

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# NÁVRH ÚPRAVY KOLIMÁTORU SYSTÉMU MĚŘENÍ RAO

DESIGN MODIFICATION OF THE COLLIMATOR FOR RAW MEASURING SYSTEM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ŠTĚPÁN SVOBODA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR  
BRNO 2013

**ING. HUGO ŠEN**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Štěpán Svoboda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh úpravy kolimátoru systému měření RAO**

v anglickém jazyce:

#### **Design modification of the collimator for RAW measuring system**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nízko a středně RAO jsou před jejich ukládáním do úložiště naplněny do ocelových sudů; měřena je jejich aktivita, příp. dávkový příkon. Předmětem řešení bakalářské práce je návrh konstrukčních úprav kolimátoru systému měření RAO firmy Envinet. Návrh na zlepšení současného konstrukčního řešení kolimátoru bude vycházet z požadavků praxe.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Popis stávajícího zařízení pro měření RAO
- 2) Analýza funkce současného provedení kolimátoru
- 3) Návrh konstrukčních úprav
- 4) Zhodnocení nově navrženého řešení a závěry
- 5) Vypracování výkresové dokumentace

Seznam odborné literatury:

- 1) Šeda, J. a kolektiv. Dozimetrie ionizujícího záření, SNTL, Praha, 1986
- 2) Firemní podklady firmy Envinet Třebíč
- 3) Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Hugo Šen

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 6.11.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **Abstrakt**

Práce pojednává o konstrukčním návrhu kolimátoru, který je důležitou součástí zařízení měřící aktivitu radioaktivního odpadu v ocelových sudech. Toto zařízení je výrobkem firmy Envinet a.s. Kolimátor je část stroje, která vytváří vhodné prostředí pro měření radioaktivity a zabraňuje tak poškození detektoru v důsledku přehlcení radioaktivními částicemi. V práci je řešeno konstrukční zjednodušení samotného kolimátoru, kde se očekává, že při zjednodušené variantě této součásti se sníží pravděpodobnost poruchy kolimátoru a tím se sníží náklady na servis těchto zařízení ve velice vzdálených oblastech jako je Rusko, Ukrajina atp.

**Klíčová slova:** Radioaktivita, kolimátor, radioaktivní odpad

## **Abstract**

This thesis deals with structural design of collimator. Collimator is important component of radioactivity measuring device. This apparatus is made by Envinet. Collimator is part of device, which makes good conditions for measuring radioactivity, protects detector and tries avoid overload detector. In this thesis is dealt simplification of collimator. It supposed, that simplified collimator will be more reliable. This proposal saves more money, because company will not have to send employee of Envinet to service their measuring devices in a very distant countries, such as Russia, Ukraine etc.

**Key words:** Radioactivity, collimator, radioactive waste

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Návrh úpravy kolimátoru systému měření RAO* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí přílohy této práce.

Dne: 17.5.2013

.....  
Štěpán Svoboda

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Hugo Šenovi za cenné rady a poznámky, které vedly ke zhotovení finální podoby této práce. Můj dík patří rovněž všem mým blízkým, hlavně rodičům, kteří mě podporovali v mých studiích a vždy mi dokázali ve všem pomoci.

## Obsah

1	Popis stávajícího systému měření RAO .....	9
1.1	Umístění zařízení .....	9
1.2	Systém RADRUS_S1 .....	9
1.2.1	Měřicí aparatura.....	11
1.2.2	Rozvaděčová skříň.....	12
1.3	Popis funkce měřicí aparatury .....	13
1.3.1	Uvedení měřicí aparatury do provozu .....	13
1.3.2	Výchozí poloha.....	13
1.3.3	Provoz měřicí aparatury.....	14
1.3.4	Signalizační sloupek .....	14
1.3.5	Válečkový dopravník.....	14
1.3.6	Komunikace mezi systémy .....	15
1.3.7	Výroba kalibračního přípravku.....	17
2	Analýza funkce současného kolimátoru .....	18
3	Radioaktivita a měřící hodnoty přístroje .....	20
3.1	Aktivita .....	20
3.2	Měřící hodnoty detektoru.....	20
4	Návrh konstrukčních úprav Kolimátoru .....	21
4.1	Obecný návrh .....	21
4.2	Konkrétní návrh úprav .....	21
5	Zhodnocení navrženého řešení .....	22
5.1	Návrh 1 .....	22
5.2	Návrh 2 .....	24
5.3	Návrh 3 .....	26
5.4	Celkové zhodnocení.....	28
6	Závěr.....	29
7	Seznam použitých zdrojů.....	30
8	Seznam obrázků.....	30
9	Seznam příloh.....	30
10	Přílohy .....	31

## Úvod

Před uskladněním nízko a středně radioaktivního odpadu, který je naplněn v železných sudech a dále pak uložen do skladu radioaktivního odpadu je potřeba, aby všechny tyto sudy byly zkontrolovány. Kontrola probíhá tak, že je změřena radioaktivita jednotlivých sudů a zkontrolováno homogenní rozložení odpadu. Celý tento proces je prováděn jedním systémem, vyvinutým firmou Envinet a.s. Systém je zkonstruován tak, aby dokázal měřit různou velikost sudů (50, 100 a 200 litrů). V praxi a později i na přání samotných zákazníků vznikl požadavek na zjednodušení celého systému. Domluvilo se, že všechny měřicí sudy budou o velikosti 200 litrů. Zjednodušení má za úkol zlepšení spolehlivosti systému a tím snížení nákladů na servis. Měřicí aparatury jsou dováženy do velice vzdálených zemí, jako jsou Rusko, Ukrajina atp. a tak každý servis je finančně náročný a snižuje zisk již dokončených zakázek.

Největší poruchovost je pozorována právě u kolimátoru, který reaguje na variabilitu sudů a zmenšuje, popřípadě zvětšuje měřicí oblast detektoru. Kolimátor má tedy za úkol chránit detektor před přehlcením radioaktivních částic a tím docílit správného měření celého systému. Tato bakalářská práce má tedy za cíl návrh zjednodušené konstrukce samotného kolimátoru, který bude reagovat pouze na radioaktivitu jednotlivých sudů, nikoli jejich velikost. Obsahuje popis celé měřicí aparatury, informace o stávajícím kolimátoru, jeho nevýhody a návrh konstrukčních úprav stávajícího kolimátoru. K práci je připojeno také vymodelování nového kolimátoru v programu Inventor.

## 1 Popis stávajícího systému měření RAO

### 1.1 Umístění zařízení

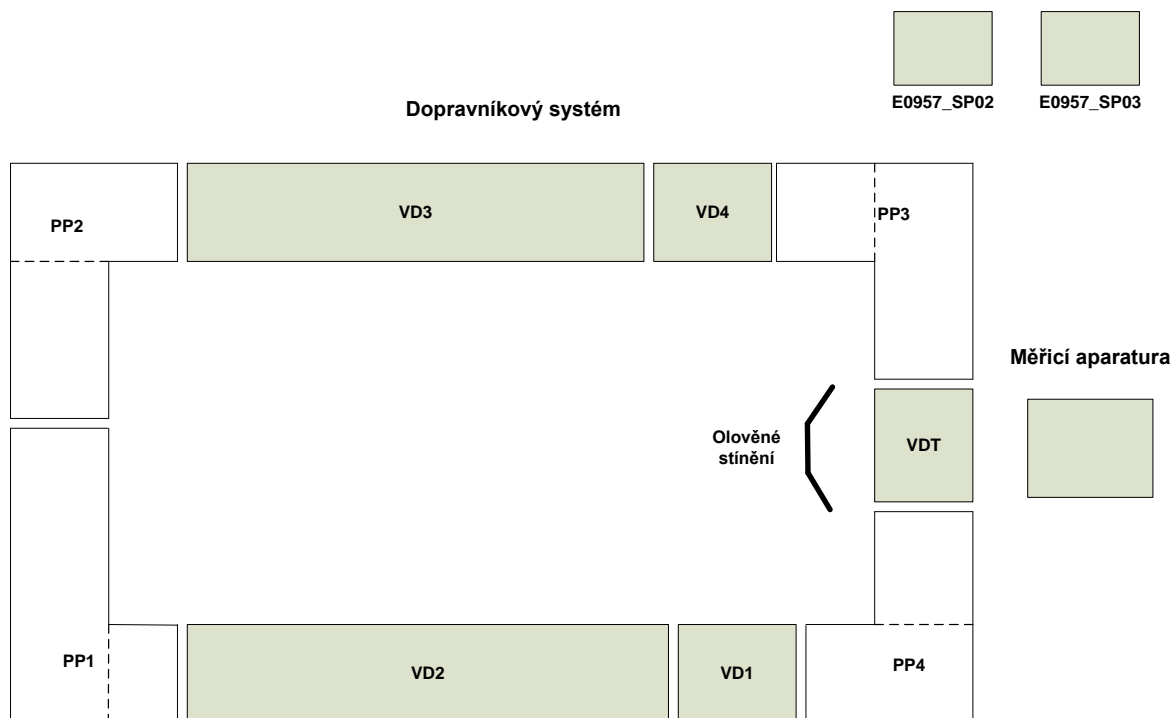
Zařízení je navrženo pro umístění v kryté hale. Podmínkou umístění je zpevněná (betonová) vodorovná plocha.

Při umístění zařízení je třeba respektovat tyto požadavky:

- Podklad musí být vodorovný a dostatečně pevný vzhledem k váze zařízení a případnému přenosu vibrací z okolních činností.
- Okolo zařízení musí být dostatečný prostor pro manipulaci s měřeným materiálem pomocí vysokozdvizného vozíku nebo jeřábu.

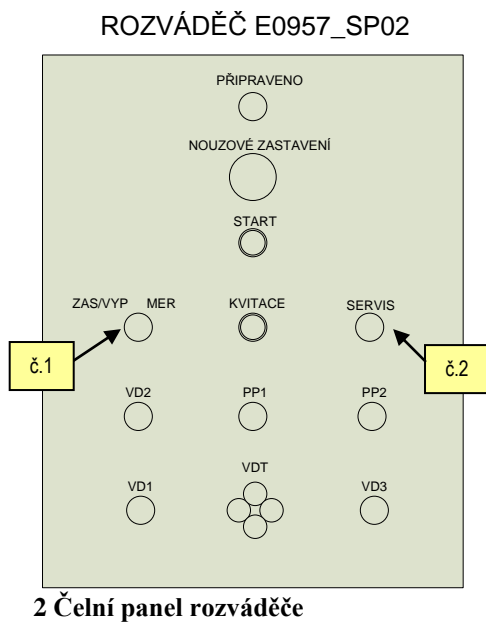
### 1.2 Systém RADRUS\_S1

Zařízení RADRUS\_S1 je určeno k automatickému měření radioaktivního odpadu uloženého v (200l, 100l nebo 50l) sudech. Zařízení vyžaduje síťové napájení. Měření radiace je realizováno prostřednictvím softwaru na počítači. Maximální počet měřených sudů je 25ks. Sudy pro měření jsou automaticky pomocí elektrických pohonů přemísťovány po válečkovém dopravníku k měřicímu systému.

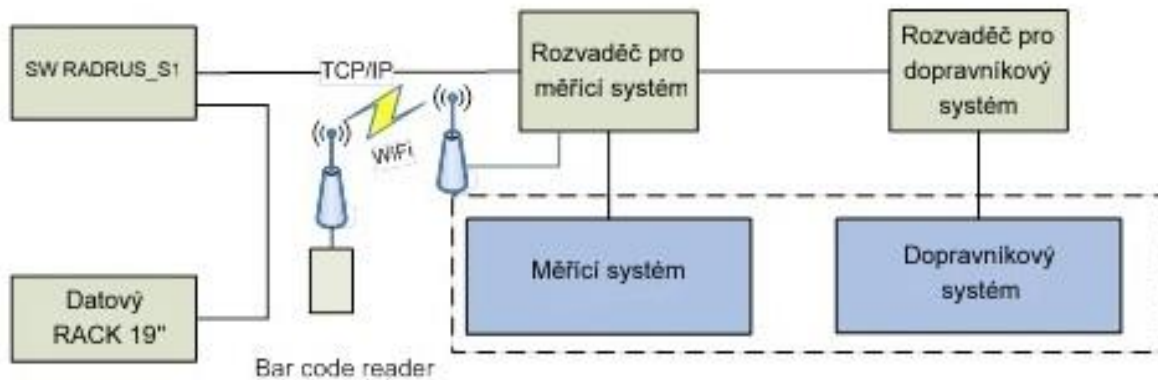


#### 1 Dopravníkový systém

Systém RADRUS S1 se skládá z měřicí aparatury a dopravního systému. Každý systém má svůj vlastní rozváděč pro napájení a řízení. Nadřazeným rozváděčem je E0957\_SP02 rozváděč pro napájení a řízení dopravníkového systému. Z SP02 je napájen podružný rozváděč E0957\_SP03 pro řízení a napájení měřicí aparatury.



