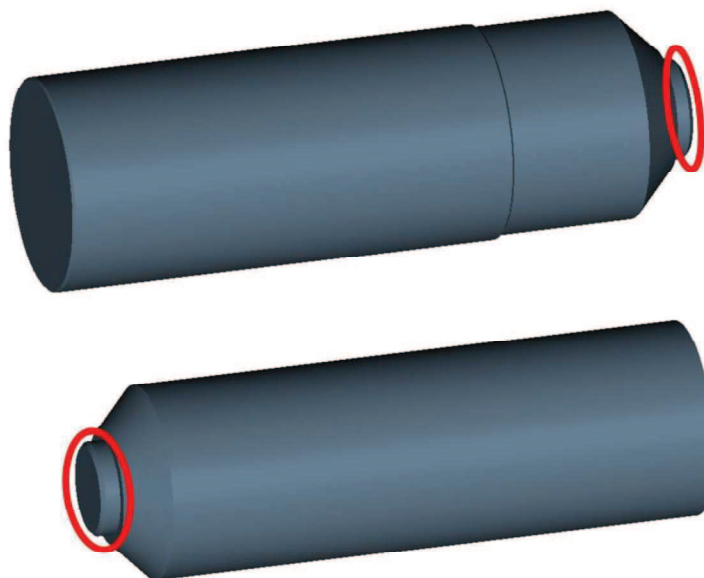
Zdroje ^{60}Co jsou pomocí manipulátorů v horké komoře zadavatele práce umístěny do pouzdra speciální konstrukce a následně zaklopeny víčkem. Pouzdro zdroje je poté po obvodu svařeno metodou TIG s víčkem pomocí manipulátorů a speciálních přípravků.



Obr. 8: Zavařený ZIZ

4.1.2.2. Wolframové stínění

Vzhledem k charakteru šíření ionizujícího záření a umístění sestavy zářiče ve skladovacím obalu je nutné samozřejmě stínit i prostor nad i pod ZIZ. Pro tento účel byly vyrobeny stínící bloky válcového průřezu. Rozměry a materiál stínících bloků byly definovány v rámci radiačního výpočtu zástavby ozařovny a ovladovny. Polotovary pro stínící bloky byly vyrobeny jako pseudoslitin v rámci produktové linie zadavatele.

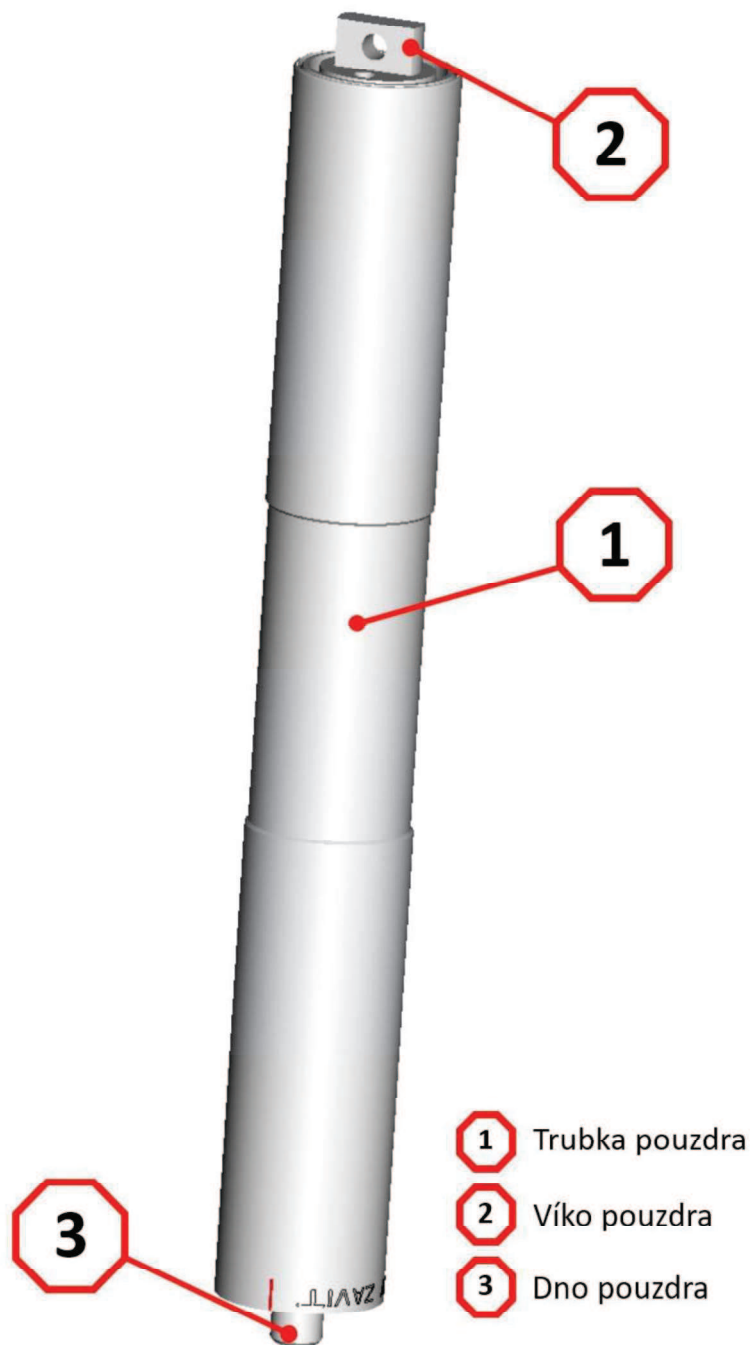


Obr. 9: Wolframové stínění

Kromě stínící funkce plní wolframové stínící elementy funkci středění ZIZ v pouzdru zářiče viz. Obr. 7. Na Obr. 9 jsou vyobrazeny modely wolframového stínění (nahore stínění nad ZIZ, dole stínění pod ZIZ) a jsou zde dále zvýrazněny středící průměry.

4.1.2.3. Pouzdro zářiče

Pouzdro zářiče plní funkci nositele ZIZ a jeho wolframových stínících bloků a je s ním jako s celkem manipulováno při nabíjení, respektive vybíjení ozařovny.



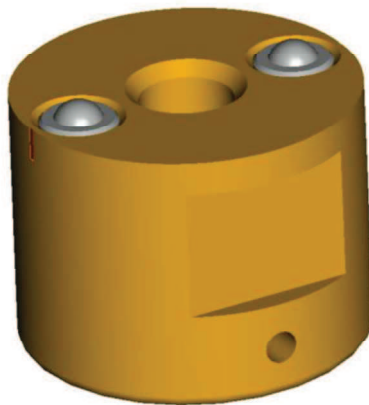
Obr. 10: Model pouzdra zářiče

Pouzdro zářiče sestává z trubky pouzdra, víka pouzdra a dna pouzdra viz. Obr. 10. Všechny tři díly jsou vyrobeny z korozivzdorného materiálu 17 240. Polotovarem pro trubku pouzdra byla silnostěnná trubka 56x15,5 o délce 500 mm. Pro tvary a rozměry bylo vycházeno z radiačních výpočtů.

Víko pouzdra je k trubce pouzdra vařené po vložení horního wolframového stínícího elementu viz. Obr. 9. Dno pouzdra je po vložení ZIZ viz. Obr. 8 a spodního wolframového stínícího elementu zašroubováno do trubky pouzdra. Vkládání ZIZ, vkládání stínícího elementu a šroubování dna pouzdra je realizováno pomocí manipulátorů v horké komoře. Závit k sešroubování dna pouzdra a trubky pouzdra, M16, je s levým stoupáním a není nijak mechanicky pojištěn, aby bylo možné při budoucí výměně ZIZ sestavu opět demontovat pomocí manipulátorů v horké komoře. Levé stoupání závitu má své opodstatnění při montáži celku pouzdra zářiče k nástavci pouzdra s tyčí s ozubeným hřebenem, kde je toto spojení realizováno rovněž závitem, ale pravým. Není poté tedy možné, aby při sestavování těchto celků došlo k povolení dna pouzdra trubky, což by mělo fatální důsledky na funkci sestavy.

4.1.2.4. Nástavec pouzdra zářiče

Nástavec pouzdra zářiče je spojovacím prvkem mezi pouzdrem zářiče a tyčí s ozubeným hřebenem. Na spodní straně kromě toho plní funkci dorazu, respektive vymezení skladovací polohy ve skladovacím obalu.

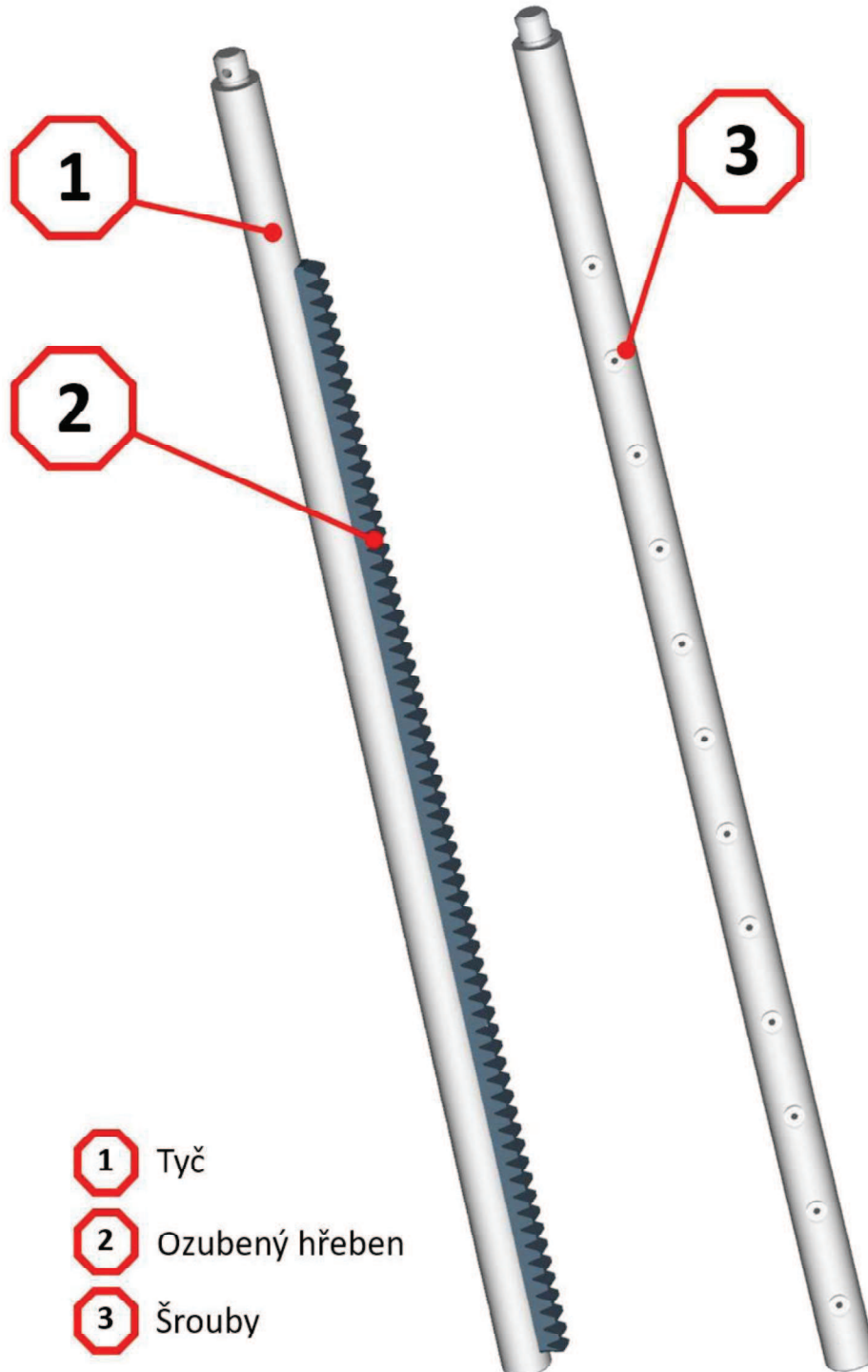


Obr. 11: Model nástavce pouzdra zářiče

Jedná se o mosazný válec se středovou průchozí dírou se závitem velikosti M16 pro montáž tyče s ozubeným hřebenem a pouzdrem zářiče. Dále jsou součástí nástavce pouzdra zářiče dva šrouby M12 s kuličkou jako pojištění proti samovolnému povolení pouzdra zářiče viz. Obr. 11. Pro zajištění dané pozice vůči tyči s ozubeným hřebenem jsou tyto dvě části svrtané a skolíkované.

4.1.2.5. Tyč s ozubeným hřebenem

Tyč s ozubeným hřebenem převádí spolu s ozubeným kolem vnitřního převodu rotační pohyb od motoru na posuvný pohyb výsuvu ZIZ.



Obr. 12: Model tyče s ozubeným hřebenem

Konstrukčně je tato podsestava řešena jako ozubený hřeben zasazený do frézované drážky v tyči o průměru 26 mm. Délky tyče a hřebenu konstrukčně vycházejí z požadavků zákazníka na maximální zdvih.

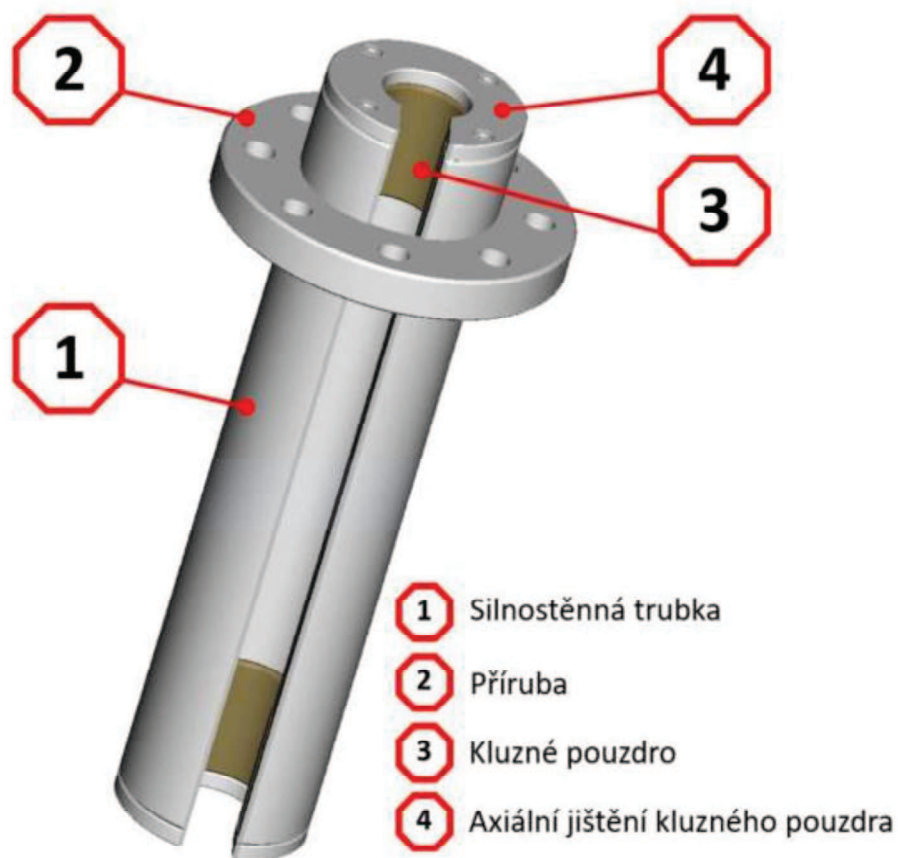
V tyči průměru 26 mm byla frézována drážka pro ozubený hřeben a na jednom jeho konci soustružen pravý závit M16 pro spojení s nástavcem pouzdra zářiče viz. Obr. 11 s kterým je po sestavení kolikován.

Polotovarem pro ozubený hřeben byl nakupovaný ozubený hřeben z korozi vzdorného materiálu s modulem 2 a šířce 20 mm. Ten byl následně zfrézován na 12 mm a zasazen do odpovídající frézované drážky v tyči. Hřeben je v tyči jištěn dvanácti šrouby M5x20 se zapuštěnou hlavou a vnitřním šestihranem viz. Obr. 12.

Další konstrukční variantou tohoto uzlu byla nakupovaná ozubená tyč, kterou nebylo vhodné použít z hlediska osového vedení.

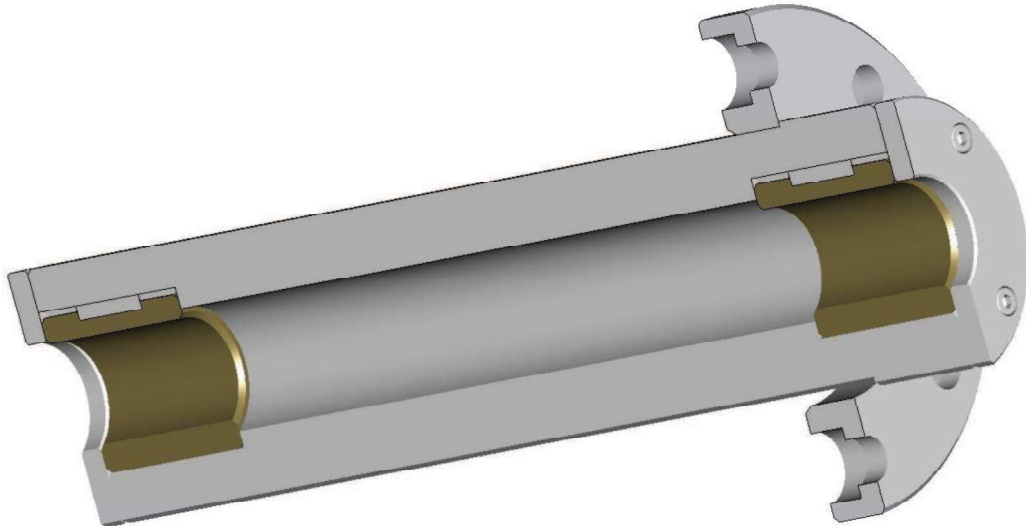
4.1.3. Vedení hřebenu

Vedení hřebenu plní mimo své funkce vyplývající z názvu také funkci vymezení dolní, respektive skladovací polohy ZIZ ve skladovacím obalu. Vedení hřebenu je důležité zejména co se týče správného záběru mezi ozubeným kolem a hřebenem a zajišťuje tedy přímý posuvný pohyb.



Obr. 13: Model vedení hřebenu

Vedení hřebenu se skládá z rozfrézované silnostěnné trubky, příruby pro uchycení ke skladovacímu obalu, kluzných pouzder a jejich axiálních jistění, viz. Obr. 13. Pro zajištění proti pootočení kluzného pouzdra jsou použita těsná pera, viz Obr. 14.



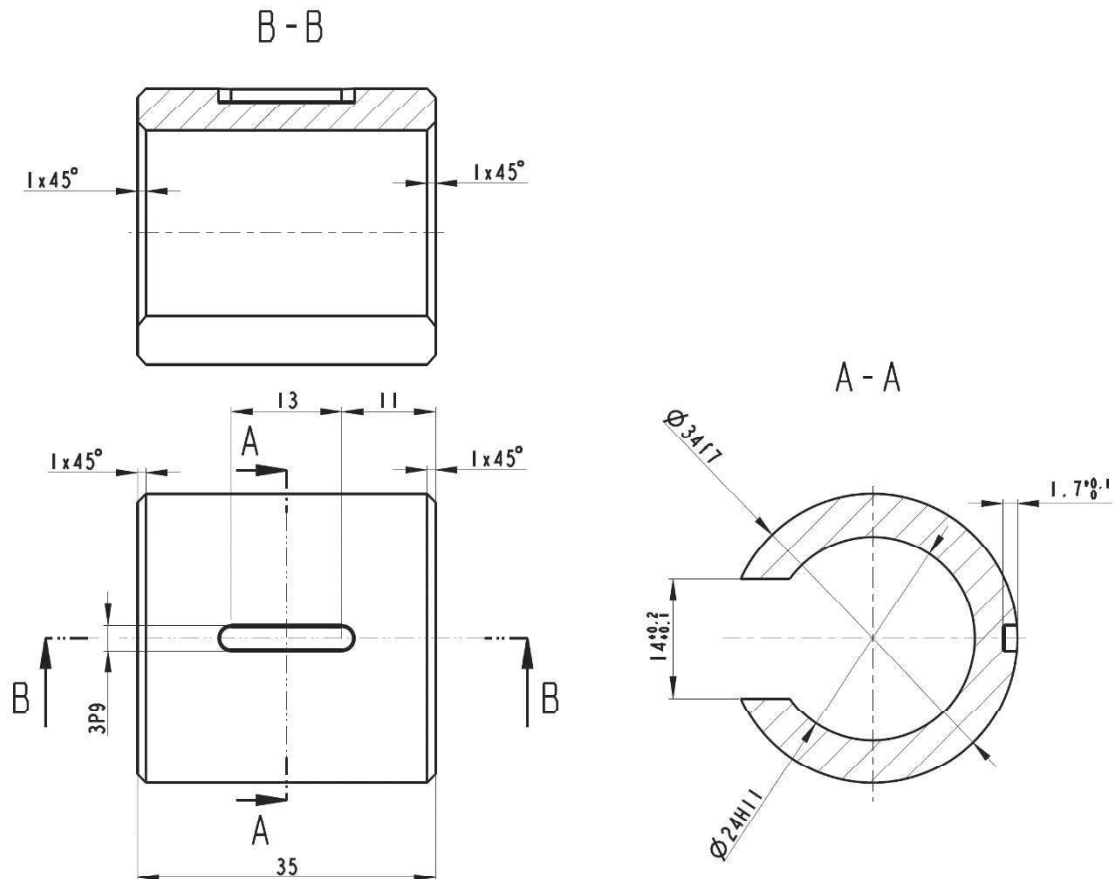
Obr. 14: Model vedení hřebenu v řezu

Příruba je na trubku vedení hřebenu uchycena nerozebíratelně pomocí přerušovaného koutového stranu. K výškovému ustavení příruby na trubku byla použita změna vnějšího průměru trubky, z 56 mm na 54 mm, jako dostatečný zámek. Pro správnou polohu děr pro šrouby příruby vůči drážce vedení hřebenu byl použit ustavovací stůl svářeče.

Kluzná pouzdra jsou vyrobená z materiálu 42 3123. Polotovarem pro jejich výrobu byla kulatina z tohoto materiálu. Pro přiblížení rozměrů kluzných pouzder slouží část výrobního výkresu viz. Obr. 15.

Axiální jistění kluzných pouzder je vyrobeno z 5 mm silného plechu z korozivzdorné oceli 17 240. Jistící prvky jsou k trubce vedení hřebenu přimontovány pomocí čtyř šroubů M3.

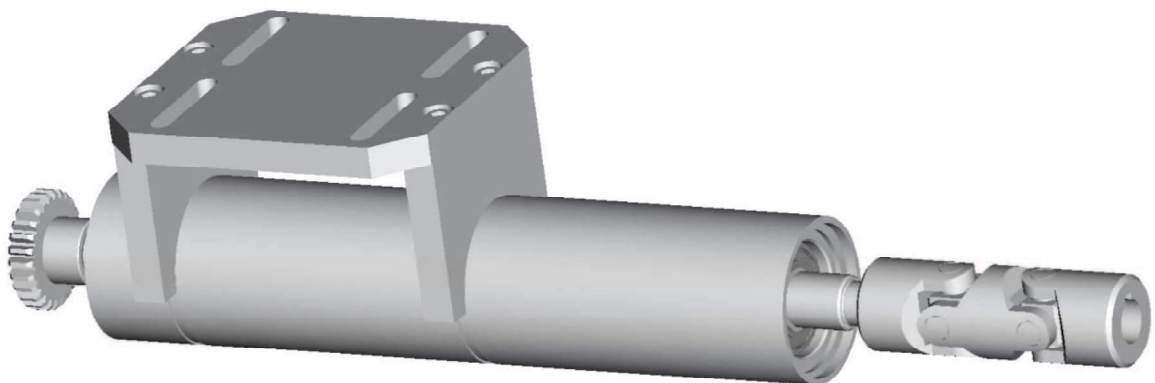
Vzhledem k použitým materiálům není předepsáno žádné mazání třecích ploch, soustava je tedy bezúdržbová. Tento fakt je žádoucí vzhledem k velmi obtížnému, až nemožnému přístupu k soustavě uložené pod ozařovnou v úzkém betonovém kanále.



Obr. 15: Výřez výrobního výkresu kluzného pouzdra

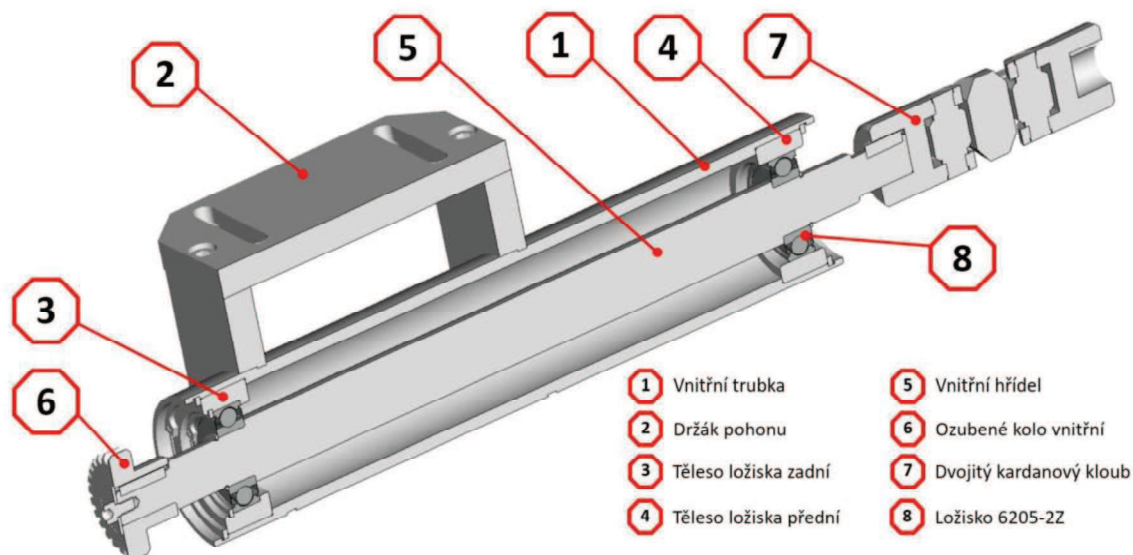
4.1.4. Vnitřní převod

Vnitřní převod je hlavním prvkem převádějícím rotační pohyb pohonu výsuvu zdroje na posuvný pohyb výsuvu sestavy zářiče. Vnitřní převod je umístěn pod ozařovnou v oblasti 2, viz. Obr. 1.



Obr. 16: Model sestavy vnitřního převodu

Sestava vnitřního převodu je montována pomocí čtyř šroubů M8 ke spodnímu čelu skladovacího obalu. Doladění záběru ozubeného kola s ozubeným hřebenem je umožněno posuvem v drážkách na držáku vnitřního pohonu, viz. Obr. 17.



Obr. 17: Řez modelem sestavy vnitřního převodu

Polotovarem vnitřní trubky byla zvolena silnostěnná trubka s vnějším průměrem 76 mm a tloušťkou stěny 12 mm z korozivzdorného materiálu 17 240. Vnější průměr vycházel přímo ze stávající zástavby, kde průchozí díra z prostoru pod ozařovnou do ovladovny (viz. Obr. 1 z poz. 2 do poz. 3) byla +/- 80 mm. V rámci jednotných polotovarů byla zvolena tato silnostěnná trubka pro obě části vedení hřídele pohánějící ZIZ. Tloušťka stěny byla volena s ohledem na možnost uložení ložisek, viz. Obr. 17.

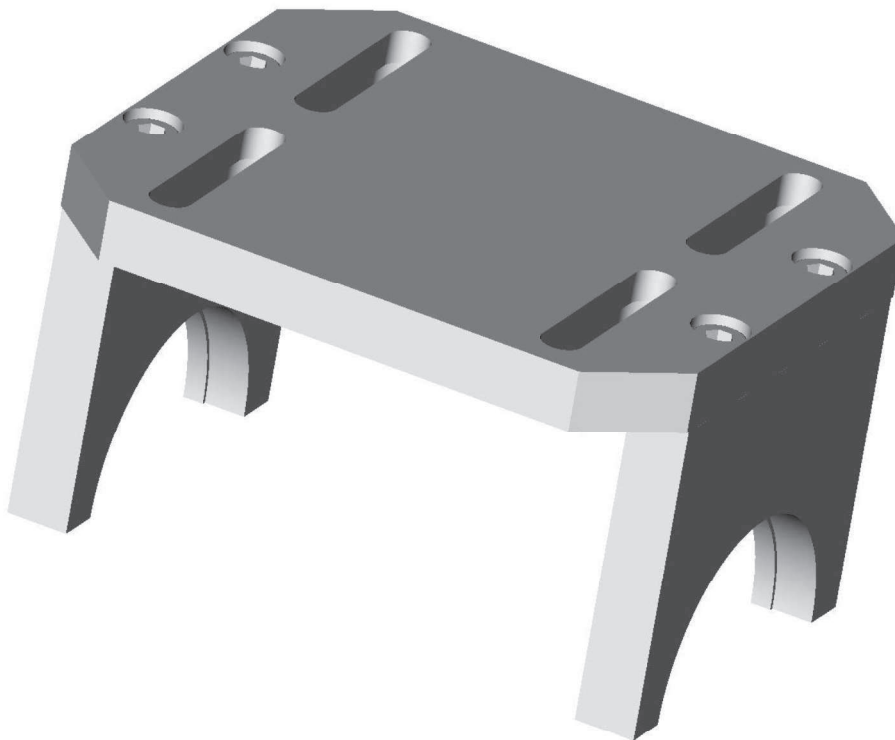
Vnitřní ozubené kolo, ložiska a dvojitý kardanový kloub (viz. Obr. 17) jsou nakupované normalizované díly. Parametry ozubení vycházejí z původní konstrukce viz. kapitola 4.2.5. Ozubené kolo je zajištěno pomocí pera příslušného průměru hřídele. Axiální jistění je řešeno pomocí šroubu M6x10 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a karosářskou podložkou. Šroub je pojištěn středně pevnostním lepidlem Loctite.

4.1.4.1. Držák pohonu

Držák pohonu sestává z tří dílů, z nichž jsou dvě bočnice a kotvící deska. Všechny díly jsou realizovány jako výpalky z materiálu 17 240 s drobným dodatečným opracováním na konvenčních strojích. Dodatečným opracováním jsou

myšleny zapuštění pro šrouby a zámky pro ustavení držáku pohonu při kompletaci s vnitřní trubkou.

Držák trubky je jako sestava šroubovaný a k vnitřní trubce je uchycen pomocí koutových přerušovaných svarů. Přičemž je svářeči díky demontovatelné kotvící desce umožněno držák nastehovat, poté odšroubovat kotvící desku a zavařit bočnice k trubce a poté opět namontovat kotvící desku. Takto řešená kotvící deska také umožňuje určitou modifikaci sestavy v případě potřeby.



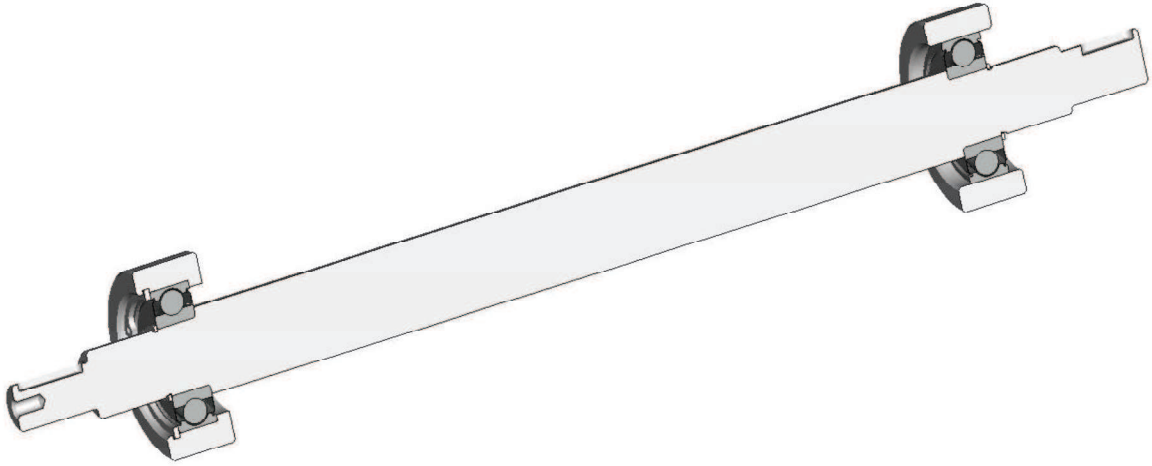
Obr. 18: Držák pohonu

Na Obr. 18 jsou zřejmé zásadní konstrukční prvky sestavy držáku pohonu – drážky pro uchycení ke skladovacímu obalu a nastavení správného záběru ozubeného kola a ozubeného hřebenu, zapuštěné šrouby M8 pro uchycení bočnic a na kruhovém vybrání bočnic zámky pro ustavení na vnitřní trubku.

4.1.4.2. Vnitřní hřídel

Vnitřní hřídel je uložena v ložiscích usazených v ložiskových tělesech (viz. Obr. 19). Ložisková tělesa jsou ve vnitřní trubce zajištěna pojistnými kroužky. Ložiska jsou jištěna za vnitřní kroužek na hřídeli, přičemž v zadním tělese ložiska je zajištěn i vnější kroužek. Ložisko v předním tělese ložiska není jištěno dle obvyklých zvyklostí. Jisticími elementy pro ložiska byly voleny pojistné kroužky příslušné k daným průměrům.

Ložiska byla volena dle rozměrových potřeb a ložisková tělesa byla navržena jako jejich redukce do vnitřní trubky. Vybraná kuličková ložiska 6205-2Z jsou kompletně nerezová krytá nerezovými plechy pro ochranu proti vniknutí nečistot.