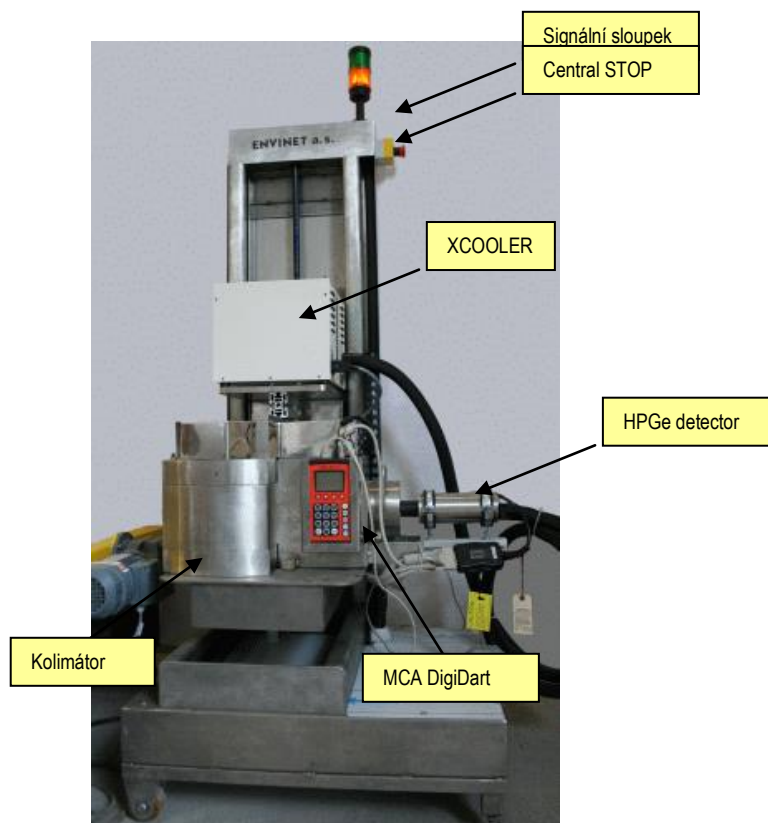
Celý systém je ovládán z přenosného počítače prostřednictvím SW RADRUS S1, který přímo komunikuje s databázovým serverem a řídicím systémem SIMATIC S7-300 (měřicí aparatura), který přes binární vstupy/výstupy ovládá programovatelný automat SIMATIC S7-200 (dopravní systém). Databázový server společně se záložním zdrojem UPS je umístěn v datové 19“ rackové skříni.



### 3 Blokové schéma propojení systému RADRUS\_S1

### 1.2.1 Měřicí aparatura

Měřicí aparatura se skládá z měřicí jednotky, což je spektrometrická trasa, olověné stínění a kolimátor, mechanické části pro vertikální posuv měřicí jednotky, mechanismu pro ovládání kolimátoru (nastavení velikosti štěrby a úhlu) a rozváděčové skříně. Zařízení je vyrobeno z nerezových profilů a plechů. Stínění je vyrobeno z olova, které je opláštěné nerezovým plechem.



4 Měřicí aparatura systému RADRUS\_S1

Vertikální pohyb měřicí jednotky je zajištěn krokovým motorem, ke kterému je přes přírubu připojena jednostupňová převodovka s vyvedenou hřídelí, na které je uchycen trapézový šroub. Krokový motor s převodovkou je umístěn ve spodní části nosného šroubu. Ovládání kolimátoru je realizováno pomocí dvou krokových motorů s vyvedenou hřídelí a šroubového posuvu. Motory jsou umístěny pod nerezovým krytem v horní části olověného stínění.

K přesnému nastavení koncových poloh (vertikální pohyb a nastavení velikosti štěrby a úhlu) jsou na nerezové konstrukci zařízení umístěny indukční snímače, které slouží pro návrat do výchozí polohy. Z důvodu bezpečnosti jsou všechny pohony opatřeny mechanickými koncovými spínači pro okamžité zastavení motoru. Součástí měřicího zařízení je jedno bezpečnostní tlačítko „CENTRAL STOP“ a signální sloupek, který zobrazuje stav zařízení.

### 1.2.2 Rozvaděčová skříň

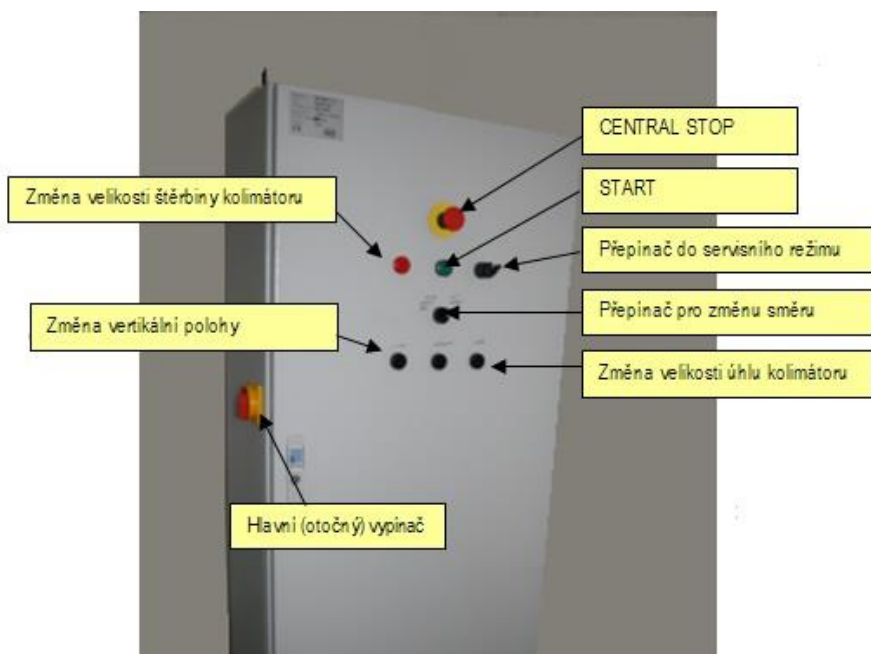
Měřicí systém je napájen a řízen z kompaktního rozvaděče. V rozvaděči je umístěno řídicí PLC SIMATIC S7-300, budící jednotky pro krokové motory, rozhraní pro komunikaci s nadřazeným PC, napájecí zdroje, jističe a další.

Na předním panelu rozvaděče jsou umístěny signální a ovládací prvky. Hlavní vypínač, central stop, indikace chybového stavu, start tlačítko, přepínání automatického a servisního režimu, přepínač volby směru pohonů a tlačítka pro ruční ovládání vertikálního pohybu, ovládání velikosti štěrbin a úhlu.

Rozvaděč obsahuje bezpečnostní obvod, který slouží k manuálnímu vypnutí pohyblivých částí stroje. Součástí obvodu je i bezpečnostní obvod koncových spínačů, který slouží k ochraně mechanismu stroje. Při výpadku bezpečnostního obvodu koncových spínačů je možné opětné nahození pouze v servisním režimu. K tomu slouží blokovací kontakt relé K4.

Hlavní součástí bezpečnostního obvodu tvoří bezpečnostní relé K3, které odpojí napájení motorů přes dvě nezávislá spínací relé K1 a K2. Veškeré externí části bezpečnostního obvodu jsou připojeny pomocí svorkovnice XB. K buzení krokových motorů pro ovládání kolimátoru jsou použity jednotky CD30x (CD40x) a to SM2 pro nastavení velikosti štěrbin a SM3 pro nastavení velikosti úhlu. Budící jednotky jsou napájeny z usměrněného zdroje G2 o napětí 47VDC.

Motor pro zvedací zařízení je buzený přes výkonový stupeň BM1 který je napájen ze tří sériově zapojených zdrojů G3 o celkovém napájecím napětí 70VDC. Řízení motoru zvedacího zařízení je realizováno pomocí řídicí jednotky C1x (SM1), která je napájena ze zdroje G1 o napětí 24VDC.



5 Rozvaděčová skříň

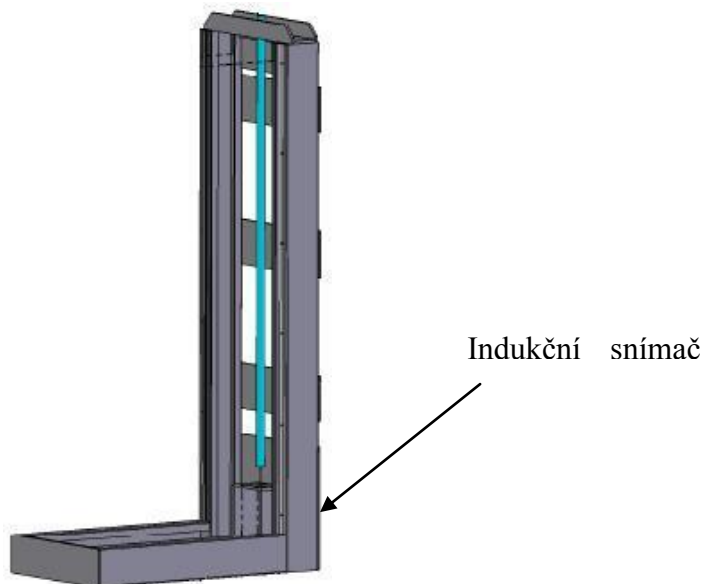
## 1.3 Popis funkce měřicí aparatury

### 1.3.1 Uvedení měřicí aparatury do provozu

Po zkontrolování, zda-li jsou připojeny všechny propojovací kabely se může přístroj zapnout pomocí hlavního otočného spínače. Tím se na signálním sloupku rozsvítí bílé světlo společně s oranžovým. Následné najetí PLC trvá 30s. Stisknutím tlačítka „Start“ na dveřích rozvaděče se rozsvítí zelené světlo na signálním sloupku a měřicí systém se nastaví do výchozí polohy. Pro měření je také nezbytné zapnutí chladicí jednotky x-coller pomocí motorového spouštěče, umístěného v rozvaděči. Od této chvíle je nezbytné dodržet 12 hodin pro chlazení. Po vychlazení se spustí ovládací počítač, inicializace detektoru a multikanálový analyzátor (DigiDART), který je umístěn na měřicím kolimátoru. V aplikaci GammaVision se nastaví vysoké napětí detektoru a spuštěním aplikace Radrus se provede kontrola pozadí a kontrola stability.

### 1.3.2 Výchozí poloha

Jedná se o základní polohu měřicí aparatury. Pro nastavení systému do výchozí polohy jsou na měřicím systému instalovány tři indukční snímače. První indukční snímač je umístěn ve spodní poloze zvedacího zařízení a nastaví měřicí jednotku do spodní polohy. Indukční snímač číslo dvě definuje maximální úhel otevření kolimátoru. Třetí indukční snímač definuje maximální otevření štěrbin kolimátoru. Indukční snímače dva a tři jsou umístěny na olověném stínění pod nerezovým krytem kolimátoru.



6 Schéma vertikálního posuvníku

### 1.3.3 Provoz měřicí aparatury

Všechny měřené sudy se v režimu „naskladnění“ připraví na dráhu s načtením čárových kódů všech naskladněných sudů. Po tomto procesu se spustí v aplikaci „Radrus“ měření. Spuštění měření je signalizováno blikáním zeleného světla na signalizačním sloupku. Po spuštění měření se automaticky provedou následující kroky:

- měřený sud je zvážen na vážném dopravníku
- sud je přesunut na točnu
- provede se nastavení vertikální polohy měřicí trasy pro první měřenou polohu
- provede se nastavení kolimátoru (velikosti štěrbiny a velikosti úhlu) pro první měřenou polohu.
- točna začne vykonávat rotační pohyb (definovaný počet otáček)
- je aktivován proces nabírání spektra prostřednictvím detektoru

Po provedení měření se nastaví další poloha kolimátoru a měřicí trasy a znovu se spustí měření. Po ukončení měření sudu je přivolán další sud a měřicí cyklus se opakuje. Pokud je na válečkový dopravník točny odeslaná prázdná podesta bez sudu otočí se dopravník o 180° a dopravník podestu odešle na výstup. Po změření posledního měřeného sudu (definováno pomocí měřicí dávky) se dopravníkový systém zastaví, měřicí trasa a kolimátor se nastaví do výchozí polohy a zelené světlo na signálním sloupku se rozsvítí. Po odstavení měřicího systému je opětovně uvedení do provozu možné nejdříve za 48 hodin.

### 1.3.4 Signalizační sloupek

Signalizační sloupek se skládá ze zelené, žluté, rudé signálky a houkačky. Zelená je pro signalizaci provozního stavu, žlutá pro signalizaci poruchy, rudá pro signalizaci nestandardních stavů a houkačka pro zvukovou signalizaci před uvedením do automatického provozu.

ZELENÁ	svítí - zařízení je v klidu a připraveno k provozování bliká - zařízení provádí automaticky krok
ŽLUTÁ	svítí - porucha některého z pohonu bliká - přepnuto do servisu
RUDÁ	svítí - není aktivován obvod nouzového zastavení bliká - relé je aktivní, ale nebyl proveden restart (stav po odstranění poruchy nebo přepnutí ze servisu do automatu)
HOUKAČKA	houká 3s po přepnutí do automatického chodu

### 1.3.5 Válečkový dopravník

Dopravní systém je určen pro přepravu sudů – měřených jednotek na kruhových podložkách. Je sestaven z vstupních zásobníkových válečkových dopravníků, vstupního pravoúhlého přechodu, válečkového dopravníku vážení, točny s válečkovým dopravníkem a z výstupních zásobníkových válečkových dopravníků. Točna slouží k otáčení sudů při měření, má dvě definovaná místa, a to 0° a 180°.

Vstupní i výstupní válečkové dopravníky slouží pro nabírání nových sudů, připravených k měření a následné odebrání změřených jednotek. Vstupní pravoúhlý válečkový přechod jsou dva na sobě nezávislé dopravníky s vlastním pohonem, sestavené kolmo k sobě. Pro přenesení sudu z jednoho dopravníku na dopravník druhý slouží převádění kolo ve vnitřním úhlu. Zásobníkový akumulční dopravník slouží pro nahromadění až deseti sudů.

### 1.3.5.1 Popis funkce dopravního systému

Na rozváděči je přepínač „ZPŮSOB PROVOZU“ v poloze *zas* (zaskladňovat). Na dopravník se položí podložka, na kterou se naloží sud. Po kontrole správného uložení sudu na podložce obsluha stiskne potvrzovací tlačítko *odeslat*.