Obr. 19: Vnitřní hřídel osazená ložisky v ložiskových tělesech

STATICKÁ ÚNOSNOSTI LOŽISEK

Sekvence pohybů soustavy je dána její funkcí. Po vložení vzorků do ozařovny a uzavření průzoru z ozařovny stínícím elementem je zdroj vysunut do ozařovací polohy, ve které zůstává řádově několik měsíců. Po ukončení cyklu je zdroj zasunut a v průběhu několika dnů opět vysunut, kde zůstává v ozařovací poloze. Pro vysunutí ZIZ ze skladovací do ozařovací polohy jsou vykonány přibližně tři otáčky hřídele velmi pomalou rychlostí. Přičemž hmotnost hřídele včetně ozubeného kola a dvojitého kardanového kloubu nepřekročí 8 kg.

Z výše uvedených faktů vyplývá, že majoritní složkou zatížení ložisek je statické zatížení, a to v zásadě pouze od hmotnosti hřídele.

Základní statickou únosností rozumíme zatížení, které odpovídá vypočítaným stykovým napětím v nejméně zatíženém pásmu styku valivého tělesa a oběžné dráhy ložiska. Toto napětí se obecně rovná hodnotě 4200 MPa pro kuličková ložiska. Jedná se o napětí, které vyvolá trvalou deformaci valivých těles a oběžných drah a činí přibližně 0,0001 násobek průměru valivého elementu.

Pro zvolená ložiska 6205-2Z je dána katalogová hodnota statické únosnosti 7,94 kN. Vzhledem k hmotnosti hřídele a katalogové hodnotě statické únosnosti je možné považovat zvolená ložiska za dostatečně dimenzovaná.

4.1.5. Krycí trubka

Krycí trubka, jak vypovídá název, zakrývá dráhu ZIZ a tím zabraňuje vniku nečistot během manipulace se vzorky v ozařovacím prostoru. Nečistoty v dráze pohybu ZIZ by vedli k částečnému, až úplnému zadření výsuvu ZIZ.

Z hlediska stínících vlastností skladovacího obalu je za přípustnou maximální vůli mezi sestavou zářiče a dráhou ve skladovacím obalu považován 1 mm na průměru. Tato vůle vychází z radiačních výpočtů. Proto je použití krycí trubky považováno za nezbytné.

Krycí trubka plní také funkci vedení sestavy zářiče během pohybu do ozařovací polohy. Tím je zamezeno možnosti vzpříčení ZIZ během vysouvání, respektive zasouvání.



Obr. 20: Řez modelem krycí trubky

Sestava je realizována ze dvou dílů. Prvním je silnostěnná trubka a druhým je k ní přivařené víčko uzavírající dráhu pohybu ZIZ (viz. Obr. 20).

Silnostěnná trubka má specifický tvar vycházející z radiačních výpočtů a požadavků zákazníka. Mezi tyto požadavky patřilo zejména snížení tloušťky stěny v ozařovacím spektru na 2 mm a snadnost demontáže při procesu přebíjení ZIZ.

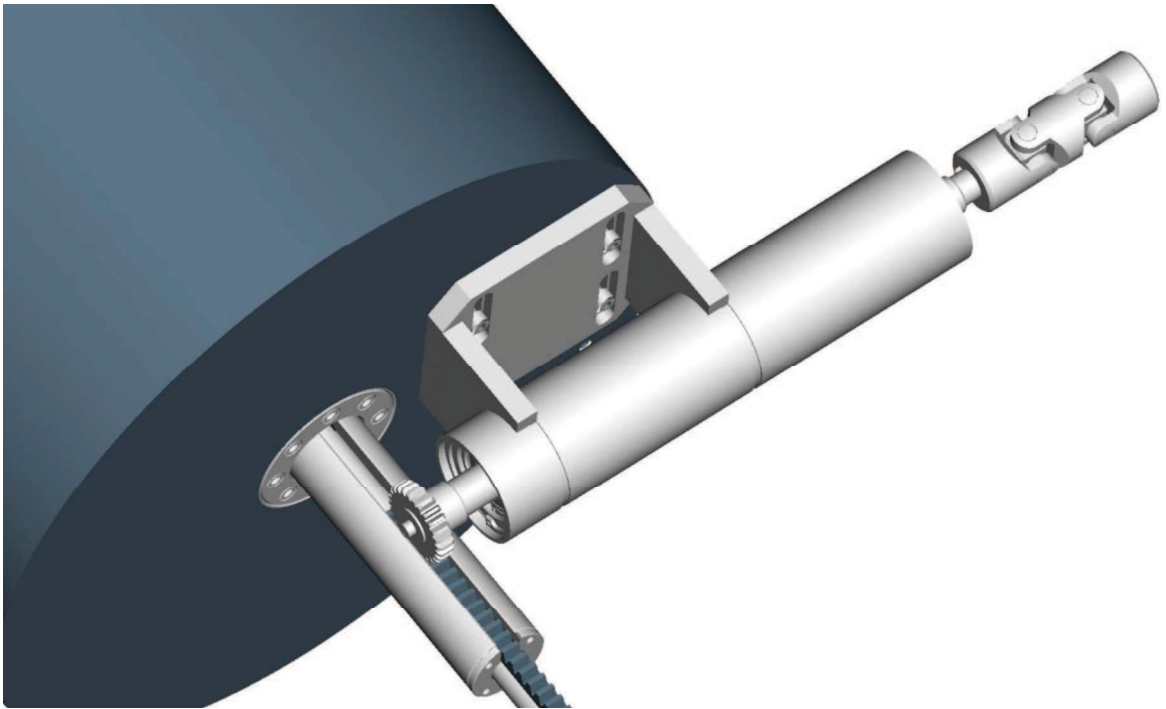
Silnostěnná trubka byla volena pro přesnost výroby zejména ve spodní části, kde je nasazena do odpovídajícího osazení ve skladovacím obalu a lícuje s dírou uvnitř skladovacího obalu. Axiální jistění krycí trubky je realizováno její dostatečnou délkou. Z vrchu je aretována stínícím elementem manipulačního průzoru (viz. Obr. 1). V případě přebíjení, které je realizováno přes manipulační průzor, je tedy po jeho odkrytí možno krycí trubku tahem sejmout a uskutečnit přebíjecí proces.

4.1.6. Celková sestava 3D modelu vybavení ozařovny



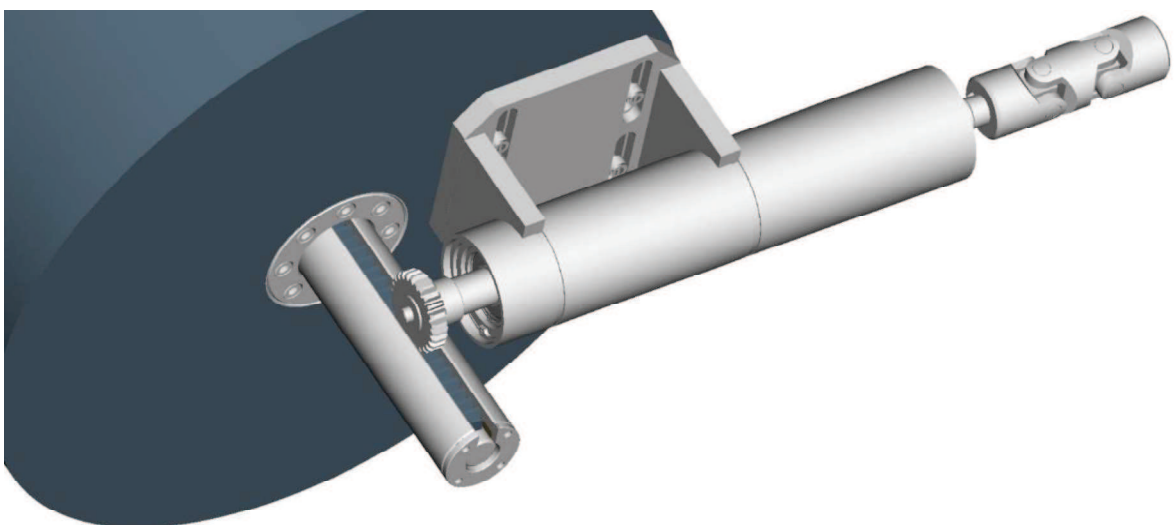
Obr. 21: Sestava vybavení ozařovny – 3D model

Na Obr. 21 je vyobrazena sestava vybavení ozařovny, která byla po jednotlivých konstrukčních celcích popsána v předchozích kapitolách. Celková hmotnost sestavy je 1084 kg, přičemž převážná část této hodnoty připadá samotnému skladovacímu obalu viz. kapitola 4.1.1.



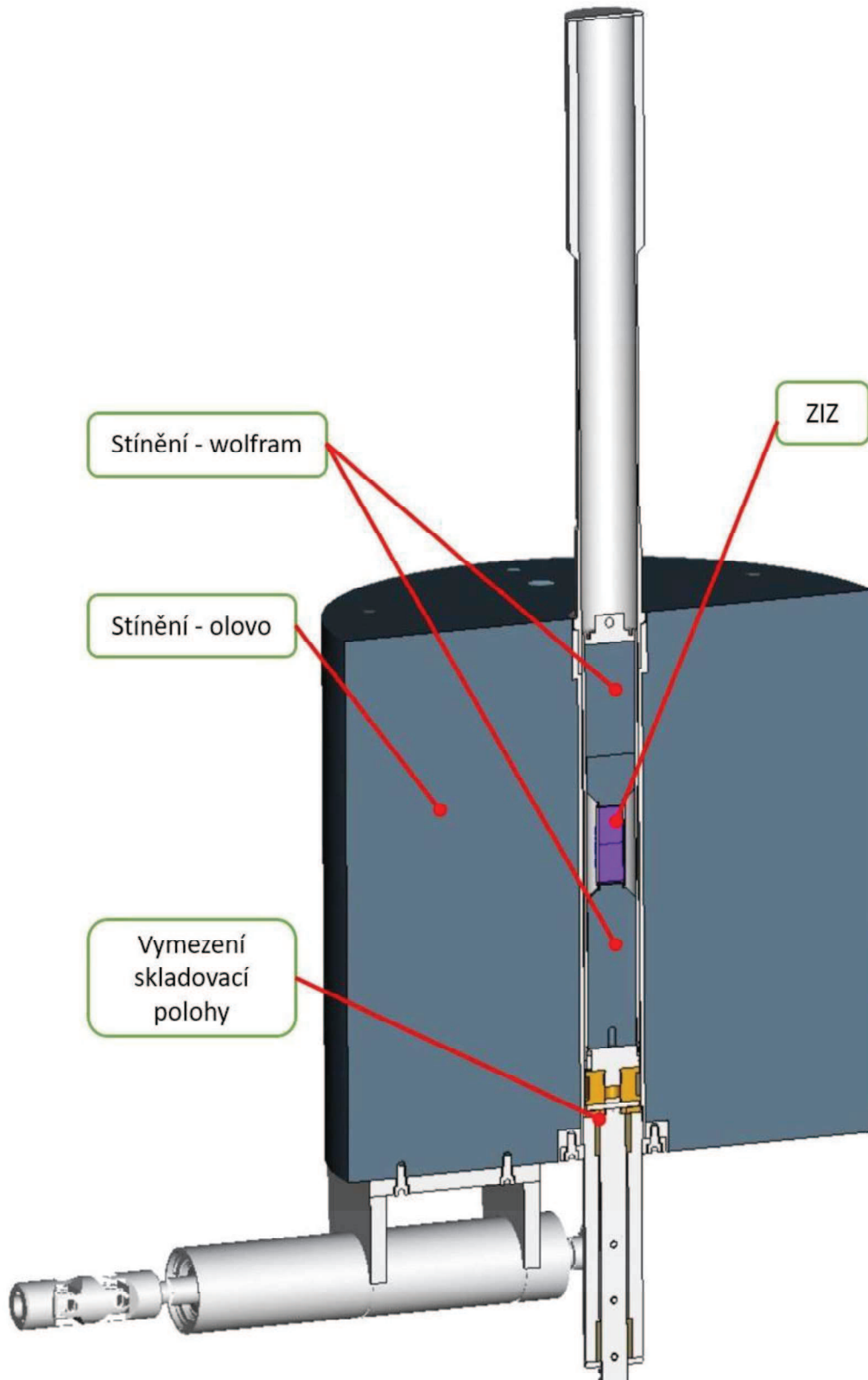
Obr. 22: Detail spodní části skladovacího obalu – skladovací poloha

Z Obr. 22 je patrné uchycení sestavy vedení hřebenu, pomocí příruby, popisované v kapitole 4.1.3. Dále je vyobrazeno uchycení vnitřního převodu, popisovaného v kapitole 4.1.4, na spodní část skladovacího obalu s možností nastavení záběru pomocí drážek pro šroubové spojení.



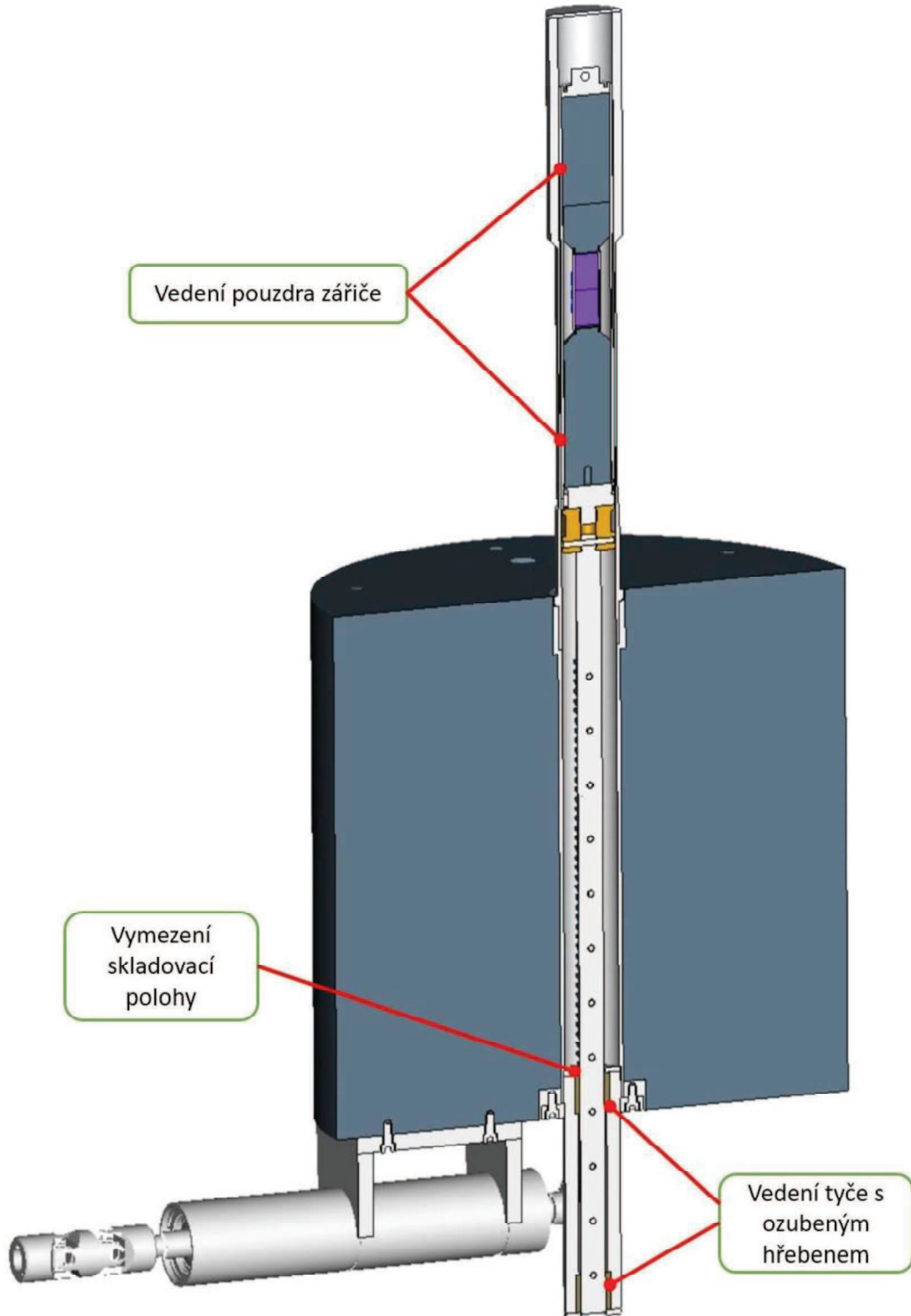
Obr. 23: Detail spodní části skladovacího obalu – ozařovací poloha

Správná funkce sestavy vedení hřebenu, viz. kapitola 4.1.3, je zajištěna pouze pokud je tyč nosící ozubený hřeben (viz. Obr. 12) stále vedena v kluzných pouzdrech (viz. Obr. 14). Z Obr. 23 je patrné, že je tato podmínka splněna.



Obr. 24: Řez sestavou vybavení ozařovny – skladovací poloha

V řezu sestavy vybavení ozařovny (Obr. 24) je patrná funkce vedení hřebenu (viz. kapitola 4.1.3) pro vymezení skladovací polohy, kdy je sestava zářiče v této poloze ustavena na jeho horní plochu. Pro ujasnění je zde také uvedeno rozložení materiálů pro stínění ionizujícího záření a umístění ZIZ.