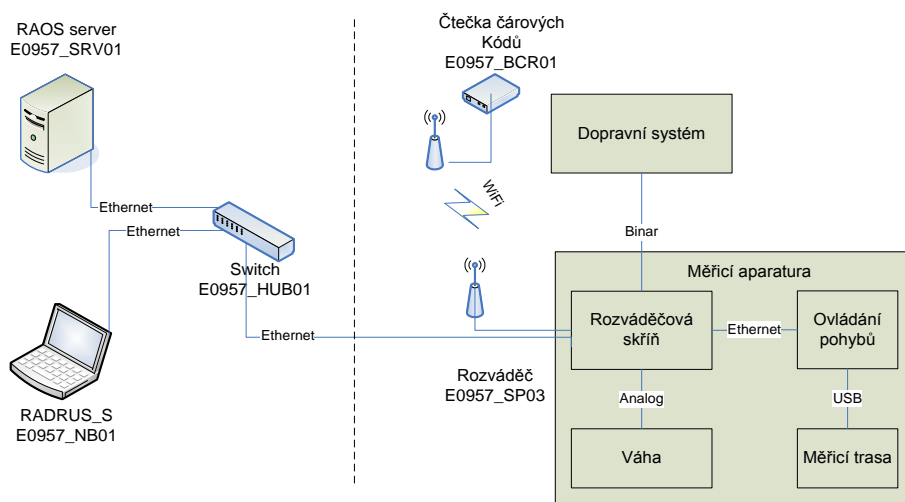
Po těchto úkonech se rozjedou dopravníky a začíná akumulace sudů. Maximální počet sudů na dopravním systému je 25 kusů.

7 Čidlo

Sestupná hrana optického snímače dopravníky zastaví, naopak náběžná hrana snímače dopravník spouští, sestupná hrana dopravník VD3 zastavuje. Po ukončení zaskladňování se přepínač „ZPŮSOB PROVOZU“ přepne do polohy *mer*. V tuto chvíli je zařízení připraveno k měření. Nyní je točna ve své výchozí poloze. Přes systém optických závor je sud převezen na pás, kde je převáženo. Pokud je po zvážení splněna podmínka, že sud váží více než pět kilogramů převezen na točnu, kde dojde k samotnému měření. Pokud je sud zváženo na hodnotu menší, znamená to, že je prázdný a odjíždí na konec pásu.

### 1.3.6 Komunikace mezi systémy

Řídicí počítač řídí komunikaci mezi systémy s periferními zařízeními. Komunikace je realizována prostřednictvím ethernetového rozhraní v kombinaci s bezdrátovým přenosem (WiFi). Jedná se o komunikaci řídicích příkazů k ovládní mechanismů měřicího dopravního systému, komunikaci s databázemi, serverem a čtečkou čárových kódů.



## 8 Zapojení a princip komunikace

### 1.3.6.1 Komunikační protokol mezi PC a PLC

Komunikační protokol je složen z pevných řídicích znaků o délce 11 bytů. Z nichž první a poslední byt slouží k identifikaci komunikace. Celá zpráva je složena z jednoho řídicího znaku a z 8 datových bitů. Při zapnutí aplikace RADRUS se odešle zpráva „Reset“ a zařízení se uvede do výchozího stavu. V této chvíli je zařízení připraveno k činnosti, zároveň odešle zprávu o provedeném resetu. Poté aplikace odešle zprávu na diagnostiku stroje. Dle návratové hodnoty program pokračuje.

Pokud je diagnostika v pořádku je možno spustit měření. Uživatel zadá měřenou dávku a spustí měření. Následuje zpráva „Start sud“ na základě které řídicí systém přivolá měřený sud na vážící dopravník, kde je podesta zvážena. Pokud je hodnota váhy sudu větší jak 2kg je do PC vrácena zpráva s hodnotou váhy. Hodnota váhy je desetkrát vynásobena a odeslána jako celočíselný typ (přesnost měření na 0,1 kg). Následně je sud poslán na válečkový dopravník točny.

Pokud PC přijme zprávu o zvážení sudu, odešle zprávu „Nastav kolimátor“. Řídicí systém nastaví dle typu sudu, polohu, úhel a štěrbinu kolimátoru (př.: typ=1 nejmenší sud, poloha=2 druhá vrstva, štěrbina=3 maximální štěrbina). Zároveň se uloží hodnota o počtu otáček kolimátoru. Po nastavení kolimátoru a dojezdu sudu na točnu je odeslána informace o připravenosti do PC.

Aplikace RADRUS otevře detektor a zadá příkaz na spuštění točny, následně po najetí točny odešle PLC příkaz ke spuštění měření.

Po změření může PC odeslat tři zprávy.

- zpráva „Start sud“ odeslání stávajícího sudu a přivolání dalšího sudu v pořadí
- zpráva „Nastav kolimátor“ změna polohy a stav kolimátoru na měřeném sudu (sud zůstává na točně)
- zpráva „Konec“ odešle sud s točny ven a ukončí měření

### 1.3.6.2 Komunikace mezi motorovými budiči

Pro řízení krokových motorů jsou použity řídicí a budící jednotky od firmy Microcon. Pro řízení motoru na ovládání kolimátoru jsou použity jednotky CD40x s kontrolérem a pamětí RAM. Řídicí povely se po vypnutí napájení ztratí. K řízení motoru zvedacího zařízení je použita řídicí jednotka C1X se stejným kontrolérem. Řídicí jednotka řídí výkonový budič. Jednotky pro stavěcí motory kolimátoru jsou napájeny z transformátorového nestabilizovaného zdroje. Budící jednotka motoru zvedacího zařízení je napájena ze tří sériově zapojených zdrojů o celkovém napájení 69VDC/6A .

Řídicí systém ovládá řídicí jednotky pomocí sériového rozhraní přes komunikační modul. Řídicí jednotky jsou zapojeny do série na komunikační linku s jedinečnou adresou. Komunikační rychlost je 4800 Bd, bez parity, 1 stop bit, 8 datových bytů. Pro komunikaci s řídicími jednotkami krokových motorů, jsou použity příkazy ve formátu ASCII. Ovládání řídicí jednotky zvedáku a řídicích jednotek kolimátoru se mírně liší.

### 1.3.6.3 Komunikace mezi měřicím systémem a dopravníkovým systémem

Komunikace s dopravníkovým systémem je realizována pomocí binárních příkazů. Pro ovládání jsou použity 4 bity. Pro zpětnou vazbu od dopravníku je použito 5 bitů. Jednotlivé bity řídicího systému jsou galvanicky odděleny pomocí reléových výstupů.

### 1.3.6.4 Komunikace s vážicím modulem

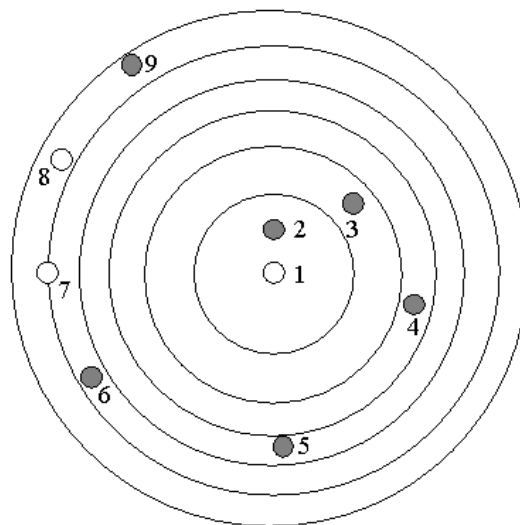
Vážicí modul je osazen sadou 4 tenzometrů. Tenzometry jsou paralelně propojeny a analogový signál je přiveden na vážicí modul Siwarex FTA. Pro kompenzaci měřené váhy je nutné měřenou váhu vynásobit 4x.

### 1.3.7 Výroba kalibračního přípravku

Přípravek má tvar válce o objemu dvě stě litrů a umožňuje homogenní i nehomogenní rozložení aktivity. Do sudu jsou vertikálně upevněny plastové trubky. Použití plastu je z důvodu minimálního ovlivnění vyzařované aktivity. Pokud bychom použili trubky ocelové, zjištěné záření by bylo dosti zkreslené. Sud je rozdělen na tři stejně velké části, kde každá část je stejně velká. Do trubiček se zasunuje etalon ve tvaru tyčinky s aktivitou rovnoměrně rozloženou po délce. Tyčinka by měla mít délku jedné třetiny sudu. Tedy u standardně používaných sudů asi 27 cm. Do trubiček je možné vkládat i bodové zářiče simulující silně nehomogenní rozložení odpadního materiálu v sudu. Sud je tedy rozdělen na tři stejně velké části, kde každá z nich je vyplněna určitým materiálem. Nejvrchnější část je vyplněna ekostyrenem, prostřední část je naplněna pískem a třetí část je z betonu.



9 Kalibrační sud



10 Rozmístění vertikálních vodících trubiček

Při kalibraci se nabírá s polohou etalonu postupně na pozici 2, 3, 4, 5, 6, 9. Sud se během měření otočí vždy přesně o přesně daný počet otáček. Všechna spektra se sečtou a provede se účinnostní kalibrace. Vzhledem k rotační symetrii problému se docílí toho, že v sumárním spektru detektor vidí aktivitu jako rovnoměrně rozloženou v objemu. Celková aktivita v sudu během měření je  $6A$ , kde  $A$  je aktivita etalonu.

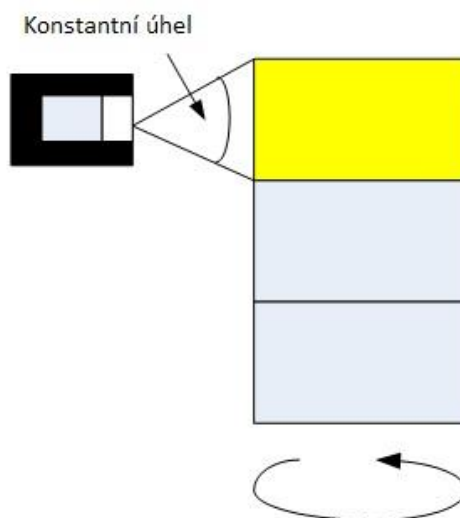
## 2 Analýza funkce současného kolimátoru

Kolimátor je důležitou součástí zařízení pro měření nízko a středně radioaktivního odpadu. Jeho hlavním úkolem je odstínění okolí, kde by radioaktivní částice, které právě z okolí přicházejí (hlavně tedy záření z okolních sudů) mohly ovlivnit správnost výsledků měření. Jeho úkolem je tedy vytvoření dobrého měřicího prostředí pro detektor, který je umístěn uvnitř kolimátoru. Proto je samotný kolimátor vytvořen z olova, který je opláštěný nerezovým plechem.

Měřicí kolimátor se skládá z podstavy a hnacího mechanismu polohovacího zařízení, které umožňuje měřit sud po celé jeho výšce. Kolimátor je schopen vytvořit v maximálně možné otevřené pozici průsvit pro měření asi jedné třetiny sudu detektorem. Proto je zapotřebí vertikální posuv, který je zajištěn pomocí trapézového zvedacího šroubu o průměru 36 milimetrů a úhlem stoupání 6 milimetrů. Tento šroub je spojen k hnacímu krokovému motoru pomocí převodovky s vyvedenou hřídelí, přírubou a s převodovým poměrem  $i=5$ . Motor je umístěn ve spodní části nosného šroubu. Součástí mechanismu kolimátoru je jedno bezpečnostní tlačítko „centrál stop“ dále je zde i signální sloupek, který zobrazuje stav zařízení.

Kolimátor obsluhují ještě dva hnací mechanismy, které slouží k nastavení velikosti štěrbiny a velikosti úhlu. Oba hnací mechanismy jsou složeny z krokového motoru se šroubovým posuvem a jsou uloženy v horní části kolimátoru. K buzení krokových motorů pro řízení úhlu jsou použity jednotky SM2 pro řízení štěrbiny a SM3 od firmy Microcon. Budicí jednotky jsou napájeny z usměrněného zdroje napětí 47V G2.

Motor pro zvedací zařízení je buzený přes výkonovou jednotku BM1 která je napájena ze tří spřažených zdrojů 3x23V DC G3. Řízení motoru zvedacího zařízení je přes jednotku SM1 která je napájena ze zdroje G1. K přesnému polohování všech mechanismů jsou umístěny v mechanismu koncové spínače, které slouží pro návrat do výchozí polohy stroje. Zároveň jsou veškeré pohyblivé mechanismy opatřeny mechanickými koncovými spínači v obou koncových polohách pro okamžité zastavení motoru.



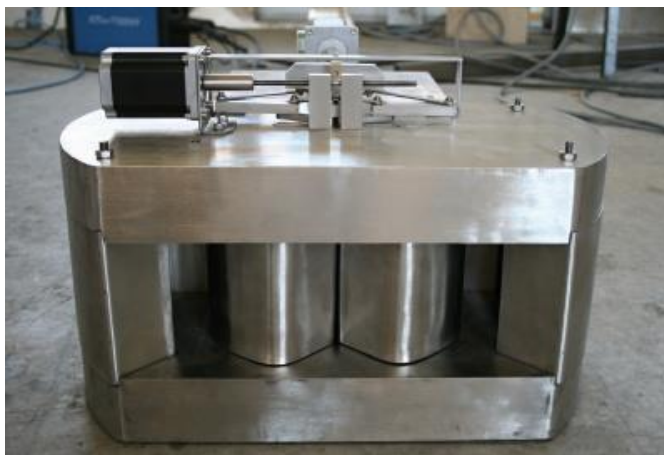
11 Měřicí úhel kolimátoru



12 Krokové motory stávajícího kolimátoru

Jak již bylo napsáno výše, kromě vertikálního posuvu umožňuje kolimátor ještě dva pohyby. Jedním z nich je horizontální přímočarý pohyb, který se otevírá nebo přizavírá dle vyzařované aktivity měřeného sudu. Tento pohyb je poháněn pomocí krokového motoru s šroubovým posuvem. Kolimátor dostává příkaz k pohybu, pokud detektor zaznamená nevhodný počet impulsů. Pro správnost měření musí být zajištěny optimální podmínky pro detektor. Jednou z podmínek je měření aktivity v měřicím rozsahu kolimátoru. Kdyby nebyly zajištěny vhodné podmínky pro měření, mohlo by dojít k zahlcení detektoru. Další možností je, že detektor zaznamená velmi málo radioaktivních částic a tak nebude moci správně měřit. Kolimátor tedy podle příkazu nastaví velikost mezery mezi měřicím sudem a detektorem. Podle velikosti mezery je spočítané pro správnost měření počet otáček sudu při měření. Každá otáčka trvá jednu minutu. Tento pohyb je tedy nejdůležitějším úkolem kolimátoru.