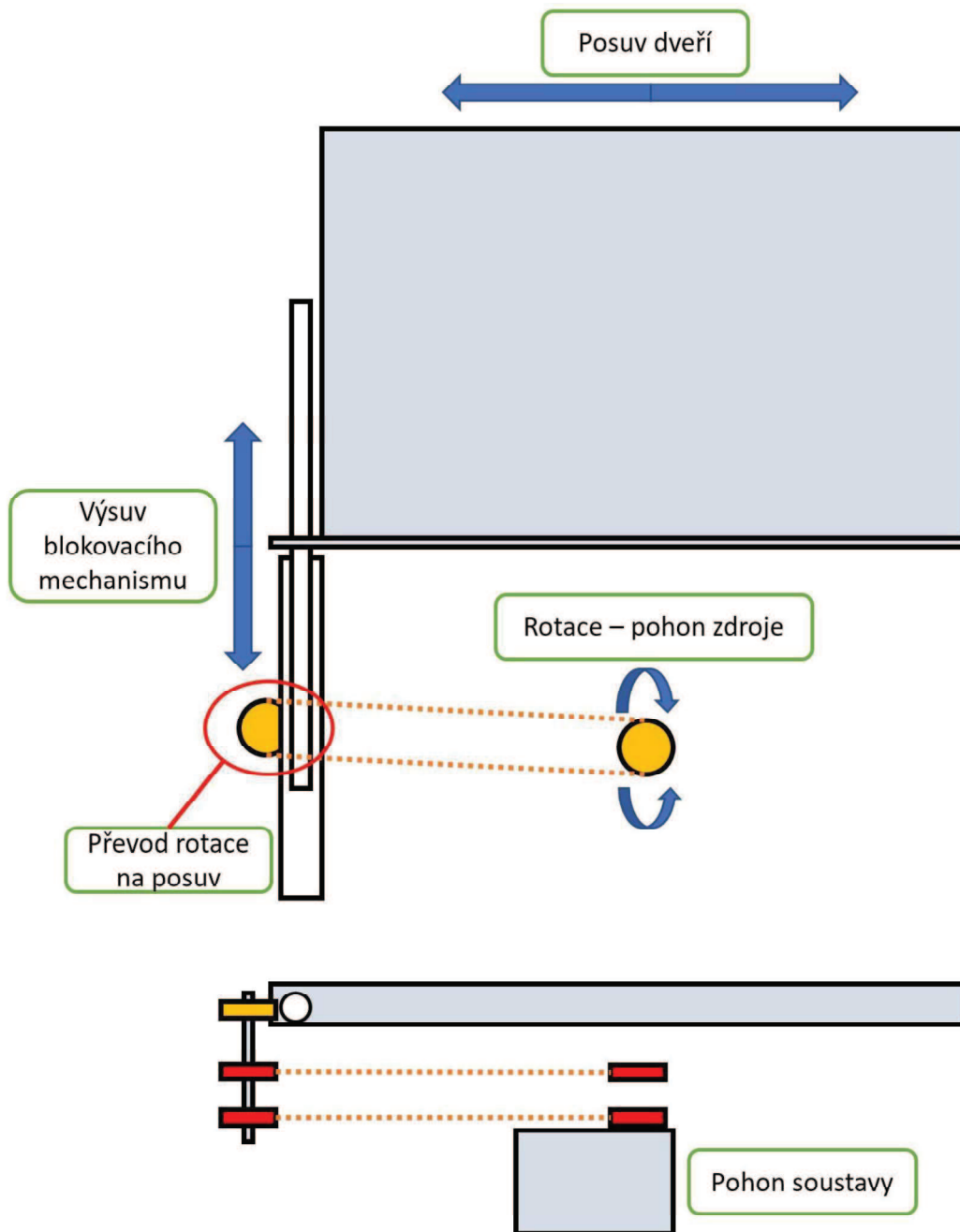


Obr. 25: Řez sestavou vybavení ozařovny – ozařovací poloha

Během výsuvu ZIZ ze skladovací polohy je tyč s ozubeným hřebenem vedena kluznými pouzdry sestavy vedení hřebenu (viz. kapitola 4.1.3). Toto vedení je podpořeno vedením pouzdra zářiče s vůlí 1 mm na průměru v krycí trubce (viz. kapitola 4.1.5). Elementy, respektive plochy vedoucí sestavu zářiče (Obr. 7) jsou vyznačeny na Obr. 25.

4.2. Pohon výsuvu zdroje včetně mechanické blokace

Prvky pro pohon výsuvu zdroje včetně mechanické blokace jsou montované do prostoru ovladovny pod průzor z ozařovny – oblast 3 viz. Obr. 1.



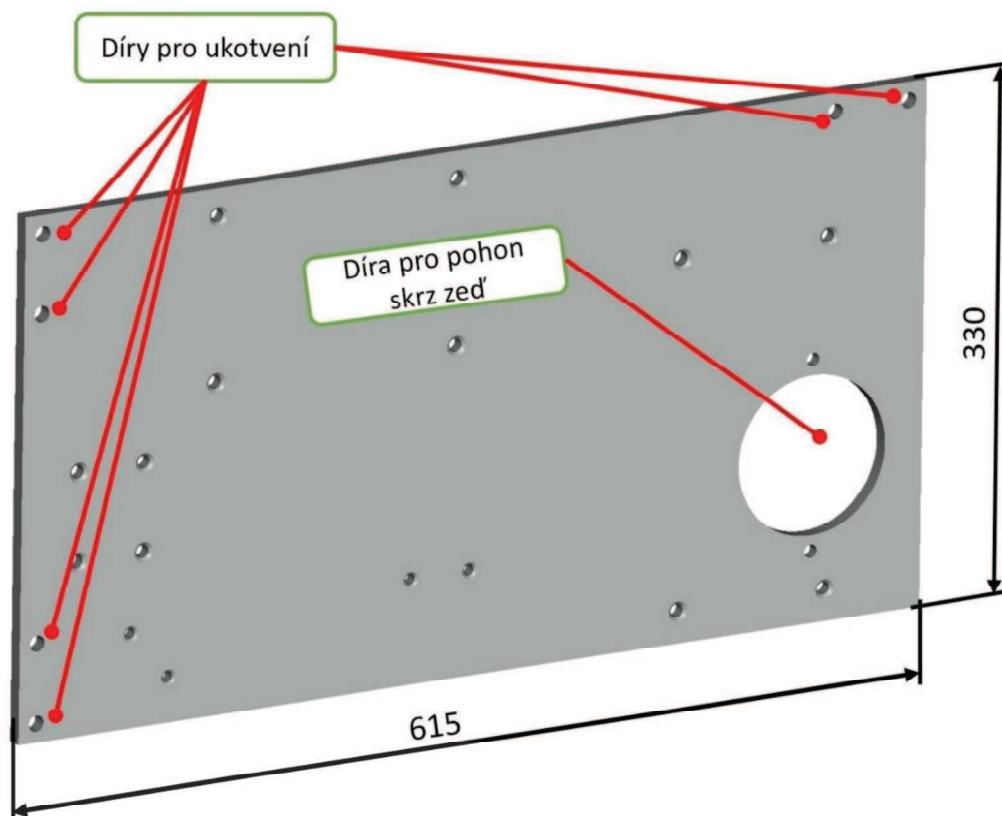
Obr. 26: Kinematické schéma vybavení ovladovny (nárys a půdorys)

Součástí tohoto konstrukčního uzlu je pohon výsuvu ZIZ spřažený s prvky blokovacího mechanismu, hřídel s uložením vedoucí skrz železobetonovou zástavbu pod ozařovnu, pohonná jednotka, montážní deska udávající montážní rovinu, koncové spínače včetně jejich nosné konstrukce. Částečně do jmenovaného konstrukčního uzlu zapadají i posuvné dveře uzavírající průzor z ovladovny. Posuvné dveře však budou v této kapitole zmíněny pouze okrajově a bude jim věnována samostatná kapitola.

Kinematické schéma pohybů, které vykonává vybavení ovladovny je vyobrazeno na Obr. 26. Pohyby spočívají ve spřažení pohonu výsuvu ZIZ s mechanickou blokadí daného výsuvu pomocí dvojitého řetězového převodu v kombinaci s převodem rotačního pohybu na posuvný pomocí dvojice pastorek – ozubený hřeben. Tento převod je obdobný převodu v kapitole 4.1.

4.2.1. Montážní rovina

Vzhledem k faktu, že osa díry procházející železobetonovou zástavbou z ovladovny pod ozařovací prostor není, v původní zástavbě z důvodu stínění zbytkového záření, kolmá na čelní zeď ovladovny bylo nutné pro velkou část vybavení ozařovny volit jednotnou montážní rovinu.



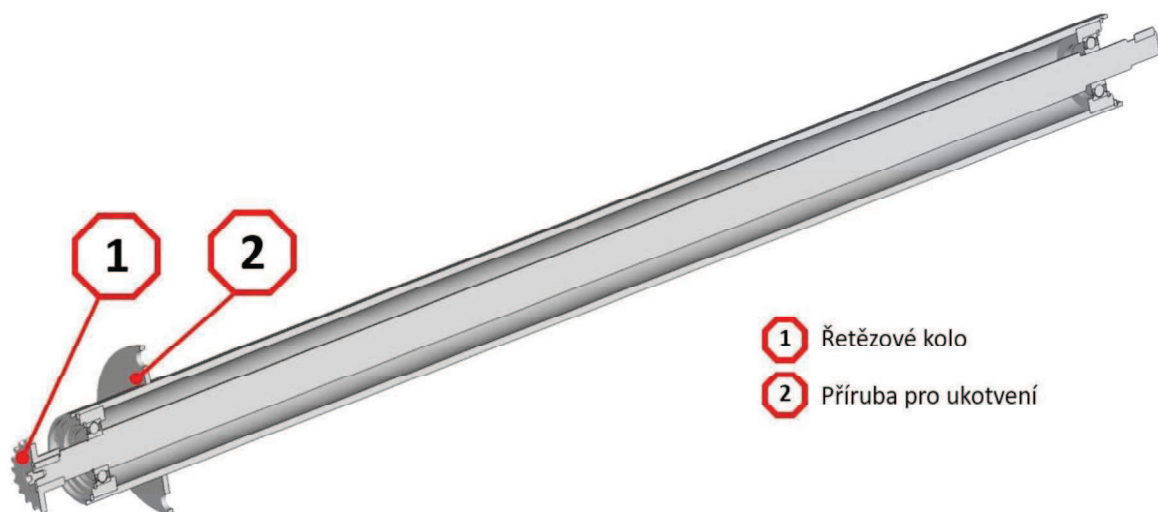
Obr. 27: Montážní rovina

Z rozměrových potřeb zástavby a vybavení ozařovny byly určeny potřebné vnější rozměry, 615x330 mm, ocelové desky o tloušťce 10 mm. Deska je vyrobena z korozivzdorné oceli 17 240 pálením pomocí laseru, a to včetně montážních otvorů spolu s dírami pro závit.

Díl je na zeď kotven pomocí šesti šroubů velikosti M8 uchycených pomocí chemické kotvy, běžně používaných zadavatelem při montáži dalších produktových linií. Pomocí závitů je deska ukotvená na zdi, úhlově stavitelná tak, aby byla kolmá na díru vedoucí napříč zástavbou. Kolmost uváděných rovin je důležitá pro správnou funkci pohonu, který bude zmíněn v následujících kapitolách

4.2.2. Pohon skrz zeď

Sestava nesoucí název pohon skrz zeď, je druhou polovinou hnací hřídele pro výsuv zdroje. První polovina byla popsána v kapitole 4.1.4. Rozdělení hřídele na dvě poloviny vychází z rozměrových možností stávající zástavby a smontovatelnosti celku.



Obr. 28: Řez 3D modelem pohonu skrz zeď

Konstrukční řešení, rozměry polotovarů, hotových obrobků, ložisek, pojistných kroužků a per jsou totožné se sestavou vnitřního převodu viz. kapitola 4.1.4.

Rozdíl je pouze v délce, v osazení řetězovým kolem namísto ozubeného a přítomností příruby pro ukotvení trubky k montážní rovině. Ukotvení zajišťuje kolmost montážní desky a pohonu výsuvu ZIZ a dále zajišťuje ustavení pohonu ve zdi. Ustavení ve zdi je nutné z důvodu volby trubky s řádově několika milimetrovou vůlí pro montáž do nepřesné železobetonové díry ve stávající zástavbě.

4.2.3. Pohonná jednotka

Pro pohon soustavy byla volena komplexní jednotka, která je běžně používána pro pohon posuvných vjezdových bran. Toto řešení zadavatel práce používá standardně pro řešení pohonů u obdobných prototypových projektů. Je tak elegantně vyřešena možnost vyřazení pohonu ze záběru a tím umožněno ruční ovládání v případě havarijního stavu. Například při výpadku proudu, kdy musí být experiment neprodleně ukončen, respektive zdroj musí být možno uvést do skladovací polohy.



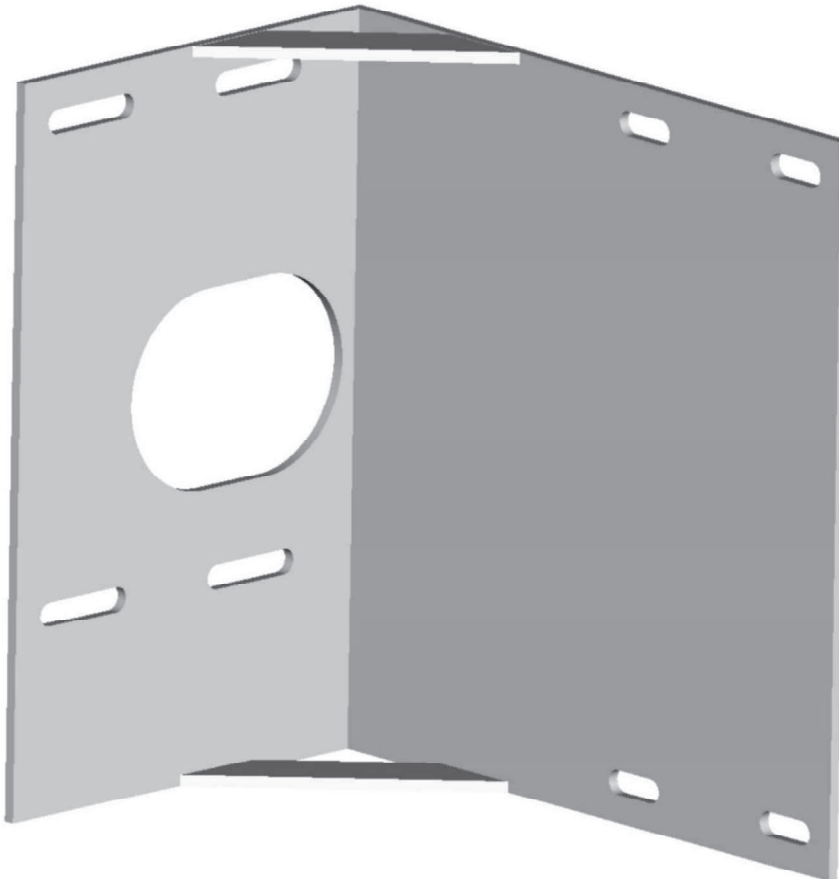
Obr. 29: Pohonná jednotka s držákem

Vzhledem k hmotnosti poháněných elementů 18,5 kg, byl zvolen pohon nejnižší produktové linie s tažnou silou 400 N, konkrétně pohon Marantec Comfort 860. Motor s převodovkou a řídicí jednotkou je uložen v obalu z nerezové oceli.

Pohonná jednotka je z rozměrových důvodů uložena proti obvyklým zvyklostem (viz. Obr. 29) o 90°, avšak tato montážní poloha nevykazuje žádné problémy na funkčnost pohonu. Jednotka je k držáku pohonu připevněna pomocí čtyř šroubů velikosti M8 s možností ustavení do polohy pomocí drážek. Ustavení je důležité pro souosost řetězového převodu.

4.2.3.1. Držák pohonu

Držák pohonu je vyroben jako svařenec z výpalků nerezového plechu tloušťky 5 mm. Uchycení držáku pohonu na montážní desku je řešeno pomocí 4 šroubů M8 s možností ustavení v drážkách, kterými je umožněno dopnutí primárního řetězu, respektive řetězu z motoru na spřažený převod.