Druhým pohybem je rozevírání kolimátoru podle velikosti sudu. Mění se úhel natočení obou posuvných částí. Tento proces je důležitý, protože celý měřicí systém disponuje možností měřit různou velikost sudů. Je možné měřit 50, 100 a 200 litrové sudy. Padesáti litrové sudy, které jsou vyrobeny z PVC, obsahují biologický odpad, který je roztržiděný a není určen ke skladování. Sto litrové sudy jsou již vyrobeny z oceli, ale také nejsou určeny pro skladování. Pro skladování jsou určeny pouze sudy o objemu 200 litrů. Ty obsahují železný a betonový odpad. Změna úhlu kolimátoru musí být velice přesná, poněvadž pokud by se kolimátor otevřel víc, než je třeba, mohlo by dojít k zachycení radioaktivity okolních sudů. Naopak pokud by se kolimátor neotevřel dostatečně, bylo by měření neúplné, protože by nebyl změřen celý objem sudu. Kolimátor má tedy naprogramované tři hodnoty otevření a to 30, 60 a 90 stupňů.



**13 Zavřený kolimátor**

Předpokládaná životnost mechanismu kolimátoru do generální opravy je 5 let při dodržení pravidelných servisních kontrolách a při dodržení údržby komponent za dobu provozu. Každá pohyblivá část celého měřicího zařízení zvyšuje pravděpodobnost poruchy. V praxi se zjistilo, že nejvíce poruchovou součástí je právě otevírání, či zavírání kolimátoru podle velikosti měřeného sudu. Tyto systémy jsou dováženy do velice vzdálených zemí, jako je Rusko, Ukrajina atp. Proto je každý servis jak časově tak hlavně finančně velice náročný. Se zákazníky se tedy dohodlo, že systém bude určen pouze pro měření 200 litrových sudů. Vznikl tedy požadavek na úpravu a celkové zjednodušení samotného kolimátoru. Důraz je kladen také na jednoduchou montáž a demontáž kolimátoru, kterou by dokázal vyškolený pracovník sám provést.

### 3 Radioaktivita a měřicí hodnoty přístroje

Radioaktivita je schopnost jader atomu přeměnit se v jiný atom vysláním záření, nebo-li je to samovolná přeměna jader nestabilních nuklidů na jiná jádra, při níž vzniká radioaktivní záření. Toto záření dělíme do několika skupin. Základním dělením je rozdělení záření na druhy  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

Záření alfa není pro předmět této bakalářské práce tak zásadní ze dvou důvodů. Prvním je, že záření alfa dokáže vyzářit pouze velice ty nejtěžší jádra, jakou jsou urany a transurany. Tím zásadnějším důvodem je fakt, že jde velice jednoduše odstínit. Uvádí se asi 0,1mm v látkách hustoty vody nebo tkáně. Proto se v našem případě záření alfa odstíní hned v sudu.

Záření beta je nejčastějším a nejdůležitějším druhem radioaktivity. Částice vzniklé při přeměně jader se pohybují velice rychle a nesou kladný nebo záporný náboj. Kladný náboj nese záření  $\beta^+$  a záporný záření  $\beta^-$ . Pronikavost  $\beta$  záření je větší než  $\alpha$ , ale menší než  $\gamma$ . Tyto částice mohou pronikat materiály s malou hustotou. K zastavení záření  $\beta$  stačí přibližně jeden metr vzduchu nebo kovu o šířce  $10^{-4}$ m (0,1mm).

Po ději, jako je radioaktivní přeměna, zůstává jen zřídka dceřiné jádro v nevybuzeném základním stavu. Jádro je po přeměně jakoby „nafouklé“, protože ztratilo nějaké částice a energii. Proto se zpravidla velmi rychle smrskne, nastane deexcitace. Při tomto ději se příslušný rozdíl energií vyzáří ve formě fotonu. Foton je elektromagnetické záření. Tomuto záření říkáme záření  $\gamma$  a je velmi těžké je odstínit. Pro odstínění je nutné použít velkou masu betonu nebo olova nebo jiného materiálu s velkou hustotou. Záření gama je z hlediska předmětu této bakalářské práce pro nás tedy nejvíce důležitým zářením. Hlavními gama emitory jsou Mn54, Co60, Nb94, Cs137, Ba137, Eu152.

#### 3.1 Aktivita

Aktivita je počet jader, které se přemění za jednotku času. Přirozenou jednotkou aktivity je jeden rozpad za jednu vteřinu, na počest výborného fyzika Henryho Becquerela nazvána jako 1Bq (jeden becquerel). Čím větší je hodnota v becquerelech, tím víc se rozpadá jader za jednu sekundu.

Dříve byla místo jednotky becquerelem užívána jednotka Ci (curie). Tato jednotka byla užívána na počest manželů Curieových, kteří z mnoha tun uranové rudy získali 1gram čistého radia. Právě tento jeden gram radia odpovídal jednotce 1Ci. Později se však zjistilo, že tato jednotka je z praktického hlediska nevhodná. Proto byla používána nová jednotka 1Bq, přepočít je:  $1\text{Ci} \cong 37\text{GBq}$ . [7]

#### 3.2 Měřicí hodnoty detektoru

Zařízení obsahuje detektor, který zajišťuje měření aktivity jednotlivých sudů.

Detektor má následující měřicí rozsah

Emitory	Rozsah detekce [Bq/kg]
Beta/gamma	$10^3 - 3.7 \cdot 10^{10}$
Alpha excluding transuranic	$10^2 - 3.7 \cdot 10^6$
Transuranic	$10^2 - 3.7 \cdot 10^5$

## 4 Návrh konstrukčních úprav Kolimátoru

### 4.1 Obecný návrh

Konstrukční úpravy spočívají v celkovém zjednodušení kolimátoru. Hlavním zjednodušením bude omezení pohybů kolimátoru. Po jednání společnosti Envinet a.s. se zákazníky se obě strany shodly, že nadále nebude potřeba měřit sudy jiných velikostí než o objemu dvě stě litrů. Primárním a nejvíce objemným odpadem je beton a ocelové části, které jsou ukládány pouze do 200 litrových sudů.

První zjednodušení tedy spočívá ve vyřazení pohybu, který dovoľoval rozevření pohyblivých částí kolimátoru pro měření různě velkých sudů. Celý tento proces je nyní nepotřebný a s ním i všechny související a dotčené komponenty, zajišťující tento pohyb. Druhý pohyb, který otevírá a zavírá průsvit kolimátoru i zůstane zachován, poněvadž nesouvisí s velikostí měřeného obalu a jedná se o primární funkci kolimátoru.

Dalším zjednodušením je sestavení celého kolimátoru z více dílů, které jsou spojeny jedním šroubem na každé straně a utažené pomocí matice s podložkou. Tato konstrukce umožňuje snadnou montáž, či demontáž zařízení v případě servisu, kontroly nebo výměny detektoru.

### 4.2 Konkrétní návrh úprav

Pohyb posunujícího stínění bude i nadále realizován pomocí krokového motoru. Výstupní hřídel motoru bude připojen silovým stykem k hřídeli se závitem, který pomocí závitů, vytvořeném v otvoru posunujícího se stínění, bude měnit otáčivý pohyb na pohyb translační (posuvný). Závit bude na hřídeli rozdělen na dvě části. Na jedné části bude vyroben levý závit, na druhé části bude závit pravý. Stejně tomu bude i u závitů v posunujících se prvcích. Takto vyrobený závit způsobí, že se při otáčení budou prvky buď k sobě přibližovat a uzavírat tak průsvit mezi detektorem a měřeným sudem, nebo naopak.

Hřídel se závitem bude sloužit pouze pro přenos pohybu. Kdybychom tento hřídel použili i jako nosný prvek, je velmi pravděpodobné, že bychom překročili mezní stav a následně by došlo k ohybu hřídele. Jedno stínění má hmotnost okolo 12 kg. Celé stínění bude velmi hmotné, protože všechny komponenty musí být vyrobeny z olova, aby bylo zajištěno dodržení projektové požadované tloušťky materiálu s cílem zamezení zkreslení měřených hodnot detektoru pronikajícími částicemi skrze stínění. Proto je nutné při konstrukčním návrhu kolimátoru zohlednit jednotlivé velmi hmotné prvky. Primární komplikaci související s hmotností komponent předpokládám v místech, kde dochází k tření styčných ploch. Také zpětná vazba z praxe ukázala, že po krátké době provozu dojde k opotřebení těchto styčných ploch.

Jednou ze zvažovaných možností je použití maziva pro snížení tření a tím zvýšení životnosti prvků. Při použití málo viskózního maziva by bylo nutné navržení a použití prostoru, v kterém by toto mazivo (olej) bylo uloženo a zajišťovalo mazání styčných ploch. Tento způsob mazání je však příliš komplikovaný a je v přímém rozporu s primárním cílem této práce - vytvoření výrobně a servisně jednoduššího zařízení. Druhou možností je použití vysoce viskózního maziva. Zde však předpokládám, že by docházelo vlivem velké váhy jednotlivých prvků k vytlačování maziva ze styčných ploch. Z výše uvedeného textu vyplývá nevhodnost užití maziva k mazání styčných ploch.

Dalším možným řešením je navrhnout a vyrobit tyto prvky z kluzného a zároveň velmi tvrdého materiálu. Při použití tohoto řešení by musel být kladen důraz na kvalitu obrobení těchto součástí. Styčné plochy by bylo potřeba vyrobit s co nejmenší drsností, aby došlo k co nejmenšímu tření vzniklé při pohybu. Vyrobit tyto prvky s velmi malou drsností je ale finančně dosti náročné.

Dalším řešením by bylo zakoupení lineárního vedení, které je určeno právě pro tuto problematiku, kde je potřebné zajistit posuv velmi těžkých prvků. Na webových stránkách prodejce [zbozi.arkov.cz](http://zbozi.arkov.cz) jsem našel lineární vedení vyrobené firmou INA. Použití této varianty se mi jeví nejvhodnější, protože by nebylo nutné řešit mazání či zabývat se životností styčných ploch jednotlivých součástí.

Při řešení samostatného tvaru jednotlivých komponent kolimátoru je vhodné použití na vstupu takových polotovarů, umožňujících jednoduchou výrobu konečných komponent a minimalizujících množství odpadu. Jedním z důvodů akcentace minimalizace odpadu je cena vstupního olova, které je velmi drahé, a proto hodně odpadu by mělo za důsledek zbytečně velké náklady na výrobu kolimátoru.

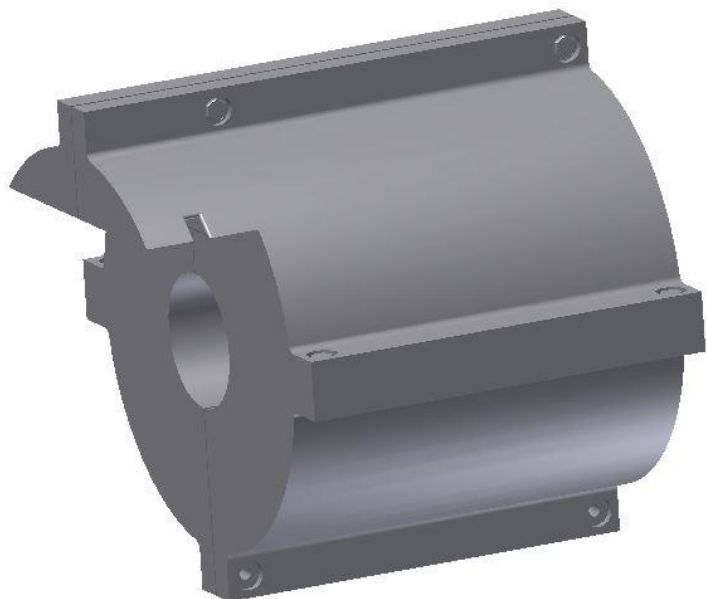
## 5 Zhodnocení navrženého řešení

V této části jsou hodnocena tři navržená konstrukční řešení. Každý návrh je pro lepší představivost vymodelován v programu Inventor. Součástí příloh jsou výkresy sestav jednotlivých řešení vytvořené v programu Autocad a také obrázky základních 3D pohledů celých kolimátorů.

### 5.1 Návrh 1

Tento návrh kolimátoru vznikl jako první možnost konstrukčních úprav. Válcový korpus je zkonstruován tak, že boční stínění je složeno ze čtyř částí a pohyblivé stínění má pouze jednoduchý translační pohyb. Je zde tedy dosaženo základních požadavků firmy Envinet. Celý systém je složen pouze z devíti částí, což je na jednu stranu velkou výhodou (výroba), zároveň však i velkou nevýhodou vzhledem k použitému stínicímu materiálu, poněvadž jednotlivé komponenty jsou v tomto případě příliš velké a hmotné. Při výpočtu hmotnosti jednotlivých komponent jsem došel k závěru, že ruční manipulace a následná ruční kompletace je nemožná, poněvadž není možné dodržet normy bezpečnosti práce a bylo by nutné použít zdvihacích zařízení.

Boční stínění je, jak již bylo napsáno výše, složeno ze čtyř kusů. Dva horní díly jsou stejné, jen zrcadlově obrácené. Dva spodní díly jsou také stejné. Tyto prvky jsou spojeny dohromady pomocí 8 šroubů, což se mi nejeví

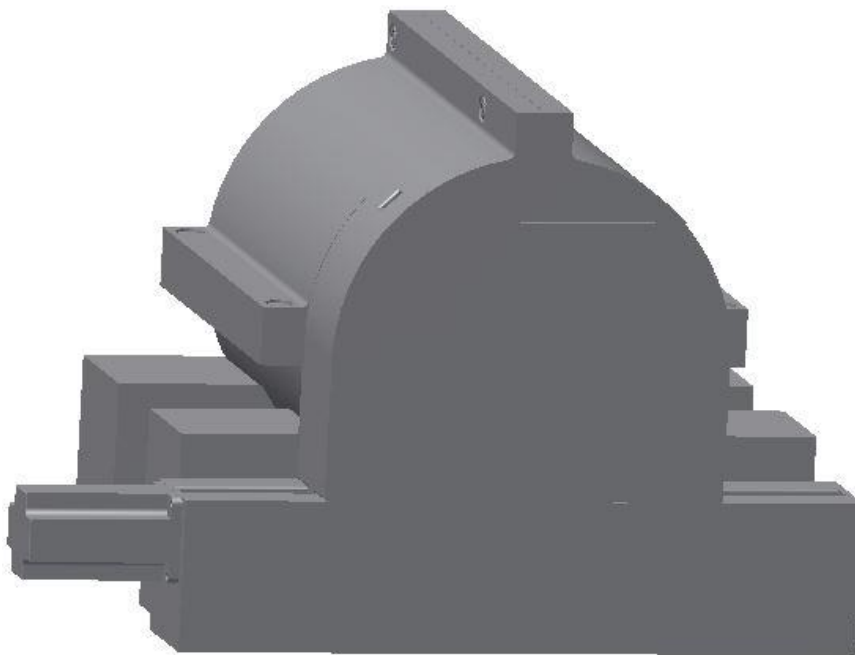


z hlediska následného možného servisu jako optimální řešení. Lepší variantu spatřují v užití jednoduššího vymežovacího kolíku, pomocí něho bude zajištěno správné usazení. Při použití vymežovacího kolíku by následně stačilo použít pouze šrouby čtyři. Existuje nepřehledné množství dalších variant, jak jednotlivé komponenty této varianty kolimátoru spojit, vzhledem k rozsahu této práce a vzhledem k vyloučení vhodnosti této varianty (váha jednotlivých komponent) nebyly dále zvažovány a popisovány.

Vhodnější variantou by také bylo zlepšení těsnosti vůči radioaktivním částicím, které by mohly mít zkreslovat výsledky měření. Při současném návrhu je určitá pravděpodobnost, že v místě spojení dvou bočních komponent stínění vznikne tzv. "průstřelová mezera", která plně nezamezí přístupu radioaktivních částic k detektoru.

Velkou výhodou této varianty z pohledu ceny materiálových vstupů do výrobního procesu je konstantní tloušťka bočního stínění, zde spatřuji výhodu v minimalizaci odpadního materiálu. Dochází tak k nezanedbatelné úspoře cenově drahého materiálu, kterým olovo bezesporu je.

Při návrhu tvaru pohyblivých komponent stínění se mi podařilo navrhnout tvar, který je při úplném zavření kolimátoru stejný jako tvar bočního stínění. Tato úprava je podle mého názoru esteticky vyvážená, z technického hlediska výrobního a měřicího však další výhodu nepřináší. Úplné zavření kolimátoru totiž nebývá příliš časté, tato poloha nastává jen při plném přehlčení detektoru měřenými částicemi.

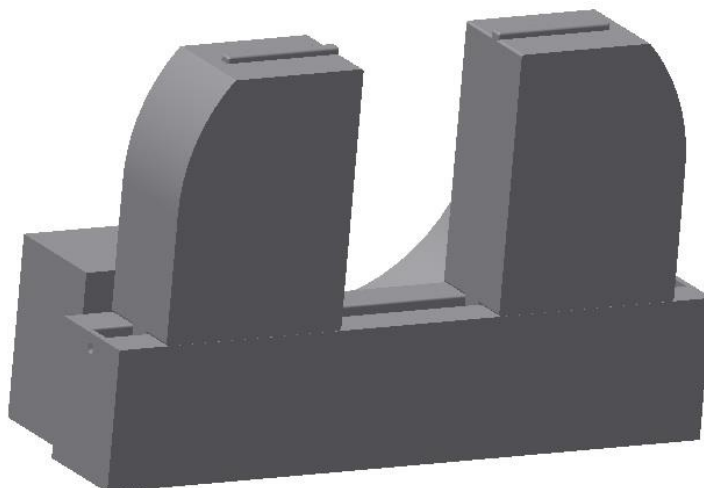


### 15 Zavřený kolimátor

Primární nevýhodou tohoto návrhu spatřuji ve velmi obtížně realizovatelné výrobě čtyř kusů bočního stínění. Konzultoval jsem výrobní možnosti těchto komponent s cca 5 strojně výrobními podniky v okolí mého bydliště a jako takřka jedinou možností je výroba těchto součástí litím olova do připravené formy (finální plášť či následné opláštění). Nároky na práci s tekutým olovem z hlediska hygienických a BOZP norem jsou vysoké, příprava formy v takto nestandardním tvaru se mi však jeví jako takřka nereálná. Tento závěr byl také potvrzen pracovníky všech oslovených společností.

Dalším nevhodně navrženým prvkem jsou držáky celého kolimátoru. Jsou vyrobeny z oceli 11500 a jejich hmotnost je v důsledku tvaru a velikosti enormní. Jako vhodnější varianta se mi jeví navrhnout držení kolimátoru z více menších a hlavně tenčích částí. Dobrým kompromisem by mohlo být použití plechu o tloušťce 5 nebo 10 milimetrů, který by zajišťoval spojení/uchycení s ostatními komponentami, nikoliv stínící vlastnost.

Pohyb předního stínění kolimátoru je možno obecně provést dvěma způsoby - závitem v těle stínění nebo použitím matice/vložky se závitem uloženým ve volnějším pouzdru. První způsob není možno z důvodu měkkosti olova použít, pohyb předního stínění jsem proto realizoval vložkou se závitem. Tuto vložku je nutno vyrobít ve dvou kusech - jednu s levým a druhou s pravým závitem.



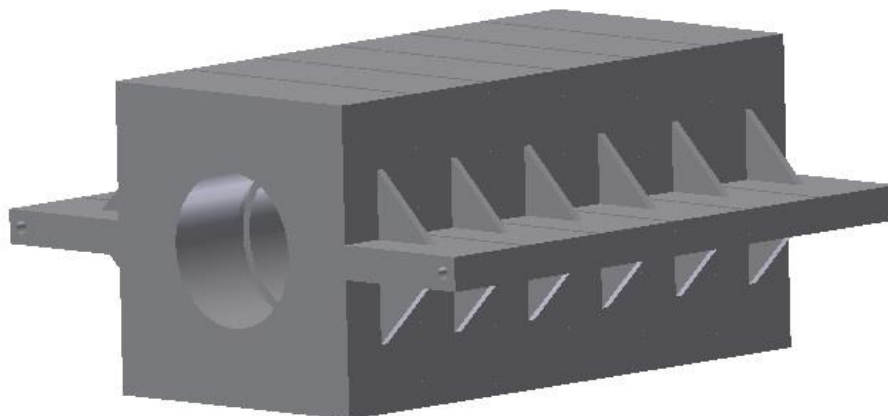
**16 Pohyblivé stínění válcového návrhu**

Další problém nastává při posuvu stínění. Z důvodu velkého tření by nastalo opotřebovávání styčných ploch. Po čase by se třením tyto plochy úplně vydřely a nastala by porucha kolimátoru. Možným návrhem je přidat na styčné plochy montovací destičky, které budou povrchově upraveny. Povrchovou úpravou materiálu bychom dostali lepší odolnost proti opotřebení. Bohužel se domnívám, že tyto destičky bychom nevyrobili natolik hladké, že by po čase nedošlo také k jejich vydření.

## **5.2 Návrh 2**

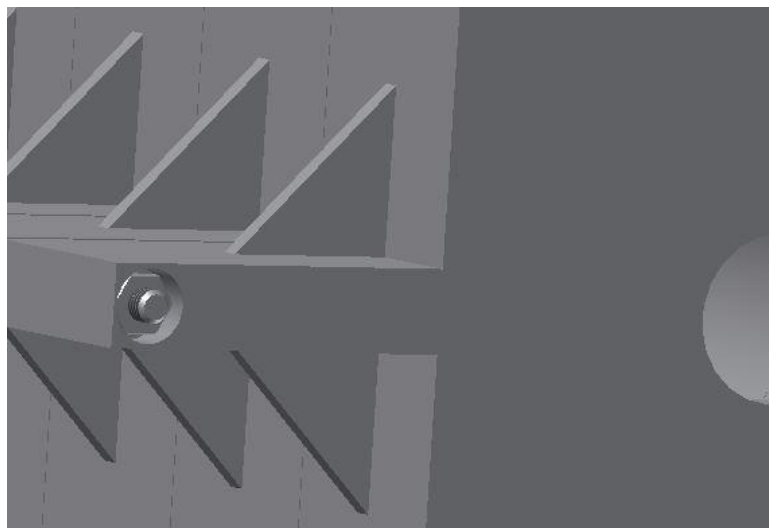
Druhým návrhem je kolimátor hranatého tvaru. Tato konstrukce je velmi jednoduchá na výrobu, což přináší velkou jak časovou tak finanční úsporu. Velkou část prvků, ze kterých se tento návrh skládá, je možno zakoupit jako polotovary.

Kolimátor v této druhé variantě je složen z více částí a jednotlivé díly jsou tudíž lehčí než v předchozím návrhu. Také následná montáž bude výrazně jednodušší než montáž válcového návrhu. Posuv stínění je zde zajištěn pomocí krokového motoru připojeného na hřídel se závitem, stejně jako u předchozí varianty. Boční vedení je vytvořeno z pěti stejných částí spojených pomocí šroubu s maticí. Koncová část stínění je tvarově a rozměrově stejná jako zbylých pět, avšak průměr vrtané díry je menší z důvodu zajištění detektoru proti vypadnutí. Také tato část je k ostatním částem stínění spojena pomocí šroubu. Tento šroub prochází přes ramena, která jsou spojena s tělem bočního stínění pomocí žeber. Tato ramena slouží ke zjednodušení montáže.



**17 Boční stínění hranatého návrhu**

Celý kolimátor obsahuje pouze dva šrouby, které prochází po celé jeho délce. Domnívám se, že ramena by mohla být vyrobena tenčí, aby došlo k úspoře materiálu a k následnému snížení hmotnosti kolimátoru a vstupní ceny materiálu.



**18 Detail žeber**

I přes tyto výhody považuji za vhodné navrhnout další, optimálnější variantu spojení všech součástí kolimátoru. Další výhodou tohoto tvaru je také fakt, že není třeba vyrábět konstrukci, která by nesla celý kolimátor. Díky hranatému tvaru je zaručena dobrá stabilita kolimátoru a je možné kolimátor pouze položit na plošinu, která je součástí sloupku zajišťující vertikální posuv.

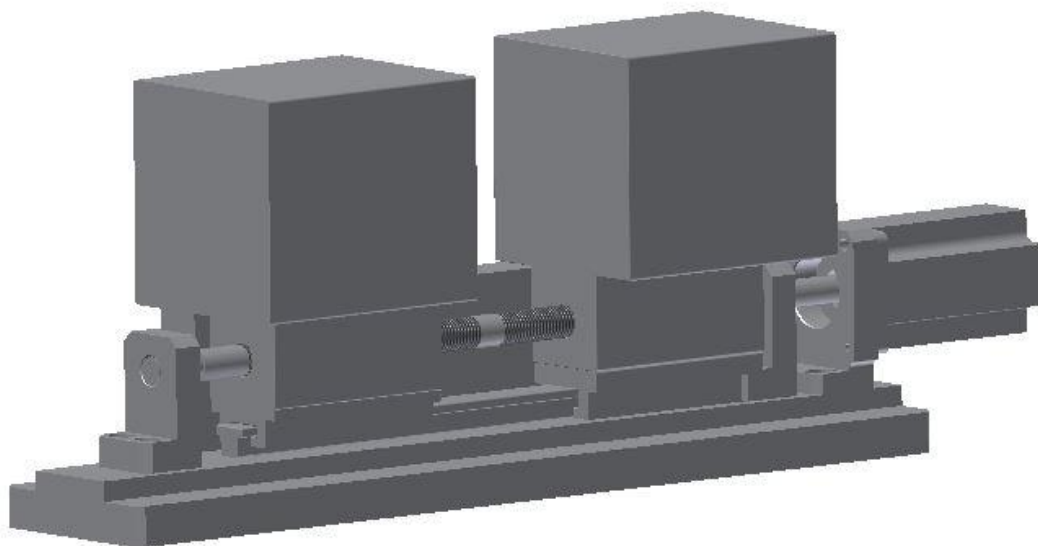
Nevýhodou tohoto návrhu je nekonstantnost průřezu stínění. Stěny bočního stínění jsou dostatečně tlusté, aby zabránili průniku radioaktivních částic, bohužel v rozích kvůli tvaru jednotlivých komponent vznikla zbytečně široká stěna, která neplní stínicí funkci. Tento materiál pouze zvyšuje váhu kolimátoru a také, protože je tato část vyrobena z olova, značně zvyšuje celkovou cenu vstupních komponent. Jak u předchozího návrhu i zde je potřeba vyrobit vložku se závitem, která bude vložena do posuvného stínění. Možným návrhem je také zalisovat do stínění z každé strany matici. I zde bude nastávat problém s opotřebením materiálu v důsledku velkého tření styčných ploch. Možné řešení je již napsáno v přechozím návrhu.