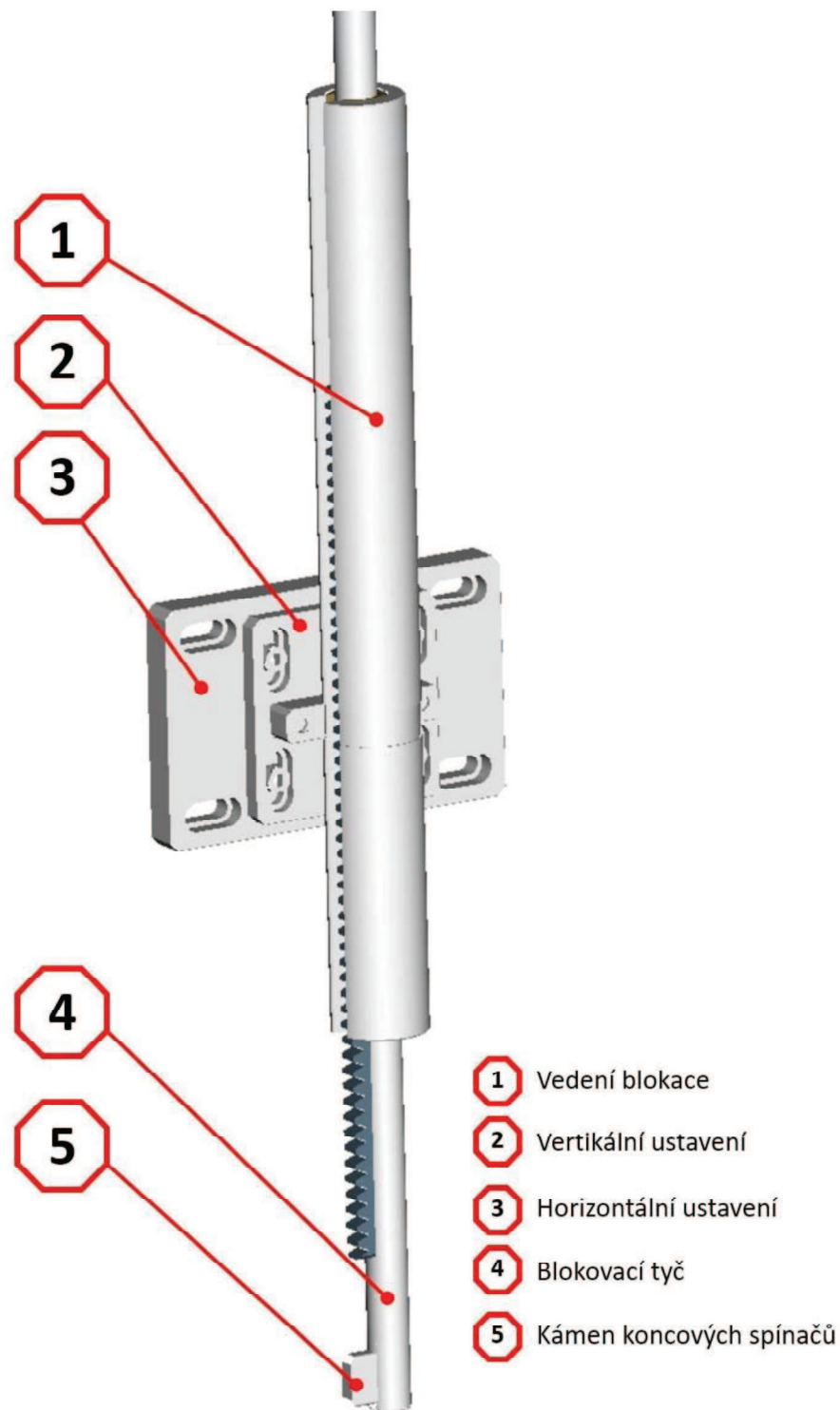


Obr. 30: Držák pohonu

Největší drážkou je umožněno dopínání primárního řetězu nezávisle na trubce pohonu skrz zeď, viz. kapitola 4.2.2, která touto dírou prochází.

4.2.4. Blokovací mechanismus

Blokovacím elementem výsuvu zdroje je konstrukční uzel obdobný dvojici vedení hřebenu (kapitola 4.1.3) a tyči s ozubeným hřebenem (kapitola 4.1.2.5). Tyto prvky v sestavě blokovacího mechanismu dále nazýváme vedení blokace a blokovací tyč. Pro úplnost sestavy blokovacího mechanismu jsou tyto doplněny o montážní prvky k ukotvení na montážní desku. V dolní části blokovací tyče je dále umístěn kámen ovládající koncové spínače, respektive vymežující koncové polohy pohybů. Jednotlivé komponenty jsou v sestavě vyobrazeny na Obr. 31.



Obr. 31: Komponenty blokovacího mechanismu

Vedení blokace a blokovací tyč je, jak bylo zmíněno v předchozím odstavci, totožné konstrukce. Jediným rozdílem je délka komponent. Kámen koncových spínačů je frézovaný z materiálu 17 240, do blokovací tyče je zasazen do odpovídající drážky a uchycen pomocí šroubu M4x16 podléhajícímu normě DIN 912.

Vedení blokace je k přichyceno dvěma šrouby k desce umožňující vertikální ustavení. Tato deska je dále ustavena pomocí čtyř šroubů k desce horizontálního ustavení. Deska umožňující horizontální ustavení je montována na desku udávající montážní rovinu (viz. kapitola 4.2.1) prostřednictvím dalších čtyř šroubů. Všechny výše zmíněné šrouby byly použity ve velikosti M8 pro zjednodušení montáže.

Důležitost možnosti horizontálního a vertikálního ustavení sestavy bude podrobena rozboru v kapitole 4.2.9.



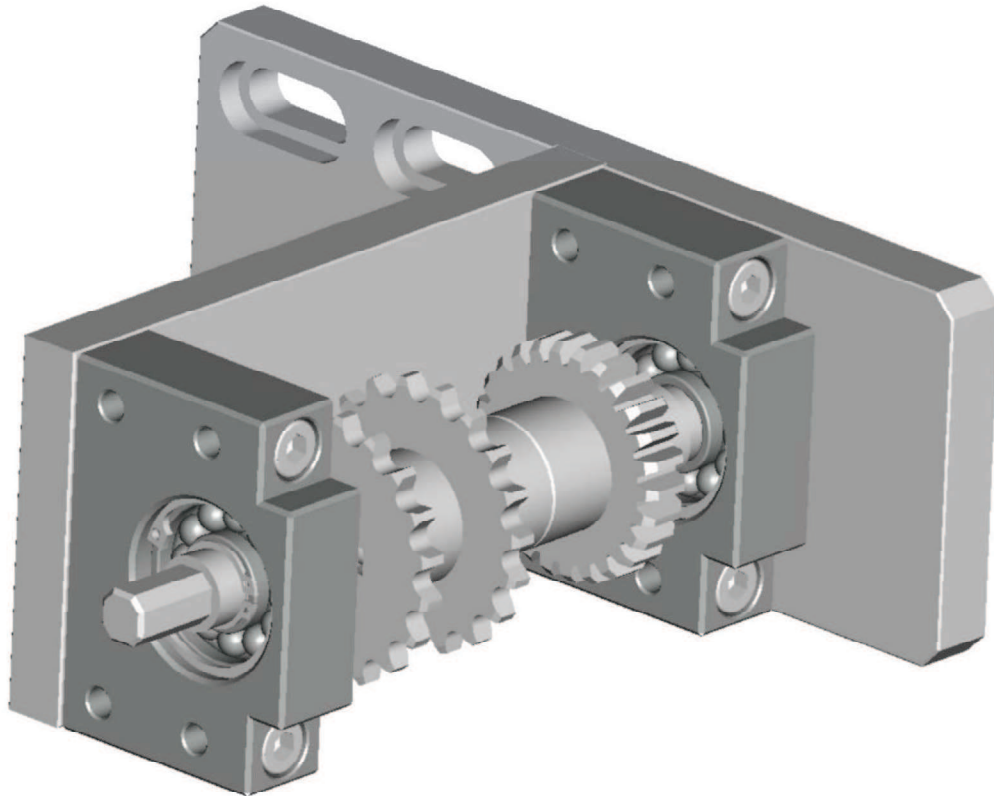
Obr. 32: Detail horní části blokovací tyče

V horní části blokovací tyče je umístěna ryska, která spolu s pravítkem nalepeným na boku posuvných dveří (viz. Obr. 45) udává polohu středu ZIZ v nastíněné poloze. Pro snadnější náběh do protikusu je horní hrana sražena pod úhlem 30°.

4.2.5. Spřažený převod

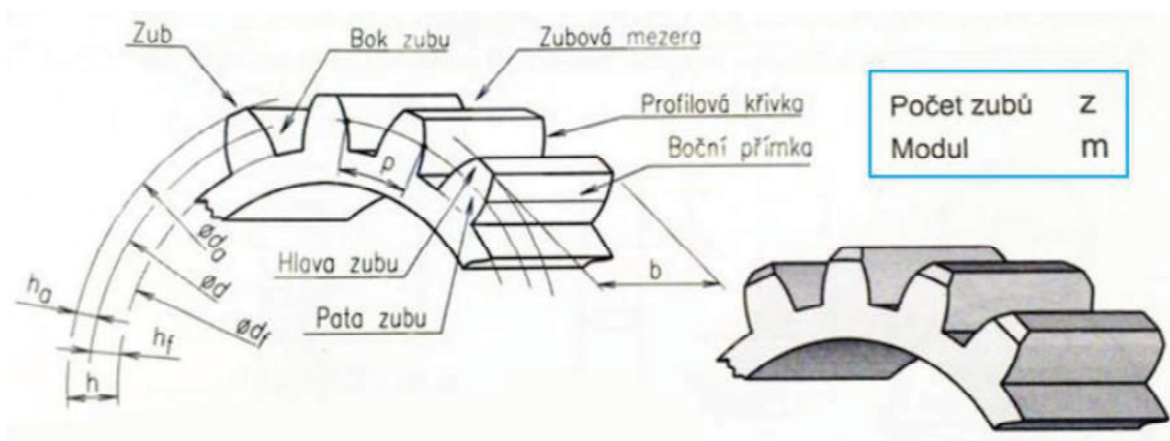
Pomocí spřaženého převodu je propojena pohonná jednotka, mechanická blokace a výsuv ZIZ. Sestava je složena z dvoudílné základny, dvou nakupovaných ložiskových domků, hřídele, dvou řetězových kol a jednoho ozubeného kola. Ve výrobní dokumentaci je sestava označována jako pohon blokovacího mechanismu, ale v praxi jsou používány oba názvy.

Dvojice řetězových kol je využita pro přenos kroutícího momentu z pohonné jednotky na hřídel vedoucí napříč zdí zástavby. Zároveň je stejným momentem poháněna tyč blokovacího mechanismu, kde je převáděn rotační pohyb na posuvný pomocí kombinace ozubeného hřebenu a ozubeného kola.



Obr. 33: Sestava spřaženého převodu

Základna je šroubovaná ze dvou na sebe kolmých dílů o tloušťce 15 mm. Ložiskové domky jsou šroubované do desky kolmé na montážní rovinu. Ložiska jsou jištěna v ložiskových domcích. Vnější ložisko je navíc jištěno také na hřídeli. Jištění je realizováno pomocí příslušných pojistných kroužků. Sestava je na montážní rovinu šroubována čtyřmi šrouby M8 s možností horizontálního ustavení. Ustavení slouží pro nastavení optimálního záběru mezi pastorkem a ozubeným hřebenem tyče blokace. Hřídel je na vnějším konci obrobena na čtyřhran pro možnost ručního pohonu soustavy viz. kapitola 4.2.7.



Obr. 34: Popis čelního ozubení

Parametry ozubeného kola a hřebenu vycházejí z původní konstrukce pro splnění požadavku zákazníka na zachování těchto parametrů. Dvojitý řetězový převod je realizován s převodovým poměrem 1:1 pro zachování původních parametrů. Ozubené kolo má 25 zubů a modul 2, řetězová kola mají 19 zubů.

VÝPOČET POČTU OTÁČEK NA VÝSUV ZDROJE

Pastorkem je čelní ozubené kolo s přímými zuby.

$$z = 25$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$h_{zD} = 480,5 \text{ mm}$$

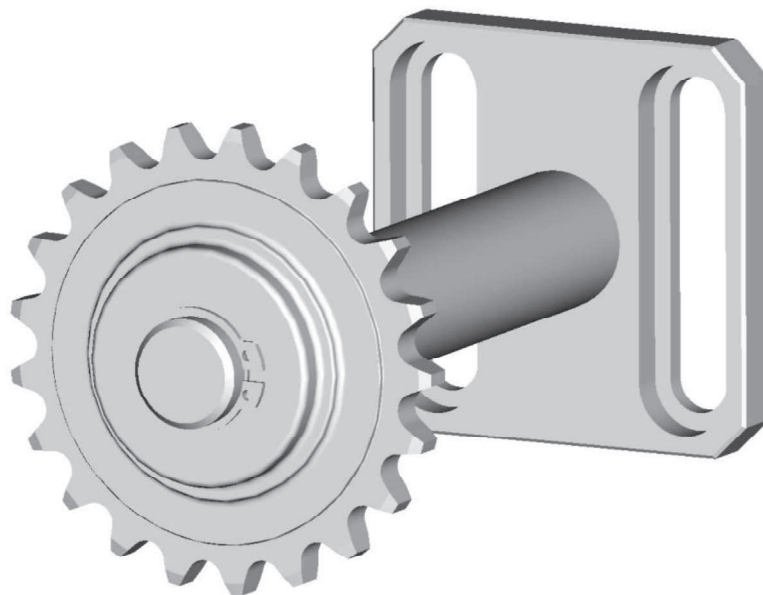
$$d = \frac{z * p}{\pi} \rightarrow p = \frac{d * \pi}{z} = \frac{50 * \pi}{25} = 6,28 \text{ mm}$$

$$h_{OT} = z * p = 25 * 6,28 = 157 \text{ mm}$$

$$n_{OT} = \frac{h}{h_{OT}} = \frac{480,5}{157} = 3,06 \approx 3 \text{ otáčky na výsuv}$$

S těmito parametry je pro výsuv ZIZ ze skladovací polohy do plné ozařovací polohy nutno vykonat přibližně tři otáčky hřídele. Plná ozařovací poloha je dána horizontální rovinou procházející středem průzoru z ovladovny, viz. Obr. 1.

Řetěz byl volen s ohledem na dostatečnou mezní pevnost se zvýšenou bezpečností. Zvolený řetěz 06 B-1 dle DIN 8187 v nerezovém provedení disponuje mezní pevností 6200 N. Vzhledem k tažné síle zvoleného pohonu (kapitola 4.2.3), 400 N, je tento řetěz vyhovující s bezpečností $k > 10$.

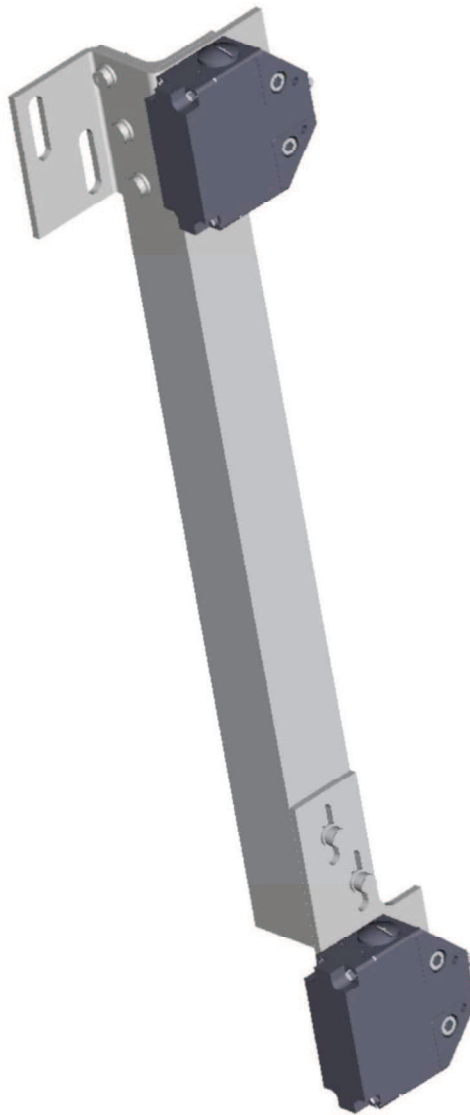


Obr. 35: Dopínací kladka sekundárního řetězu

Dopnutí sekundárního řetězu (řetěz spojující spřažený převod s hřídelí skrz zed') je realizováno pomocí dopínací kladky. Kladka je uložena na nerezové tyči a tyč je přišroubována k příslušné montážní desce. Tato montážní deska je přimontována k montážní rovině pomocí dvou šroubů M8. Dopínání řetězu je umožněno drážkami pro tyto šrouby.

4.2.6. Koncové spínače

Pro vymezení poloh pro pohon jsou v sestavě zakomponovány dva dvojité bezpečnostní koncové spínače.



Obr. 36: Sestava koncových spínačů

Koncové spínače byly voleny na základě zkušeností a zvyklostí zadavatele práce, který s tímto konkrétním typem má dlouholeté zkušenosti a to i co se týče odolnosti vůči radioaktivnímu záření. Sestava je osazena koncovými spínači výrobce Euchner N1 AR514-M.



Obr. 37: Koncový spínač Euchner N1 AR514-M

Koncové spínače jsou umístěné na jejich nosné konstrukci. Konstrukcí sestavy je umožněno nastavení jak vertikální, tak horizontální pro každý spínač. Horizontální nastavení je důležité z hlediska správné polohy koncového spínače vůči ovládacímu kamenu. Možnost vertikálního doladění poté umožňuje přesně nastavit koncové polohy. Nastavení je umožněno drážkami pro šrouby M6.

4.2.7. Ruční pohon

Tento prvek byl jedním z požadavků zákazníka a je v praxi běžně používán. Důležitost tohoto prvku je jasně daná havarijní situací, například výpadek proudu, vzpříčení zářiče apod. V těchto situacích je z legislativy vyplívající nutnost obdobného prvku pro nouzové uvedení ZIZ do stíněné, respektive bezpečné polohy. V mnoha aplikacích je pro havarijní stav používána pružina, nebo je jasně prokazatelné, že ZIZ bude při poruše uveden do stíněné polohy pomocí gravitačních sil. Pro případ přidření je gravitace nedostatečná a je proto nutné, aby bylo soustavu možno ovládat havarijní klikou.