### 5.3 Návrh 3

Tento konstrukční návrh vznikl spojením výhod dvou návrhů předchozích a zohledňuje řešení problematických částí jednotlivých variant. Navržené řešení splňuje všechny primární požadavky, které jsou uvedeny jako cíle návrhu konstrukčních úprav. Obrázky navrženého zařízení jsou obsahem příloh, uvedených na konci této bakalářské práce.

Kolimátor obsahuje podstavu, ke které je pomocí držáků připevněn hřídel se závitem. Tento hřídel pohání dva identické posuvné prvky, které umožňují pohybem rovnoběžným s osou hřídele otevírat či uzavírat oblast měření detektorem. Přenos otáčejícího pohybu na pohyb posuvný je umožněn díky závitu, který obsahují jak hřídel, tak posunující se prvky. Aby byl tento posuv korektní, musí být hřídel rozdělený na dvě části.

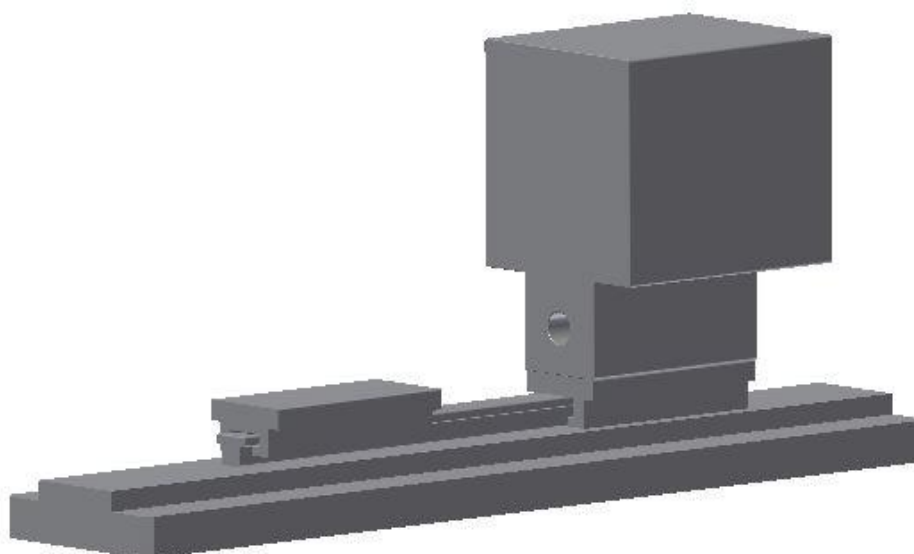
První část bude osazena levým závitem, přičemž posunující se stínění, umístěné na stejné straně hřídele, bude také vyrobeno s levým závitem. Na druhé straně hřídele a druhém posunujícím se stínění bude závit pravý. Opačné závity zajistí při otáčení hřídele pohyb stínících prvků proti sobě. Jak již bylo uvedeno v kap. 5.1, závit v posunujícím se stínění by bylo zbytečné vyrábět přímo do stínících bloků. Poněvadž použitý stínící materiál (olovo) velmi měkký a závit by nedokázal spolehlivě, bez deformací, přenášet síly pohybující 13 kilogramovým stínícím blokem. Jednou z variant, jak tento problém řešit, je vložení ocelové vložky se závitem do stínícího bloku. Tato vložka by ale musela být vyrobena tak, aby bylo zabráněno protáčení se této vložky ve stínění. Dle mého názoru by bylo dostačující užití ocelové tyče čtvercového průřezu, v které bude po vyvrtání otvoru vyroben závit. Tato vložka bude vložena do stínění, v kterém bude vyfrézován otvor shodného tvaru a velikosti s čtvercovou podložkou. Samotný hřídel bude poháněn krokovým motorem. Motor bude uchycen k podstavě rámu pomocí držáku se čtyřmi metrickými šrouby o průměru 6 milimetrů.



19 Posunující se stínění se závitem

Posunující se stínění bude uchyceno k vedení, které zabezpečuje pohyb v ose. Toto vedení jsem zvolil ve tvaru T. Stínění je dlouhé více než 100 milimetrů, proto by neměl nastat problém ve zpříčení těchto prvků. Vedení bude složeno ze dvou částí, první bude přichycena ke stínění, druhá část bude přichycena k podstavě. Ke snížení tření těchto dvou po sobě jezdících částí bude použito vhodné mazivo. Další možností je výroba těchto dvou součástí z materiálu, který má dobré kluzné vlastnosti.

V katalogu firmy Feron, jednoho z hlavních dodavatelů materiálů k opláštění olova, jsem našel materiál vhodný pro výrobu pláště této součásti. Navrhovaným materiálem je PbSn6Sb14CuAs dle ČSN 42 3721. Tento materiál má dobrou odolnost proti opotřebení a pro své dobré kluzné vlastnosti je používán například pro kluzné plochy u parních a vodních turbín nebo pro výstelky pouzder. Materiál je možno používat do teploty 100°C, což je v případě navrhovaného řešení v mezích použitelnosti. Další, dle mého názoru nejlepší variantou je užití lineárního vedení, které je navrženo a vyrobeno tak, aby dokázalo zvládat velké tření při pohybu a neopotřebovávalo se. Cena tohoto vedení se sice pohybuje v řádech tisíc Kč, avšak při použití této komponenty nepředpokládám problémy s opotřebením styčných ploch pohyblivých součástí a tudíž servisně údržbové náklady bude okamžitě vyrovnávat vstupní investici.

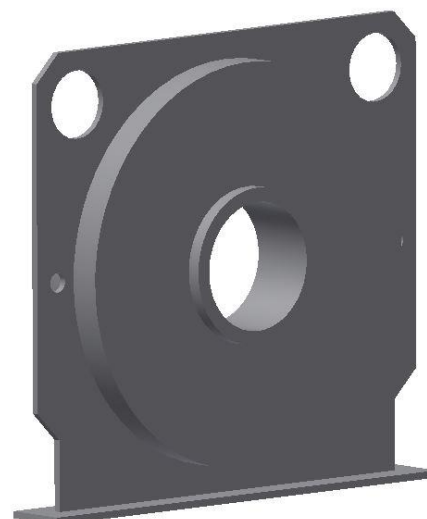


**20 T vedení**

Pohyblivé části systému a příslušné vedení jsou uzavřeny cca deseti milimetrovým plátem oceli. Tento kryt primárně brání vniknutí radioaktivních částic k detektoru (materiál k měření, materiál již změřený), sekundárně zajišťuje ochranu personálu před úrazem a zabránění zanesení nečistotami.

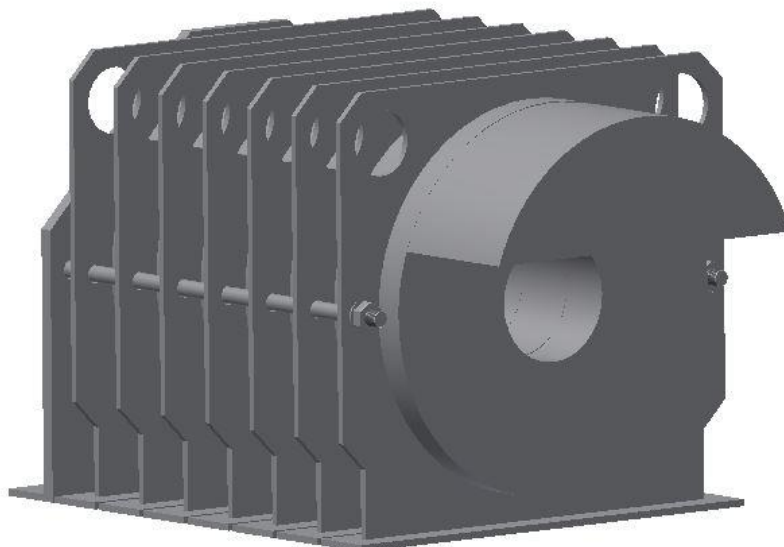
Vrchní část stínění je vyrobena z úseče tyče o průměru 290 milimetrů. Tato část také tvoří ochranu detektoru před radioaktivními částicemi z okolí.

Jedním z primárních požadavků této bakalářské práce bylo zajištění jednodušší montáže a demontáže. Z tohoto důvodu jsem zadní část návrh tak, že je složena z osmi dílů, které jsou spojeny pomocí dlouhého šroubu M12 s maticí a podložkou. Sedm částí je stejných. Každá z nich je vyrobena z polotovaru tyče o průměru 290 milimetrů, do které je vyvrtaná díra a vložena druhá část tyče o průměru 110 milimetrů, která je vyrobena stejným postupem. Obě tyto části jsou stejně dlouhé.



**21 Boční stínění**

Menší část je posunuta o 10 milimetrů vně, aby bylo dosaženo maximální ochrany kolimátoru proti tzv. průstřelům. Ochrana proti průstřelům částic je zajištěna tak, že při spojení dvou vedlejších komponent je menší trubka první součásti zasunuta do vedlejší součásti a tímto spojením nevznikne žádná mezera mezi sousedními komponentami. Jednotlivé středové komponenty mohou být dále svarem spojeny se žebrem, sloužící ke vzájemnému spojení pomocí již zmiňovaného šroubu. Ke spodní části žebra je také připojen plech o tloušťce 10 milimetrů, který umožňuje připevnění celé součásti ke zvedacímu zařízení. Detektor se do kolimátoru bude vkládat zezadu celého systému a bude uchycen pomocí koncového prvku.



22 Spojení žebor pomocí šroubu

Všechny olovené části budou na konci výroby kolimátoru opláštěné nerezovým plechem. Tím docílíme snadné dekontaminace celého kolimátoru po měření. Další výhodou opláštění bude ochrana proti poškození. Olovo je velice měkký materiál a při běžném užívání by mohlo docházet k mechanickým poškozením

#### 5.4 Celkové zhodnocení

Poslední návrh, uvedený v kap. 5.3 považuji za nejlepší. Je zde zajištěna jednoduchost celého kolimátoru, což nám umožňuje snadnou montáž a údržbu. Boční stínění je sestaveno ze sedmi identických prvků, které jsou vyrobeny tak, že při montáži do sebe jednotlivá stínění zapadají a vytváří tak komplexní ochranu detektoru. Všechny prvky jsou navzájem spojeny pouze dvěma šrouby s maticí. Konstantní průřez stínění snižuje váhu oproti hranatému modelu (kap. 5.2), kde vznikl zbytečný materiál v rozích bočního stínění. Žebra a podstava jsou vyrobeny z tenkého plechu a došlo k razantnímu snížení hmotnosti celého kolimátoru. Pro snížení hmotnosti jsou u žebor sražené rohy a vyvrtány odlehčovací díry. Posuv stínění je zajištěn lineárním vedením, u kterého při zátěži nedochází k výraznému opotřebení materiálu a servisní náklady jsou tudíž minimalizovány.

## 6 Závěr

Tato práce byla zaměřena na úpravu kolimátoru systému pro měření nízko a středně radioaktivního odpadu. Tento dokument splňuje všechny body, které jsou popsány v zadání bakalářské práce uvedené v úvodu tohoto dokumentu. Pro návrh byl použit program Inventor Professional 2012 od firmy Autodesk. Tento program je celosvětově rozšířený a je používán ve většině strojírenských a jiných firem. Součástí této práce je také výkres sestavy, obsažený v přílohách na konci dokumentu. Výkres sestavy byl vyroben v programu AutoCAD Mechanical 2012 rovněž od firmy Autodesk.

Práce obsahuje podrobný popis celého zařízení měřící radioaktivní odpad. Součástí je i kalibrační zařízení detektoru, které je vyrobeno pomocí 200 litrového sudu a etalonů o různé aktivitě. Jsou zde nastíněné i základní informace o radioaktivitě pro lepší orientaci v oblasti měřené aktivity.

Problémovou komponentou celého měřícího systému je kolimátor, u kterého byla identifikována největší poruchovost. Nově navržený kolimátor splňuje všechny požadavky zákazníků firmy Envinet. Poslední konstrukční návrh vznikl jako reakce na nedostatky dvou návrhů předchozích a obsahuje kombinace jejich výhod. Je zde vyřešen jednoduchý posuv kolimátoru a celkové zjednodušení zařízení. Posuv pohybujícího se stínění je vyřešen přes jednoduchý převod pomocí závitu. Stínění okolo kolimátoru je sestaveno pomocí několika dílů spojených šroubem s podložkou a maticí. Tyto díly jsou vyrobeny z polotovaru kruhovitěho průřezu olova a při výrobě je minimalizována tvorba odpadu, tím jsou sníženy celkové náklady. Poslední mnou navržený model je také ze všech modelů nejlehčí a nejlépe zpracovaný. Pro posuv stínění je nejlepší variantou použití lineárního vedení.