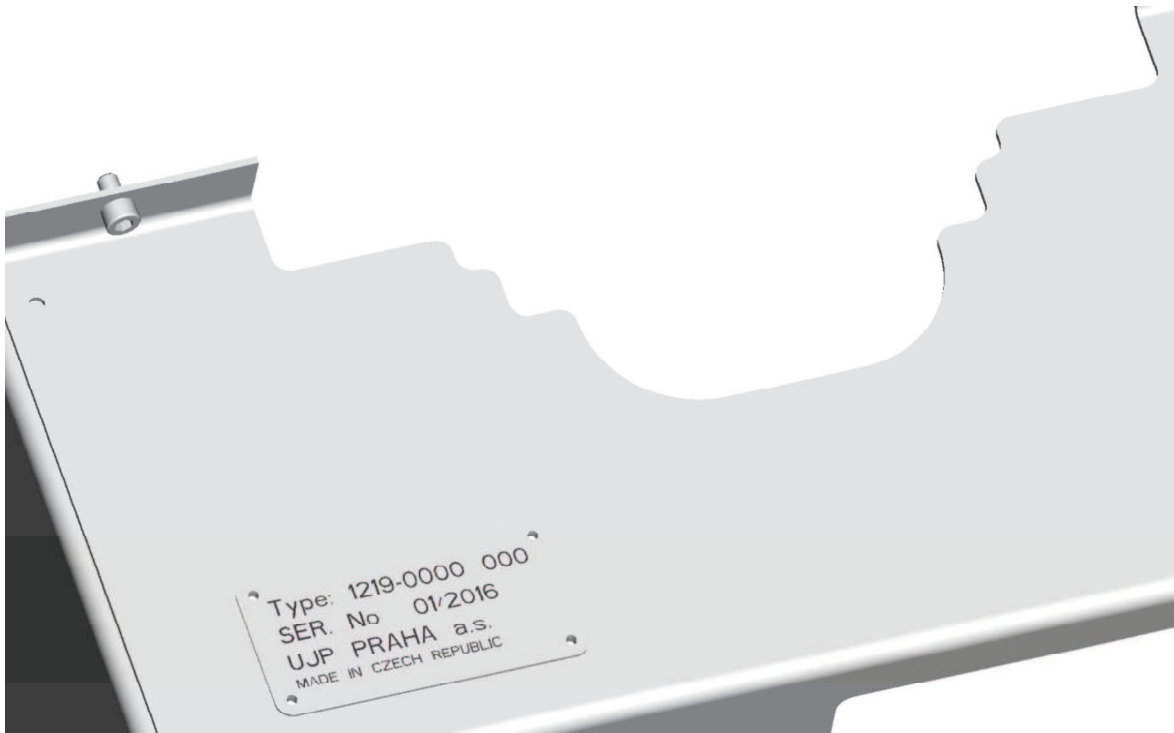
Obr. 38: Sestava ručního pohonu

V havarijním případě je vyřazen pohon ze záběru a klika uložená v obalu pohonné jednotky je nasazena na čtyřhranné zakončení hřídele sduženého

převodu. Tímto způsobem je umožněno uvedení do stíněné polohy. Zdroj je samozřejmě po splnění podmínek mechanické blokace možné tímto způsobem uvést do ozařovací polohy.

4.2.8. Krytování pohonu

Pohon jako celek montovaný v ovladovně musí být vzhledem k použití rotačních částí krytován nehledě na fakt, že celé radiační pracoviště je vedeno jako vědecké, tzn. pracoviště se sníženou mírou bezpečnostních opatření.

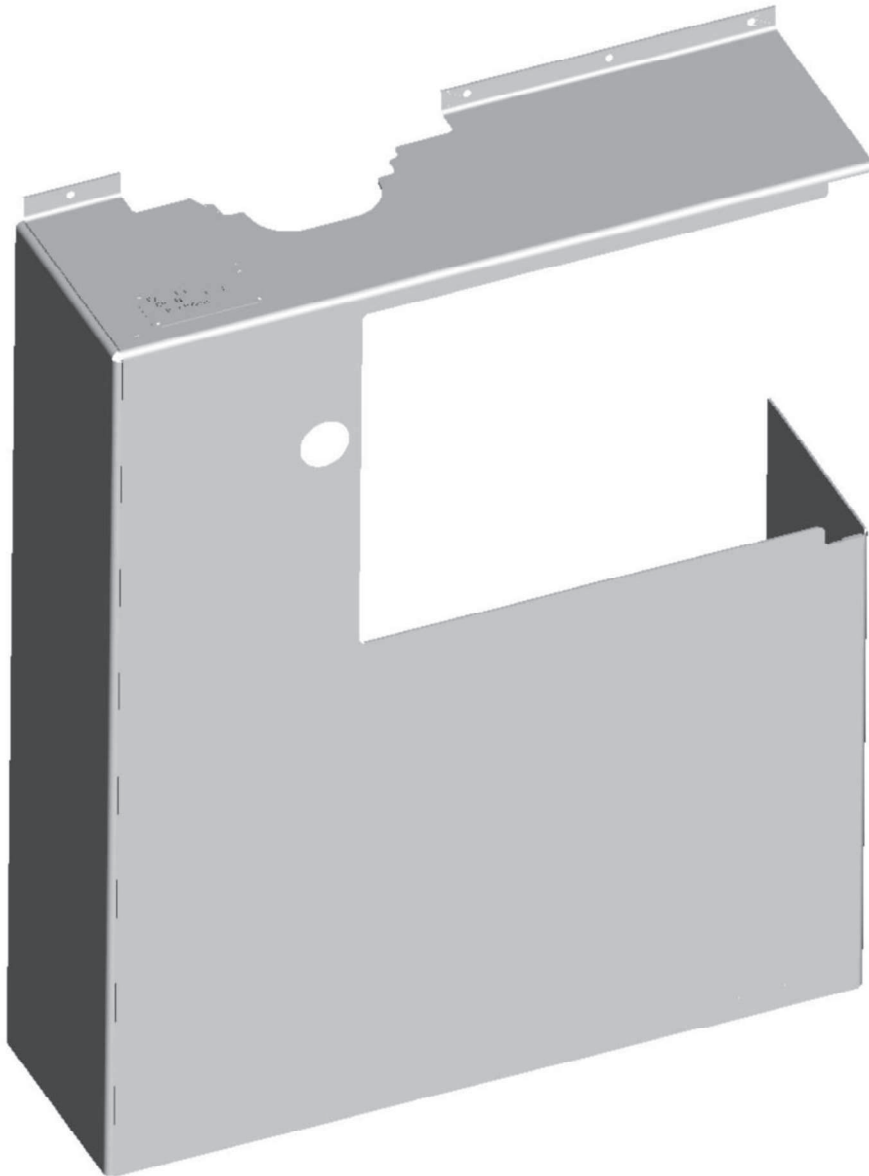


Obr. 39: Detail identifikačního štítku

Každý výrobek jako celek podléhá typovému schválení a musí být příslušně označen. Zvyklosti zadavatele práce určují obsah výrobního štítku, tak aby pro jednotlivé produktové linie vyhovoval legislativním požadavkům.

Na identifikačním štítku pro prototypové radiační pracoviště je nejdůležitějším prvkem položka „TYPE“, která je přímo svázaná s výrobní dokumentací a v případě další rekonstrukce, popřípadě servisu nebo jakéhokoli problému je tak snadno dohledatelná.

Kryt pohonu sestává ze třech dílů, jedná se o čelo a dvě bočnice. Polotovarem pro výrobu krytu byly výpalky z 2 mm silného nerezového plechu. Pro spojení jednotlivých dílů bylo využito trhacích nerezových nýtů 4x10 dle DIN 7337. Identifikační štítek je nýtován shodnými nýty o velikosti 3x8.



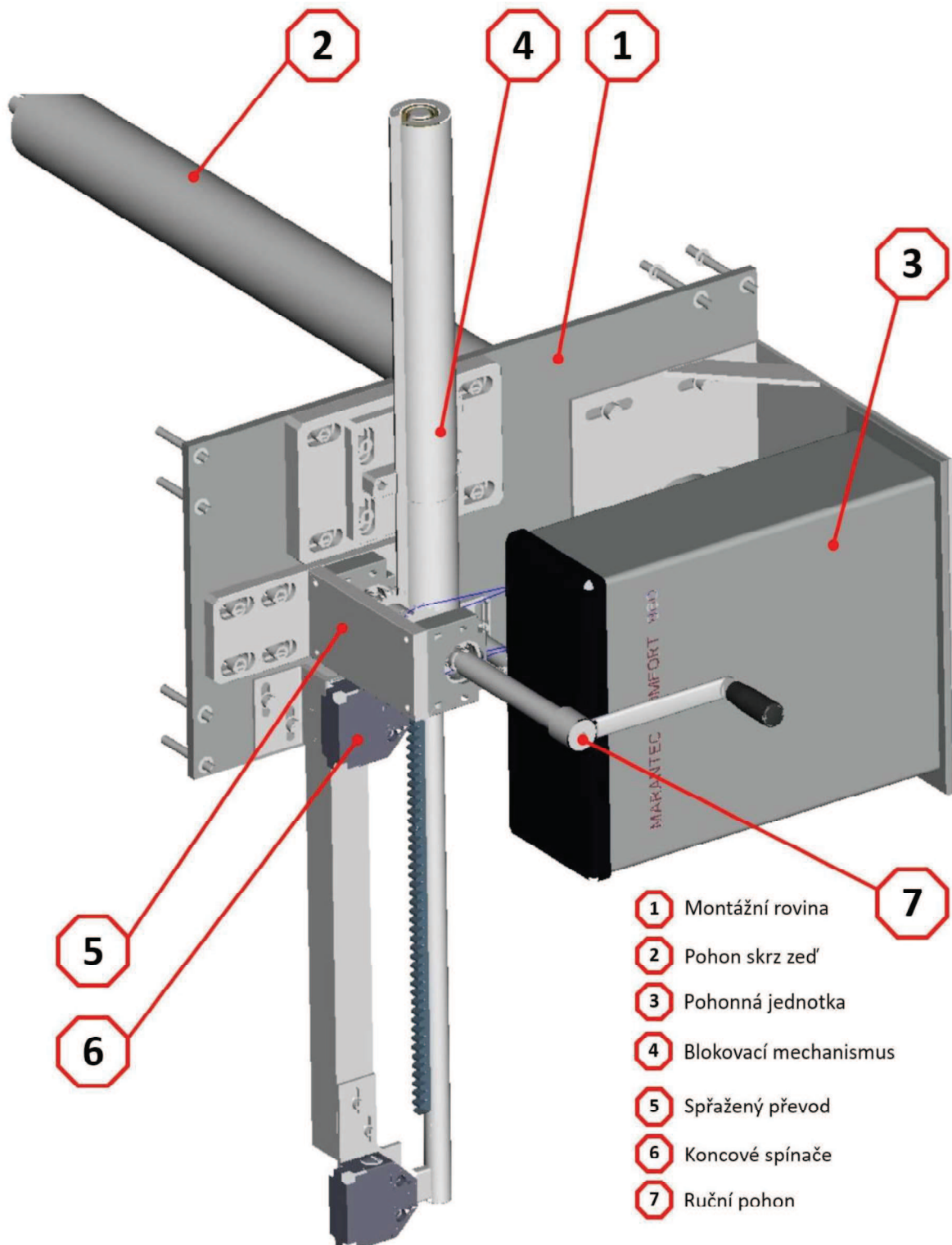
Obr. 40: Kryt pohonné části vybavení ovladovny

Kryt pohonu byl konstruován tak, aby byl použitelný pro všechny možnosti ustavení komponent zmiňovaných v předchozích kapitolách.

V ovladovně je kryt uchycen k montážní desce pomocí 4 šroubů M6 a k podlaze ovladovny pomocí L profilů do ní ukotvených. S L profily je kryt svrtán na místě a uchycen pomocí šroubů do plechu podléhající normě DIN 7981.

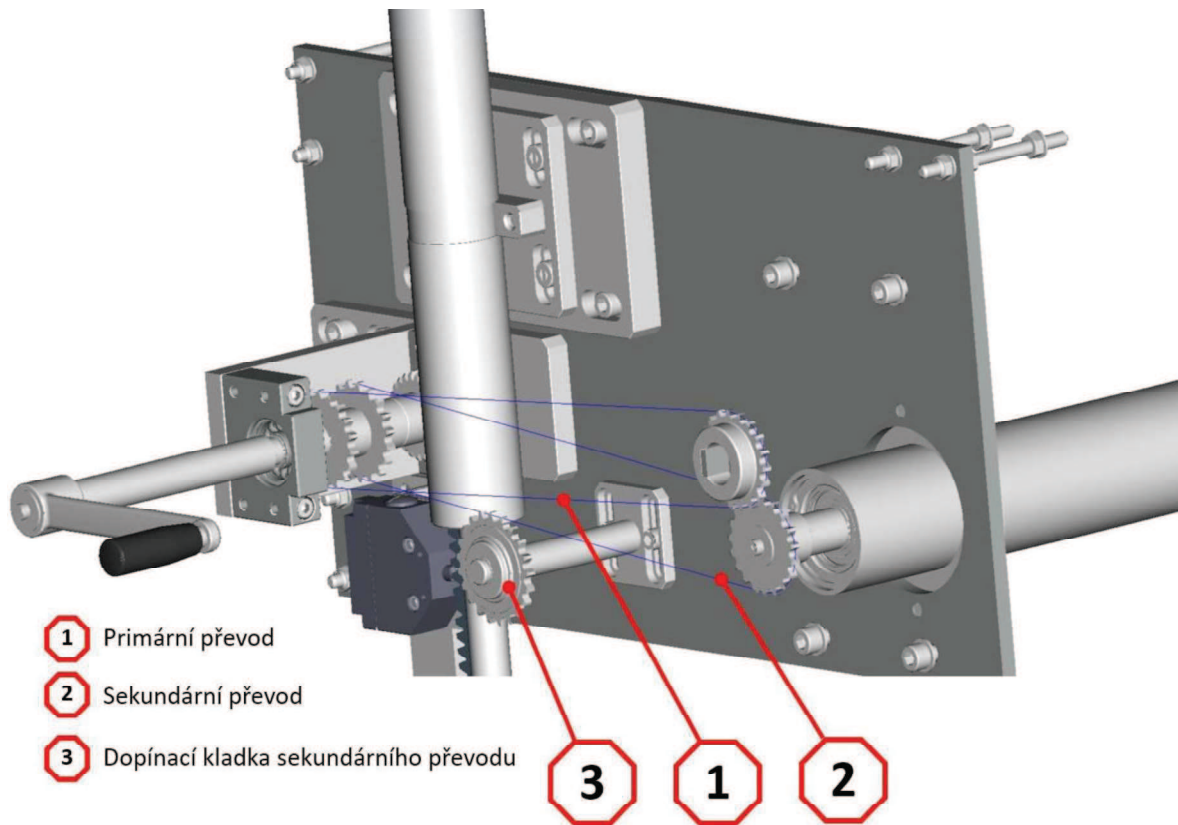
4.2.9. Celková sestava 3D modelu pohonu zdroje včetně mechanické blokace

V následující kapitole bude popsána celková sestava pohonu zdroje včetně mechanické blokace. Sestava je složena z prvků popsanych v kapitolách 4.2.1 až 4.2.8. Přičemž bude pozornost věnována primárně rozmístění jednotlivých komponent. Popis funkce sestavy jako kompletu bude popsán v kapitole 4.4.