Výkresy součástí jsou pouze orientační a nejsou založeny na reálných délkových rozměrech, protože zařízení je již používáno v Rusku a na Ukrajině a tak nebylo možné si odměřit délky důležitých součástí. Pro použití v praxi by bylo potřebné zajistit přesné rozměry jak samotného detektoru, tak zařízení, které poskytuje vertikální posuv celého kolimátoru.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Interní materiály firmy Envinet a.s.
- [2] ŠEDA, Josef. *Dozimetrie ionizujícího záření*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 418 s.
- [3] HÁLA, Jiří. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj, 1998, 310 s. ISBN 80-856-1556-8.
- [4] SVOBODA, Pavel. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. vyd. 2. Brno: CERM, 2007, 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
- [5] <http://www.citace.com>
- [6] <http://www.ferona.cz>
- [7] <http://astronuklfyzika.cz>
- [8] <http://zbozi.arkov.cz>

## 8 Seznam obrázků

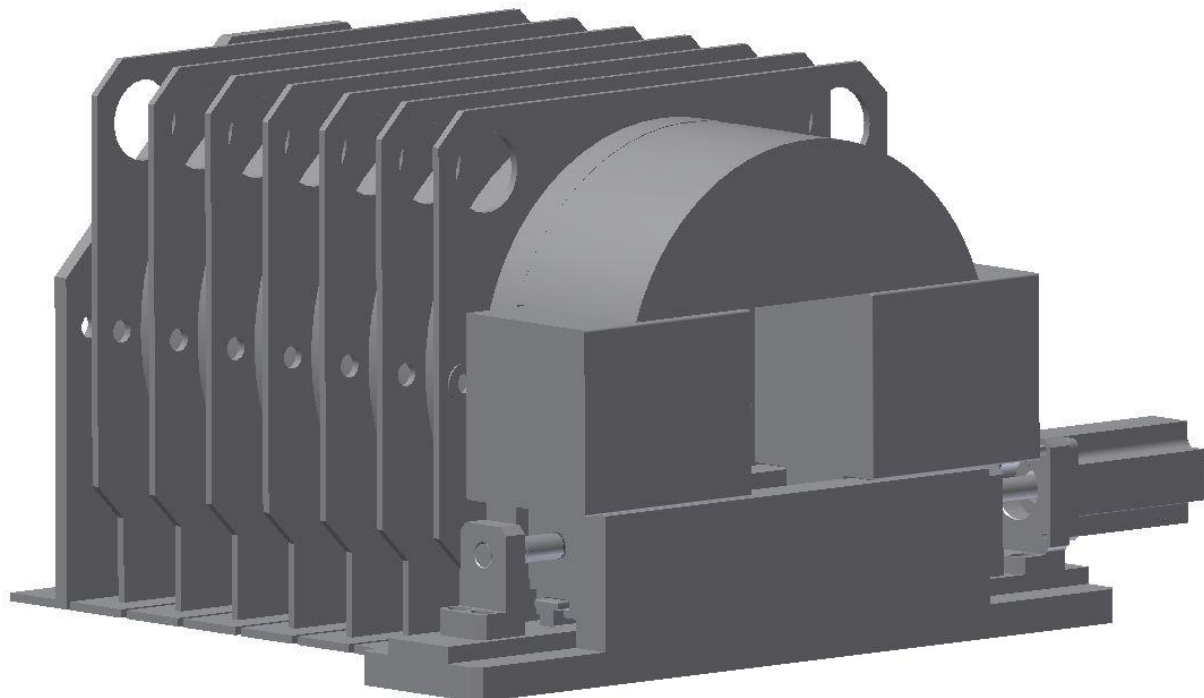
1 Dopravníkový systém .....	9
2 Čelní panel rozváděče.....	10
3 Blokové schéma propojení systému RADRUS_S1 .....	10
4 Měřicí aparatura systému RADRUS_S1 .....	11
5 Rozvaděčová skříň.....	12
6 Schéma vertikálního posuvníku .....	13
7 Čidlo .....	15
8 Zapojení a princip komunikace .....	15
9 Kalibrační sud.....	17
10 Rozmístění vertikálních vodících trubiček .....	17
11 Měřicí úhel kolimátoru .....	18
12 Krokové motory stávajícího kolimátoru.....	18
13 Zavřený kolimátor .....	19
15 Zavřený kolimátor .....	23
16 Pohyblivé stínění válcového návrhu.....	24
17 Boční stínění hranatého návrhu .....	25
18 Detail žeber.....	25
21 Boční stínění.....	27
22 Spojení žeber pomocí šroubu .....	28

## 9 Seznam příloh

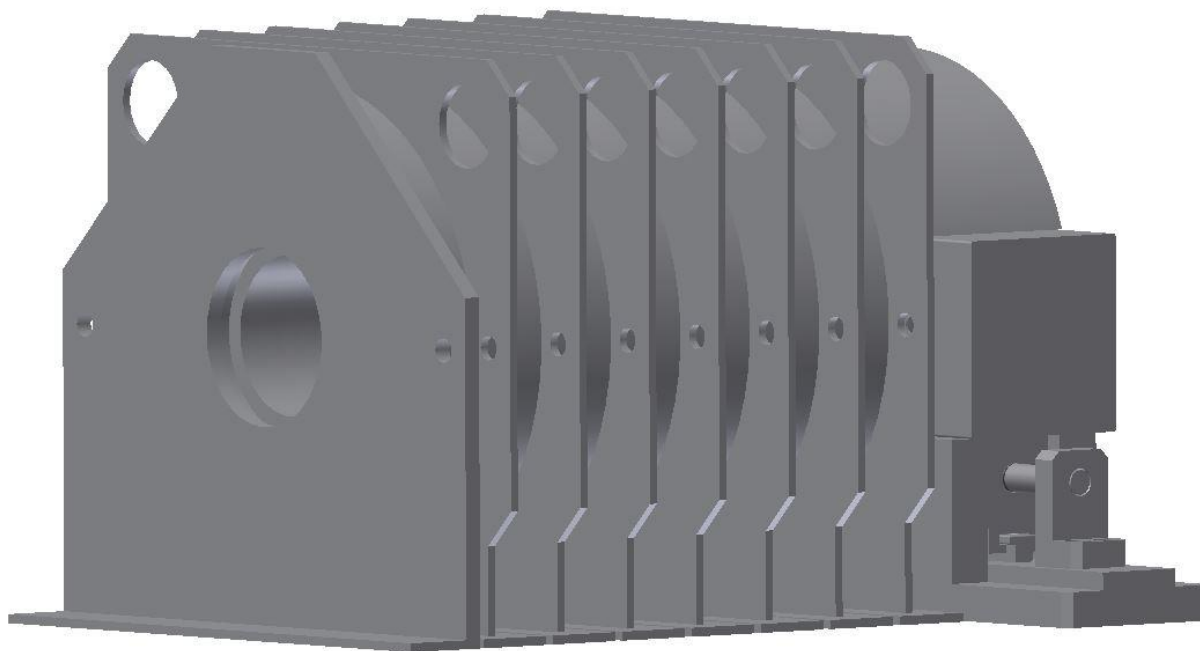
1 Třetí návrh -Pohled z úhlu zepředu .....	31
2 Třetí návrh - Pohled z úhlu zezadu.....	31
3 Třetí návrh - Pohled zepředu .....	32
4 Třetí návrh - Pohled z boku .....	32
5 Hranatý návrh – Pohled z úhlu zepředu .....	33
6 Hranatý návrh - Pohled z úhlu zezadu.....	33
7 Hranatý návrh – Zavřený.....	34
8 Válcový návrh - Pohled z úhlu zepředu .....	34
9 Válcový návrh - Pohled zezadu zdola .....	35
10 Válcový návrh - Zavřený.....	35

## 10 Přílohy

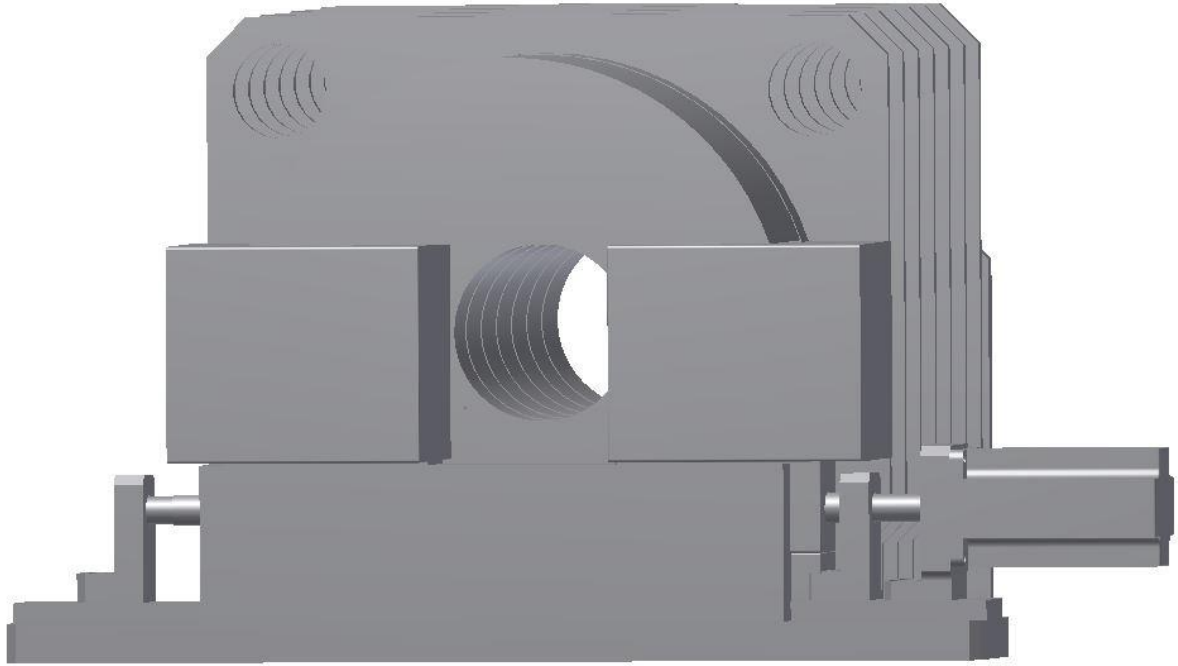
Přílohou tohoto dokumentu jsou i výkresy sestav a jejich kusovníky.



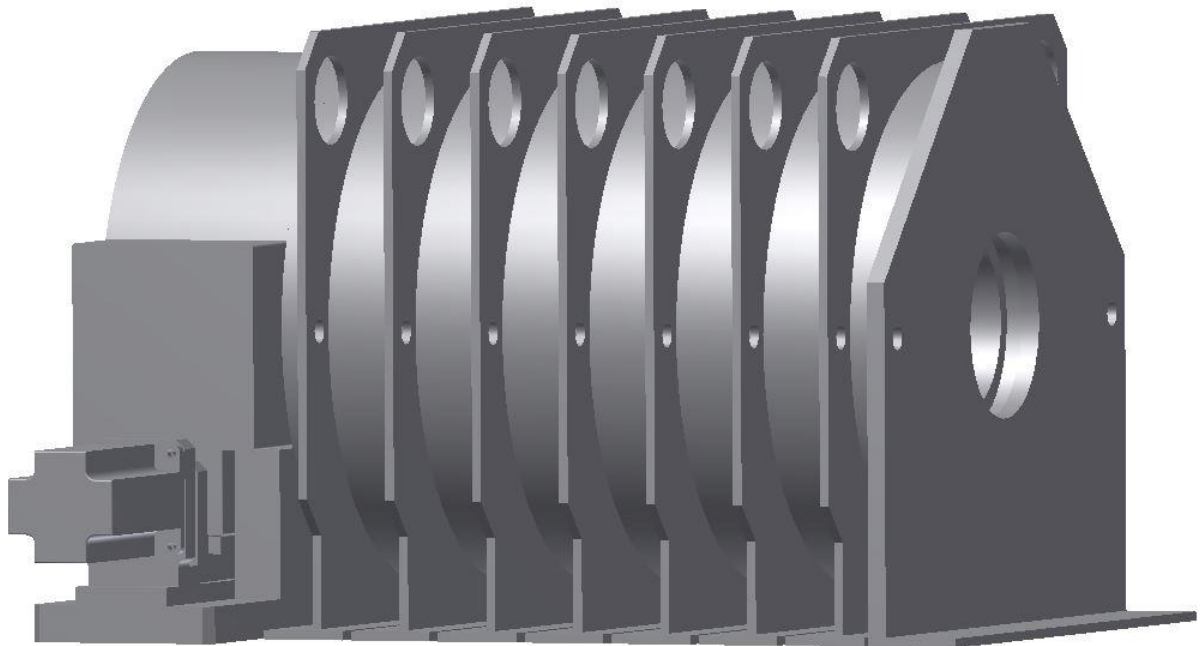
1 Třetí návrh - Pohled z úhlu zepředu



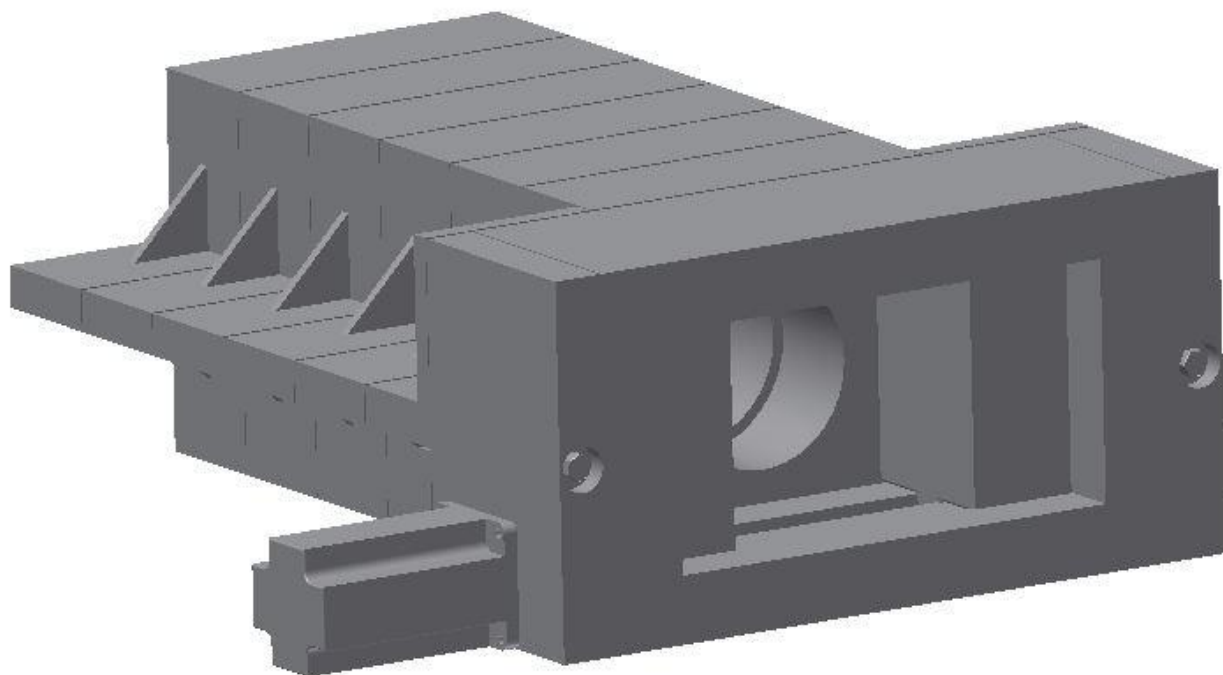
2 Třetí návrh - Pohled z úhlu zezadu



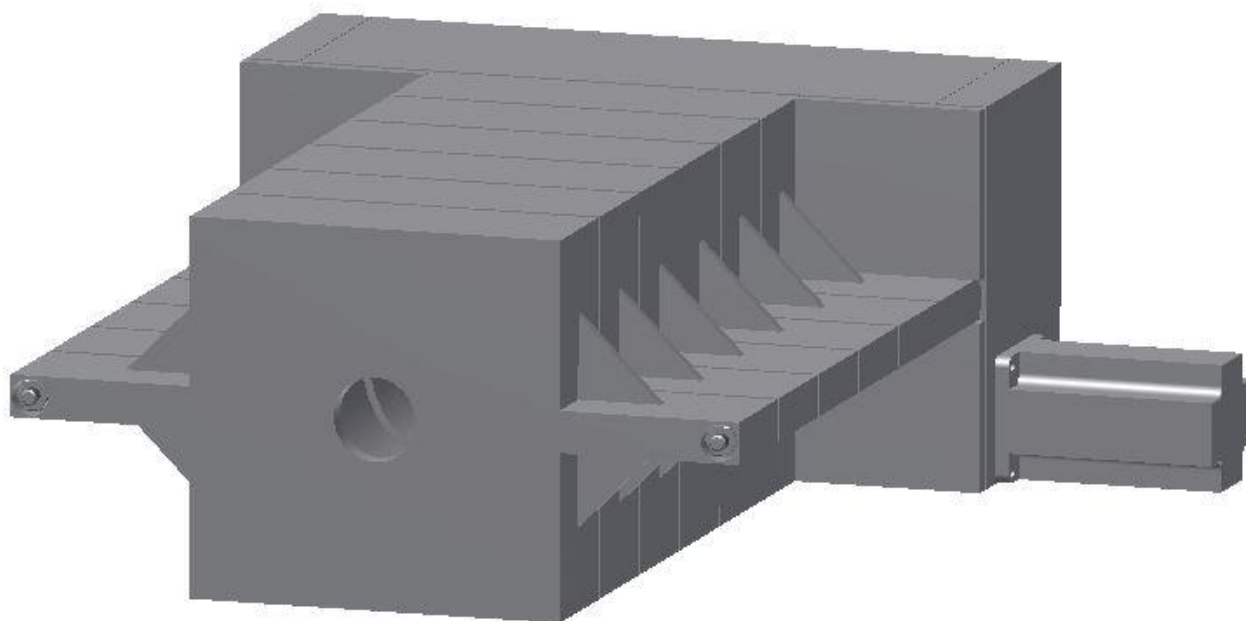
**3 Třetí návrh - Pohled zepředu**



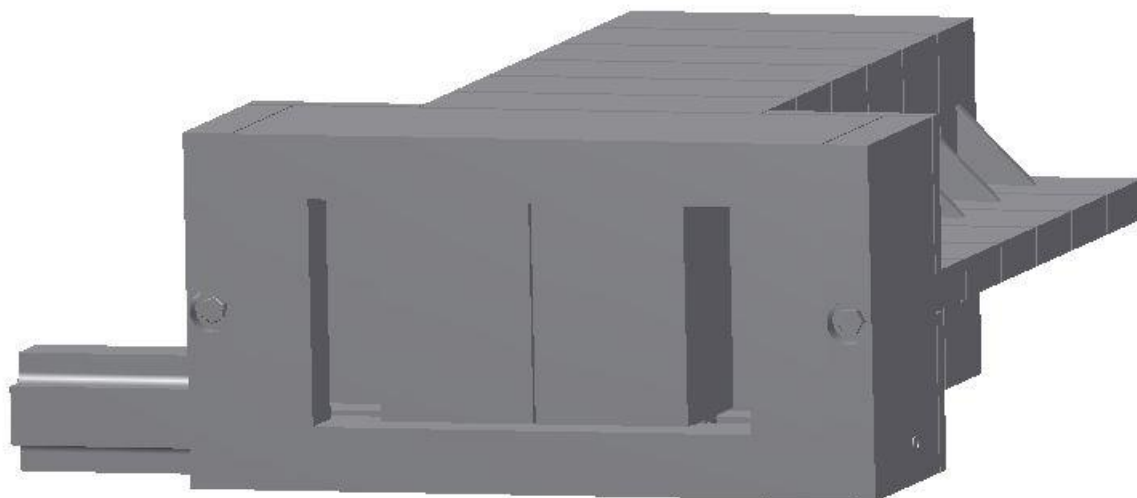
**4 Třetí návrh - Pohled z boku**



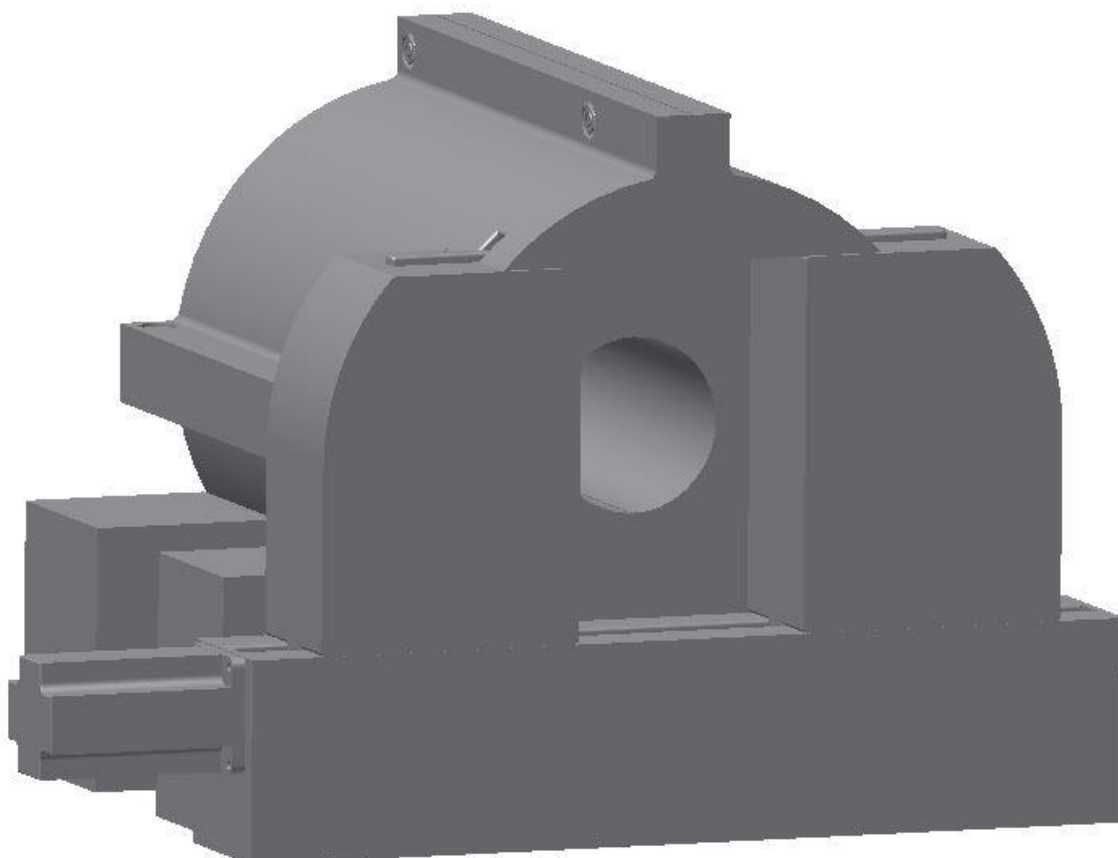
**5 Hranatý návrh – Pohled z úhlu zepředu**



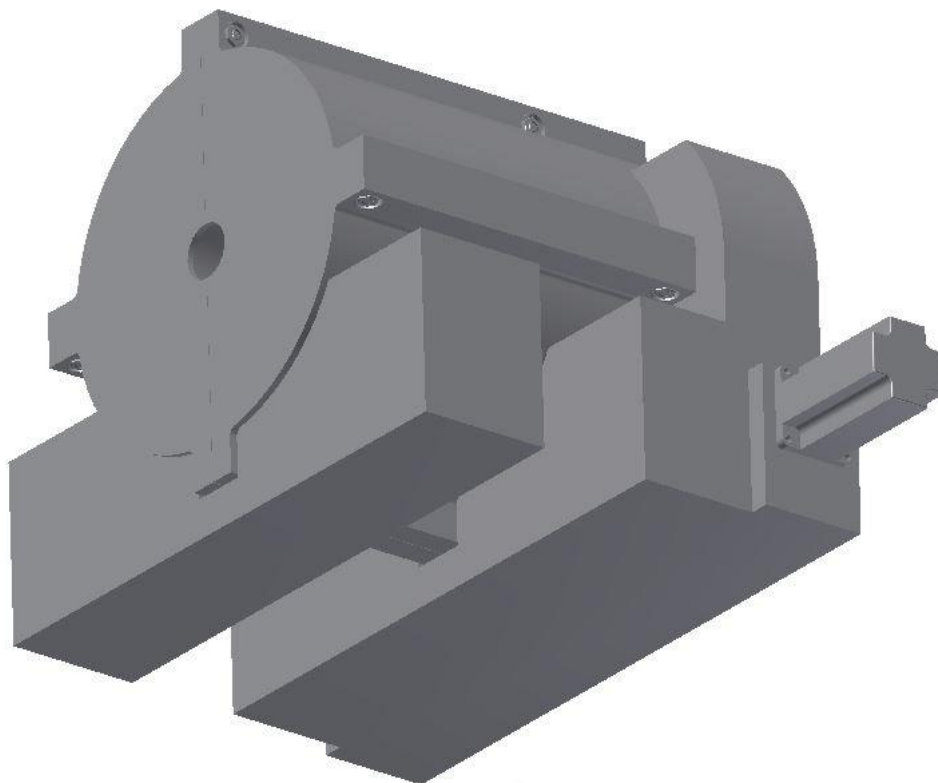
**6 Hranatý návrh - Pohled z úhlu zezadu**



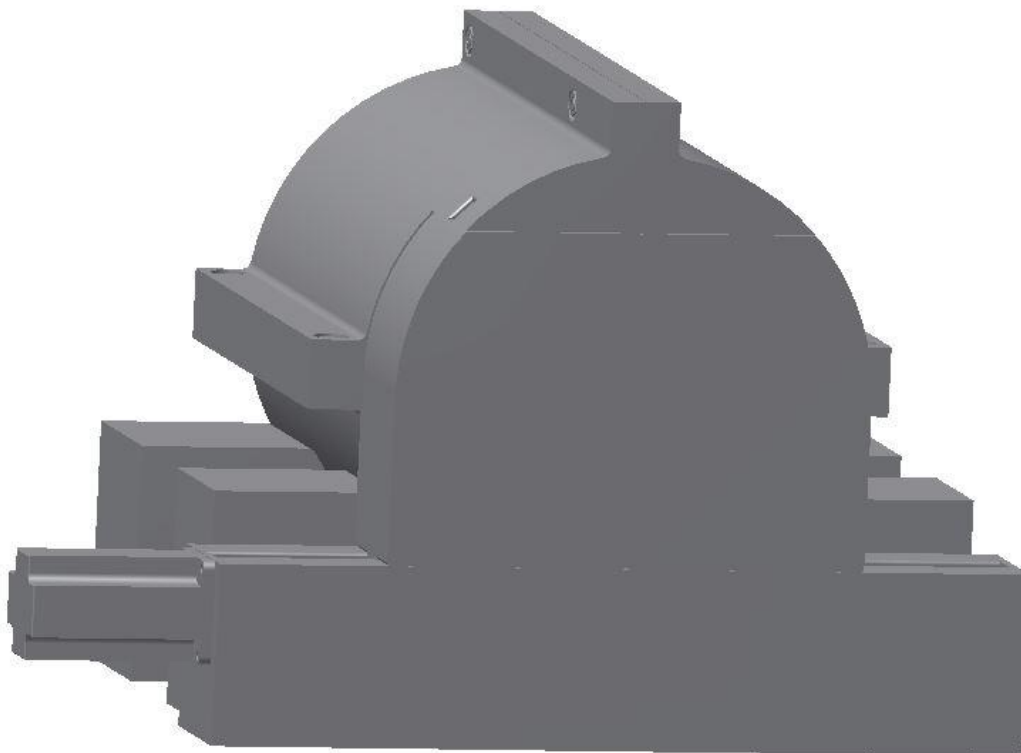
**7 Hranatý návrh – Zavřený**



**8 Válcový návrh - Pohled z úhlu zepředu**



**9 Válcový návrh - Pohled zezadu zdola**



**10 Válcový návrh - Zavřený**