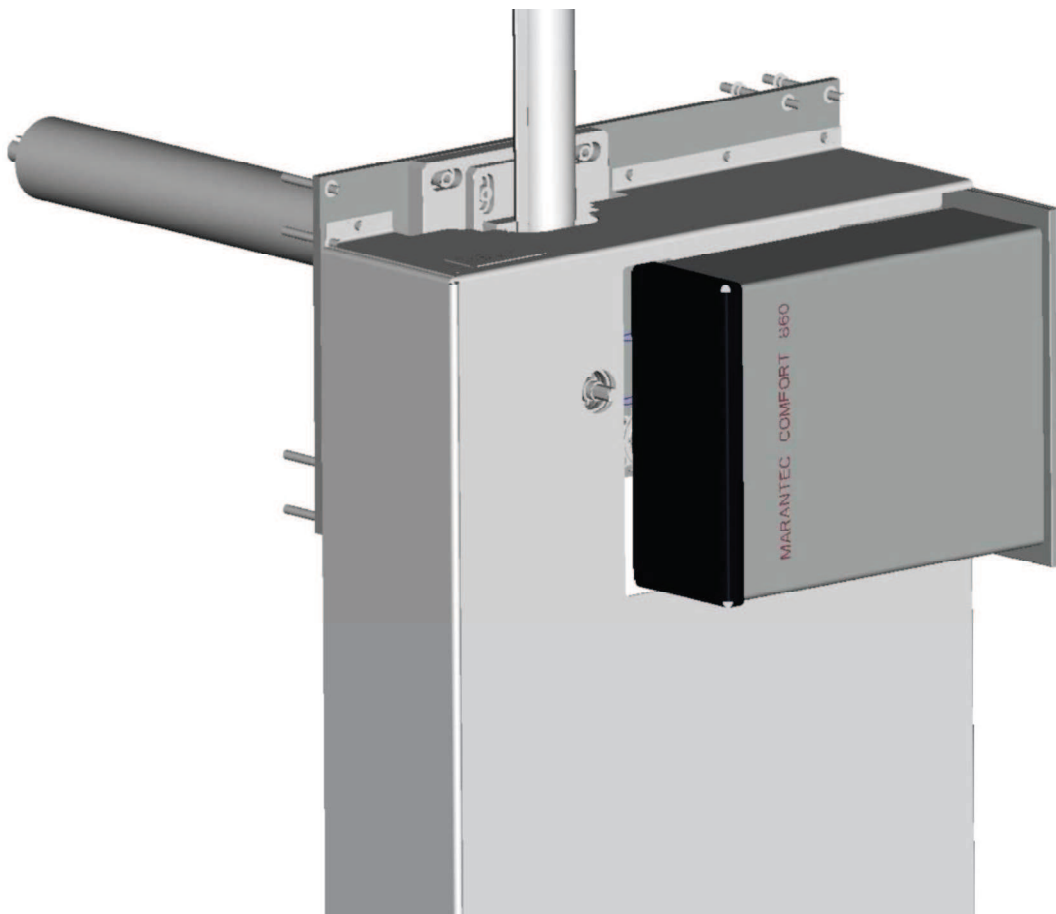


Obr. 41: Rozmístění komponent v sestavě

Z Obr. 41 je patrné rozmístění jednotlivých komponent sestavy pohonu zdroje včetně mechanické blokace. Všechny prvky jsou montované na montážní rovinu (viz. kapitola 4.2.1) pro zajištění kolmosti na hřídel pohonu skrz zeď. Kolmost a doladění soustavy by nebylo možné bez použití tohoto prvku. Možnost ustavení jednotlivých podsestav bylo vzhledem ke stavebním nepřesnostem nezbytné.

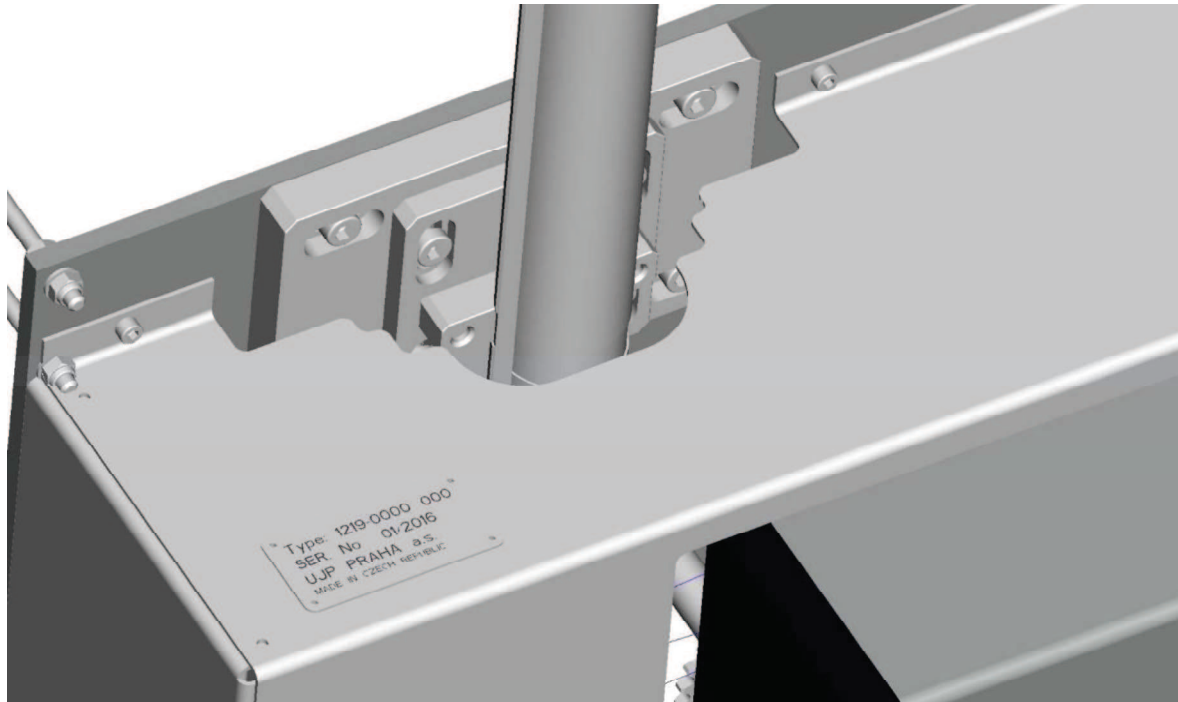


Obr. 42: Detail sestavy bez pohonu



Obr. 43: Sestava osazená krytem

Sestava osazená krytem pohonu je vyobrazena na Obr. 43. Pohonná jednotka částečně vyčnívá z krytu pohonu ze dvou důvodů. Prvním důvodem byl co nejmenší zásah do manipulačního prostoru kolem průzoru z ozařovny. Druhým, funkčním, důvodem jsou dvířka na čelní straně obalu pohonu. Pro umožnění vyřazení pohonu ze záběru je nezbytné tyto dvířka otevřít a vyřadit pohon ze záběru. Během běžného provozu je v obalu pohonu uložena i sestava umožňující ruční pohon soustavy (viz. kapitola 4.2.7).

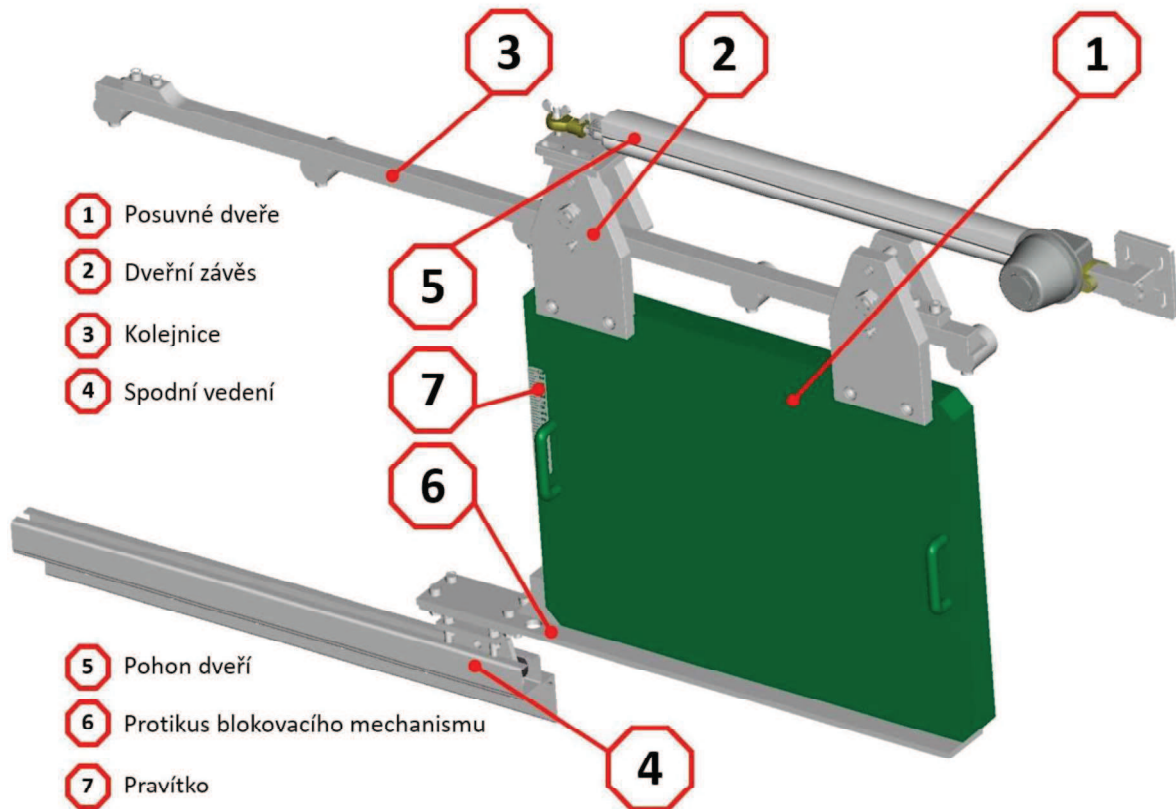


Obr. 44: Detail krytu v sestavě

Možnost použití krytu pohonu pro jakékoli ustavení jednotlivých komponent je zřejmá z Obr. 44.

4.3. Posuvné dveře

Požadavky zákazníka na sestavu posuvných dveří byl definován jako repase s doplněním o elektrický pohon a spodní vedení. Celá sestava posuvných dveří po modernizaci obsahuje původní posuvné dveře s novou povrchovou úpravou, nově vyrobené dveřní závěsy a kolejnice čtvercového průřezu včetně dorazů z nerezové oceli, nové nerezové valivé elementy – ložiska, po kterých je vykonáván posuvný pohyb dveří. Mezi nově konstruované prvky sestavy posuvných dveří patří spodní vedení dveří, elektrický pohon, protikus mechanické blokace výsuvu zdroje a pravítko udávající polohu středu ZIZ od počátku nestíněné polohy do plné ozařovací polohy – horizontální střed průzoru z ovladovny.

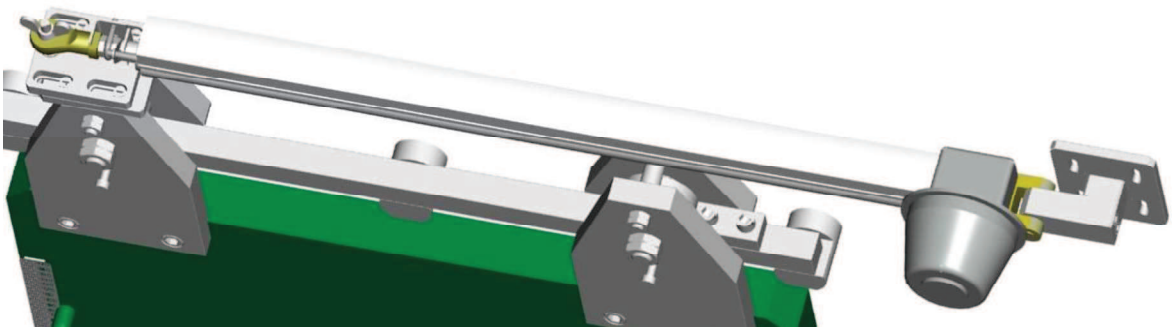


Obr. 45: Sestava posuvných dveří

4.3.1. Elektrický pohon posuvných dveří

Pro pohon posuvných dveří byl volen lineární pohon na 24 V tzv. aktuátor.

Hlavním parametrem pro volbu aktuátoru byla délka zdvihu, respektive výsuvu. Pro posuvné dveře byl zvolen lineární pohon SKF s délkou výsuvu 700 mm totožný s lineárním pohonem jiné výrobní linie zadavatele práce. Požadavkem zákazníka byla možnost vyřazení pohonu dveří ze záběru, tato možnost je řešena vyšroubováním křídlové matice na oku pístnice aktuátoru. Po vyšroubování křídlové matice je možné aktuátor odklopit na otočném oku a tím je umožněna ruční manipulace s posuvnými dveřmi.

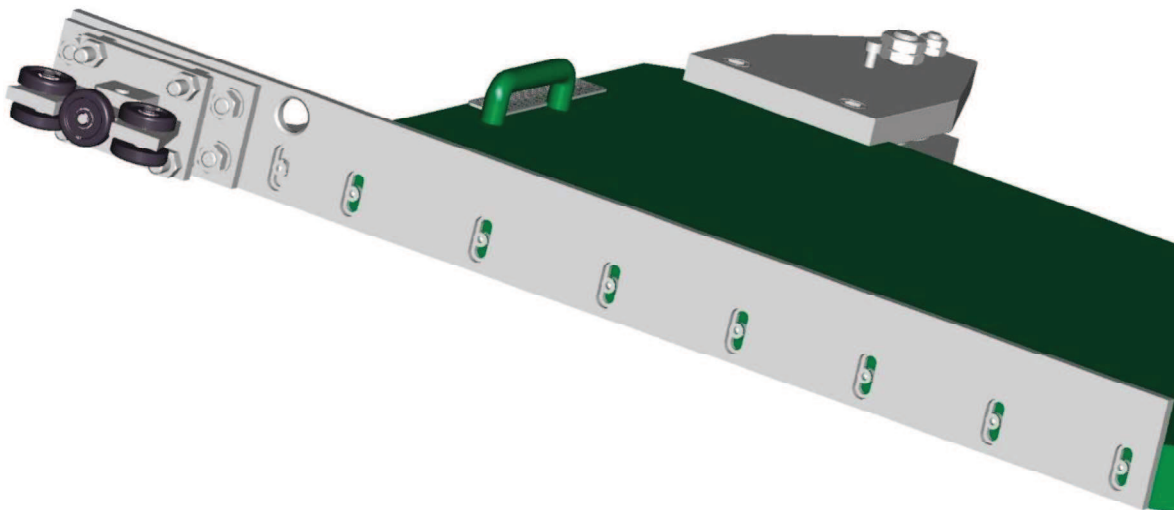


Obr. 46: Detail pohonu posuvných dveří

Na pístnicové straně je umožněno horizontální doladění polohy uchycení aktuátoru, na druhé straně je naopak umožněno vertikální ustavení. Vertikální ustavení realizováno zejména pro ustavení pohonu do rovnoběžné polohy s kolejnicí. V místě motoru aktuátoru je pohon kotven do zdi šrouby velikosti M8 uchycených pomocí chemické kotvy.

4.3.2. Protikus mechanické blokace a spodní vedení dveří

Protikus mechanické blokace spočívá v připevnění 10 mm silného plátu z nerezové oceli na spodní hranu dveří. Plát má průchozí díru pro tyč blokace (viz. kapitola 4.2.4) jen v poloze, kdy jsou dveře zavřeny. Plát blokace je stavitelný po tloušťce dveří viz. Obr. 47.



Obr. 47: Detail spodní hrany dveří v sestavě

Spodní vedení je realizováno nakupovaným dílem používaným pro vedení vjezdových bran. Vybraný vozík vedení je vertikálně stavitelný a je montován k plátu protikusu mechanické blokace. Horizontální ustavení je umožněno Drážkami v L profilu, který nese C profil vedoucí vozík. V třetí ose je umožněno doladit vedení pomocí drážek pro upevnění C profilu na nosném L profilu. Nosný profil je kotven přímo do zdi pomocí šroubů velikosti M8 uchycených pomocí chemické kotvy.

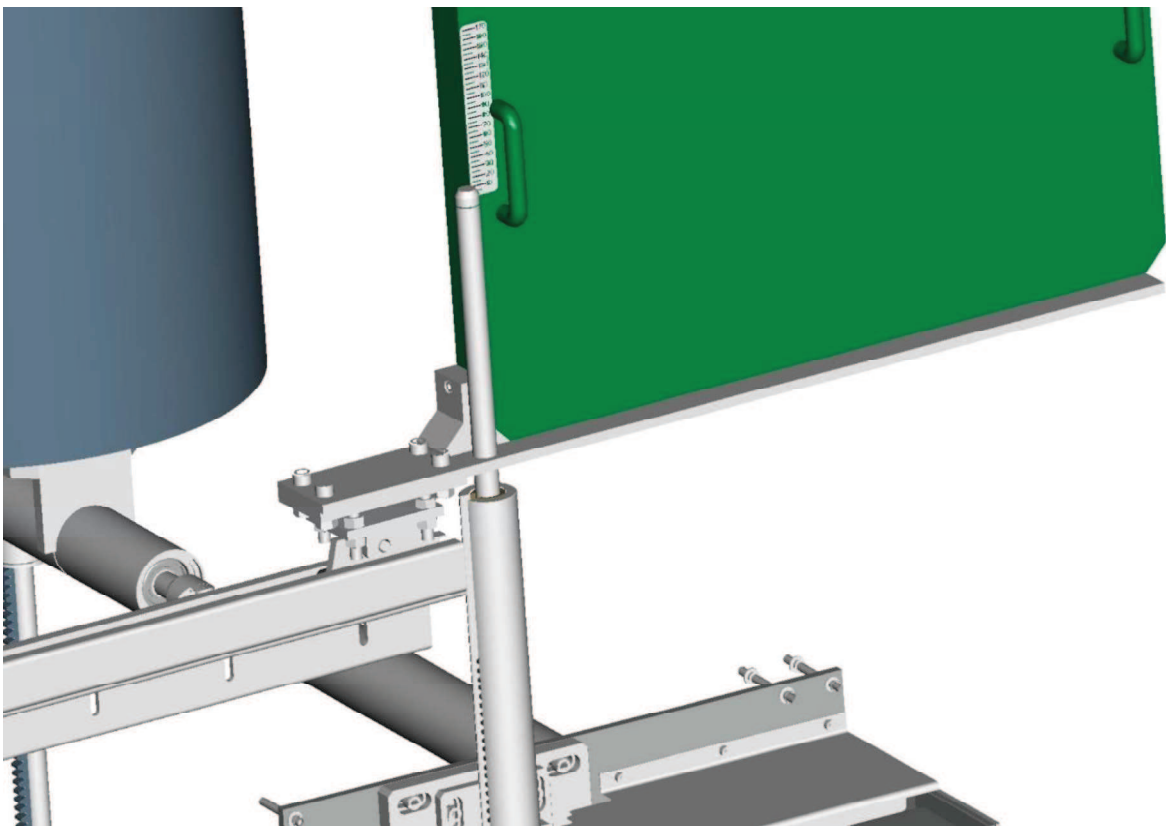
Laserem gravírované nerezové pravítko je lepeno oboustrannou lepicí páskou do specifické polohy po odladění soustavy bez ZIZ.

4.4. Princip funkce sestavy jako celku

Základní princip celé soustavy je v podstatě jednoduchý – ZIZ nesmí vyjet ze skladovací polohy za předpokladu, že není stíněn průzor z ozařovny a zároveň nejsou zavřené posuvné dveře. Posuvné dveře v tomto případě nemají funkci

stínění, ale pouze uzavření prostoru za stínícím elementem. Stínící element je pevně spojený s technologií kryokomory, která je umístována do průzoru z ozařovny. Tato technologie byla dodávána kooperací a není předmětem této práce.

Blokovací mechanismus je svázán s oběma výše zmíněnými prvky. Tudiž při absenci kryokomory není možné zdroj vysunout, a to ani v případě zavřených posuvných dveří. Stejná situace nastává v případě otevřených posuvných dveří a stíněném průzoru stínícím elementem. Toto dvojitě mechanické jištění bylo požadavkem zákazníka.



Obr. 48: Sestava při splnění podmínek výsuvu zdroje

Na Obr. 48 je zřetelně viditelný průchod tyče blokace dírou v plátu protikusů mechanické blokace. Díra v plátu má o 1 mm větší průměr oproti blokovací tyči. Tyč prochází také dírou v blokovacím mechanismu navázaném na stínící element průzoru z ovladovny. Z těchto dvou důvodů bylo nezbytně nutné konstruovat všechny prvky montované do ovladovny stavitelné v dostatečné míře.

V případě, že nejsou splněny podmínky pro bezpečný výsuv zdroje narazí tyč blokace do jednoho z protikusů a přepěťová ochrana přeruší dodávku proudu do motoru. Přepěťová ochrana je dimenzována tak, aby ve výše popsaném případě nedošlo k poškození komponent blokovacího mechanismu.

5. Realizace

Vzhledem k faktu, že byl projekt pro zákazníka realizován v kooperaci s dalšími dodavateli komponent a příslušenství byla montáž smontovaných sestav rozdělena do tří etap.

5.1. První etapa

V první etapě byla dodávána sestava skladovacího obalu (kapitola 4.1.1) s vnitřním převodem (kapitola 4.1.4) a pohon skrz zeď (kapitola 4.2.2).



Obr. 49: Skladovací obal s vnitřním převodem před montáží

Před montáží skladovacího obalu s vnitřním převodem byl dvojitý kardanový kloub obalen duší pro ochranu proti nečistotám.



Obr. 50: Umístění skladovacího obalu do zástavby

Vzhledem k hmotnosti sestavy a omezenému manipulačnímu prostoru byl pro uložení skladovacího obalu zvolen autojeřáb.



Obr. 51: Spojení hřídelí kardanovým kloubem

Spojení hřídelí pomocí kardanového kloubu proběhlo bez komplikací.

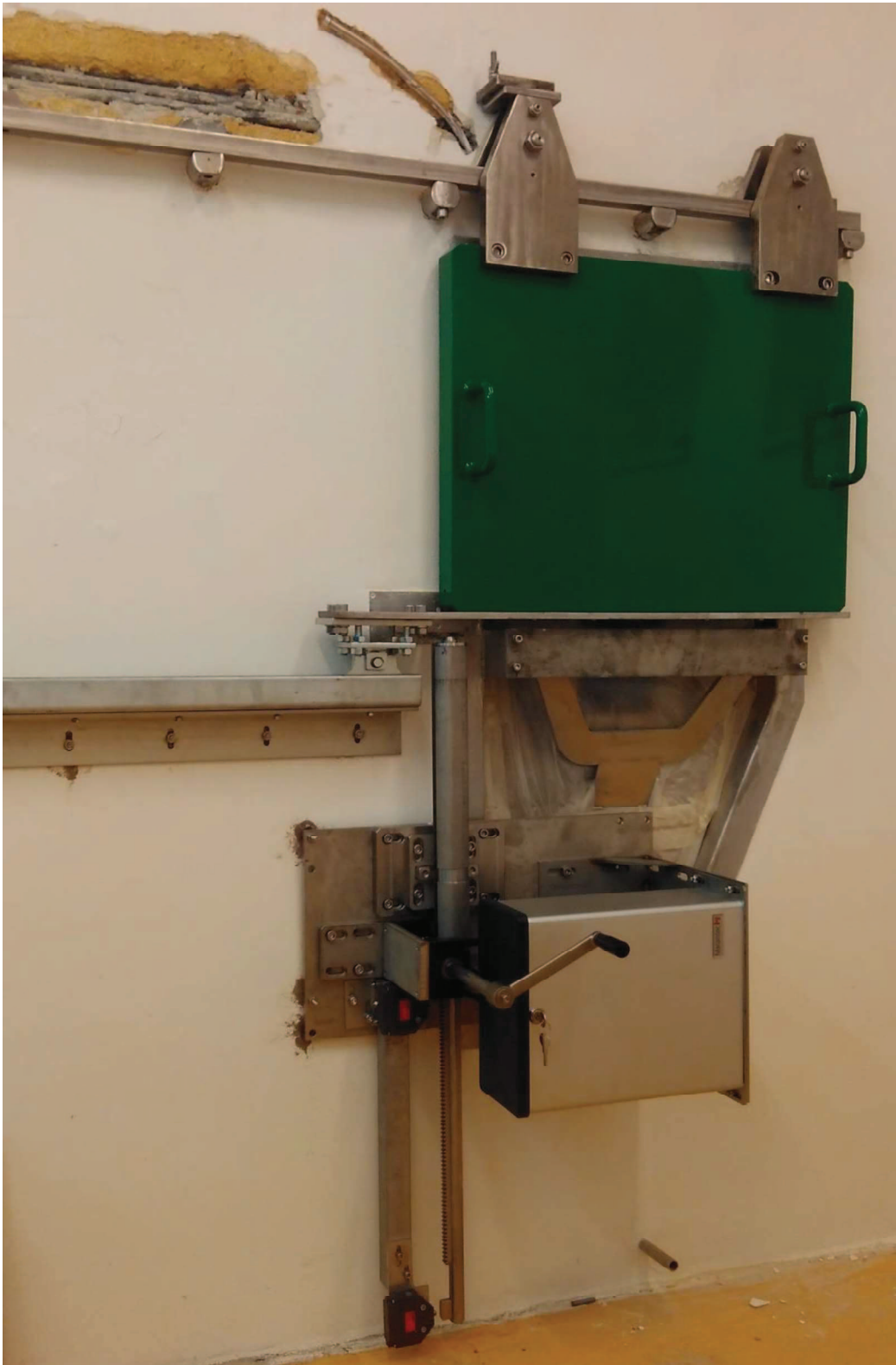


Obr. 52: Pohled na průzor z ovladovny

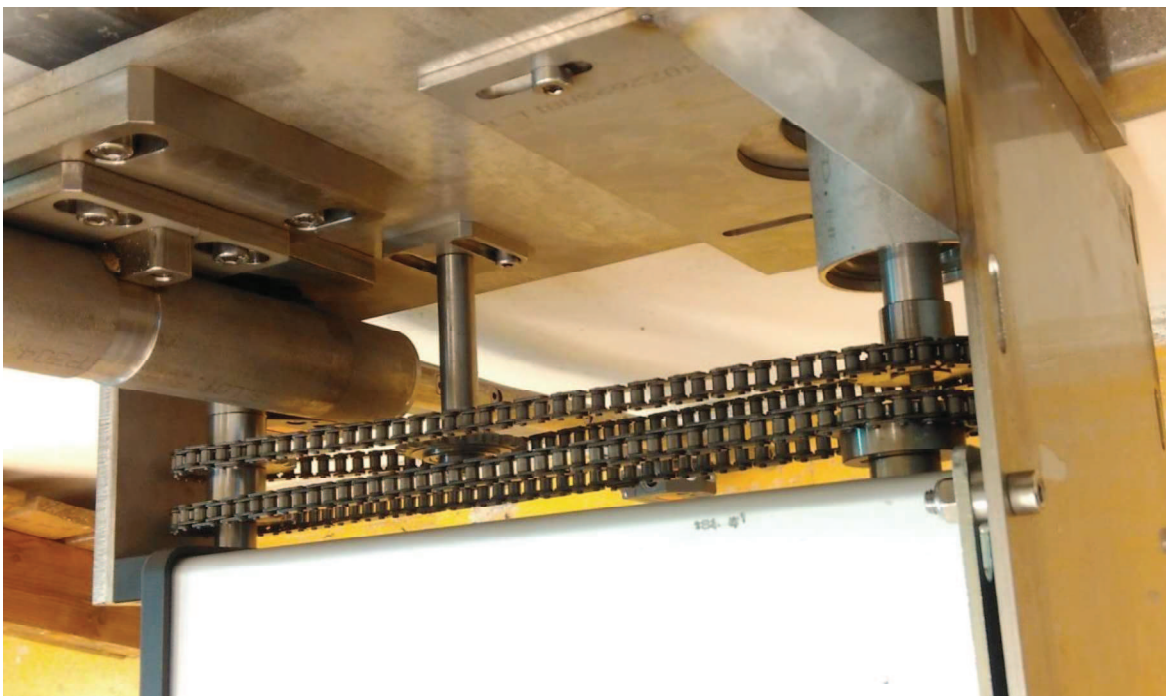
Na Obr. 52 je vyobrazen průzor z ovladovny v závěru první etapy montáže. Ve spodní části obrázku je viditelný namontovaný pohon skrz zeď. Stavební práce byly dokončeny mezi první a druhou etapou montáže komponent ze strany zadavatele práce.

5.2. Druhá etapa

Druhá etapa obsahovala montáž vybavení ovladovny. Vybavením ovladovny je označován pohon výsuvu zdroje s mechanickou blokadí (viz. kapitola 4.2.9) a posuvné dveře (viz. kapitola 4.3).



Obr. 53: Namontované vybavení ovladovny



Obr. 54: Detail sdruženého pohonu

Po dokončení montáže prvků druhé etapy byla soustava předběžně odladěna bez elektrického pohonu a proběhla zkouška funkčnosti s maketou pouzdra zářiče bez ZIZ.

5.3. Třetí etapa

V závěrečné části montážních prací byl instalován kryt pohonu (viz. kapitola 4.2.8) a pohon posuvných dveří (viz kapitola 4.3.1).

Mezi druhou a třetí etapou z pohledu zadavatele práce dokončili ostatní dodavatelé komponent montáže svých celků a během třetí etapy bylo provedeno kompletní vyladění sestavy za přítomnosti všech dodavatelů komponent radiačního pracoviště.

Závěrem poslední fáze bylo nabití ozařovny zdrojem ionizujícího záření ^{60}Co o aktivitě 200 TBq. Nabitím ozařovny je v praxi označována situace dopravy a umístění ZIZ do skladovací polohy daného radiačního pracoviště.

Finální podoba vybavení ovladovny včetně krytu pohonu je vyobrazena na Obr. 55.



Obr. 55: Kompletní sestava vybavení ovladovny

6. Závěr

Cílem práce bylo konstrukční řešení výsuvu zdroje včetně mechanické blokace a to včetně kompletní výrobní dokumentace, z které je zveřejněna pouze část dle svolení zadavatele.

K celému projektu bylo přistupováno jako k prototypovému s využitím co nejvíce zadavatelem běžně používaných komponent a technologií výroby. Dále bylo důsledně dbáno na jednoduchost mechanismů.

Během vypracování této práce byl celý projekt kompletně dokončen, odladěn, úspěšně předán zákazníkovi a schválen Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

Použitá literatura

- [1] TICHÁ, Ludmila. Struktura a formální náležitosti vysokoškolských závěrečných prací. Ústřední knihovna ČVUT v Praze, prosinec 2009
- [2] Norma. ČSN 01 6910:1995 „Úprava písemností, psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory“
- [3] CIVÍNOVÁ, Zdeňka. Formální úprava vysokoškolských závěrečných prací. Ústřední knihovna ČVUT v Praze, prosinec 2009
- [4] PETR, Karel; MOSSÓCZY, Pavel; SYROVÁTKA, Pavel. Zkušební zařízení pro zkoušení převodovek kolejových vozidel do 500 kW. 52. Mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů s mezinárodní účastí, Ostravice, 6.-9. září 2011. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2011, p. 179-182, ISBN 978-80-248-2450-5
- [5] UHLÍŘ, Roman; MOSSÓCZY, Pavel; PETR, Karel; MALÝ, Pavel. Force sensor for front hitch of agricultural trailer. 4th International Mechanical Engineering Forum 2011, Prague, Czech Republic 1. February 2011, p. 200-207. ISBN 978-80-213-2156-4.
- [6] PETR, Karel; KANAVAL, Jan; DYNBYL, Vojtěch. Modification and Non-standard Methods of Increasing Tooth Flank Resistance of Gears. International Conference on Gears, VDI-Society for Product and Process Design and TUM, Munich, Germany 4.-.6. October 2010. VDI Verlag GmbH, Dusseldorf, 2010, s.1439-1442, ISBN 978-3-18-092108-2
- [7] Katalogy dodavatelů nakupovaných komponent

Seznam obrázků

Obr. 1: Situační model ozařovny s popisem a rozmístěním konstrukčních uzlů	1
Obr. 2: Původní stav – pohled do ozařovacího prostoru manipulačním průzorem (shora)	4
Obr. 3: Původní stav – ovladovna	6
Obr. 4: Schéma – jednotlivé části vybavení ozařovny	8
Obr. 5: Řez modelem skladovacího obalu	9
Obr. 6: Dolní pohled na model skladovacího obalu	10
Obr. 7: Model sestavy zářiče – celkový pohled	11
Obr. 8: Zavařený ZIZ	12
Obr. 9: Wolframové stínění	12
Obr. 10: Model pouzdra zářiče	13
Obr. 11: Model nástavce pouzdra zářiče	14
Obr. 12: Model tyče s ozubeným hřebem	15
Obr. 13: Model vedení hřebu	16
Obr. 14: Model vedení hřebu v řezu	17
Obr. 15: Výřez výrobního výkresu kluzného pouzdra	18
Obr. 16: Model sestavy vnitřního převodu	18
Obr. 17: Řez modelem sestavy vnitřního převodu	19
Obr. 18: Držák pohonu	20
Obr. 19: Vnitřní hřídel osazená ložisky v ložiskových tělesech	21
Obr. 20: Řez modelem krycí trubky	22
Obr. 21: Sestava vybavení ozařovny – 3D model	23
Obr. 22: Detail spodní části skladovacího obalu – skladovací poloha	24
Obr. 23: Detail spodní části skladovacího obalu – ozařovací poloha	24
Obr. 24: Řez sestavou vybavení ozařovny – skladovací poloha	25
Obr. 25: Řez sestavou vybavení ozařovny – ozařovací poloha	26
Obr. 26: Kinematické schéma vybavení ovladovny (nárys a půdorys)	27
Obr. 27: Montážní rovina	28
Obr. 28: Řez 3D modelem pohonu skrz zeď	29
Obr. 29: Pohonná jednotka s držákem	30
Obr. 30: Držák pohonu	31
Obr. 31: Komponenty blokovacího mechanismu	32
Obr. 32: Detail horní části blokovací tyče	33
Obr. 33: Sestava spřaženého převodu	34
Obr. 34: Popis čelního ozubení	34
Obr. 35: Dopínací kladka sekundárního řetězu	35
Obr. 36: Sestava koncových spínačů	36
Obr. 37: Koncový spínač Euchner N1 AR514-M	37
Obr. 38: Sestava ručního pohonu	37
Obr. 39: Detail identifikačního štítku	38
Obr. 40: Kryt pohonné části vybavení ovladovny	39
Obr. 41: Rozmístění komponent v sestavě	40
Obr. 42: Detail sestavy bez pohonu	41
Obr. 43: Sestava osazená krytem	41
Obr. 44: Detail krytu v sestavě	42
Obr. 45: Sestava posuvných dveří	43
Obr. 46: Detail pohonu posuvných dveří	43
Obr. 47: Detail spodní hrany dveří v sestavě	44
Obr. 48: Sestava při splnění podmínek výsuvu zdroje	45
Obr. 49: Skladovací obal s vnitřním převodem před montáží	46
Obr. 50: Umístění skladovacího obalu do zástavby	47
Obr. 51: Spojení hřídelí kardanovým kloubem	47



Obr. 52: Pohled na průzor z ovladovny	48
Obr. 53: Namontované vybavení ovladovny	49
Obr. 54: Detail sdruženého pohonu	50
Obr. 55: Kompletní sestava vybavení ovladovny	51

Seznam příloh

Příloha 1: Výkresová dokumentace

Přílohy

Příloha 1:

Výkresová dokumentace:

1219 - 0100 000 CVR MALY KOBALT

1219 – 0101 000 SKLADOVACI OBAL

1219 – 0101 100 SKLADOVACI SVAR

1219 – 0104 000 VNITRNI POHON

1219 – 0106 000 VNEJSI PREVOD