

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270013 Stavba energetických strojů a zařízení

Studijní zaměření: Stavba jaderně energetických strojů a zařízení

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Střihací modul zařízení pro likvidaci čidel neutronového toku a  
termočlánků

Autor: **Bc. Václav KOUDELKA**

Vedoucí práce: **Ing. Jan ZDEBOR, Csc.**

Akademický rok 2021/2022

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta strojní**

**Akademický rok: 2021/2022**

# **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)**

Jméno a příjmení: Bc. Václav KOUDELKA  
Osobní číslo: S20N0091P  
Studijní program: N0715A270013 Stavba energetických strojů a zařízení  
Specializace: Stavba jaderně energetických zařízení  
Téma práce: Stříhací modul zařízení pro likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků  
Zadávací katedra: Katedra energetických strojů a zařízení

## **Zásady pro vypracování**

Cílem práce je navrhnout stříhací modul s elektrickým pohonem pro likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků pro JE typu VVER 440.

1. Rešerše používaných způsobů likvidace čidel neutronového toku a termočlánků tlakovodních reaktorů.
2. Rešerše možných způsobů dělení materiálu.
3. Konstrukční návrh zařízení dle konkrétních zadaných podmínek (rozměry návazných zařízení, likvidovaná čidla, radiace, ..).
4. Výkres sestavy zařízení a vybrané skupiny dílů.
5. Možnost vytvoření prezentace řešení s využitím nástrojů virtuální reality ŠKODA JS a.s.

Rozsah diplomové práce: 50–70 stran  
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Forma zpracování diplomové práce: elektronická

#### Seznam doporučené literatury:

- M.Makai, J.Vegh: Reactor Core Monitoring, Background, Theory and Practical Applications, Spinger,  
ISBN 978-3-319-54575-2, Springer International Publishing AG 2017
- Westinghouse Technology Systems Manual, Section 9.2, Incore Instrumentation System, USNRC  
HRTD, Rev 0404
- I. Wilson, V. Forejt: Přehled samonapájecích detektorů používaných v energetických reaktorech,  
Seminář Detektory, Plzeň 05/1999
- Normativně technická dokumentace A.S.I. Sekce III, Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, Brno, 2016
- NOVOTNÝ, Josef, Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1.vyd. Praha:  
SNTL, 1980, 216 s.
- KMEC, Ján, Daniel KUČERKA, Miroslav GOMBÁR, Roman HRMO a Ľuba BIČEJOVÁ. Delenie Materiálov. 2.vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2014, 287 s. ISBN 978-80-553-1872-1
- <https://www.epj-n.org/articles/epjn/pdf/2017/01/epjn170015.pdf>

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Jan Zdebor, CSc.**

Katedra energetických strojů a zařízení

Konzultant diplomové práce:

**Ing. Antonín Rudolf**

ŠKODA JS a.s.

Datum zadání diplomové práce:

**29. října 2021**

Termín odevzdání diplomové práce:

**27. května 2022**

**L.S.**

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 29. října 2021

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 27.5.2022

.....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, Ing. Janu Zdeborovi, Csc. za jeho trpělivost, ochotu a odborné vedení při jednotlivých etapách vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Antonínu Rudolfovi za vstřícnost při odborných konzultacích konstrukčního řešení a Ing. Michalu Tanzerovi, Ph.D. za vstřícnost při odborných konzultacích ohledně vnitroreaktorové instrumentace.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Bc. Koudelka	Jméno Václav	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	N0715A270013 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zdebor, Csc.	Jméno Jan	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU – FST – KKE		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	„Střihací modul zařízení pro likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků“		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKE	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	74	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	33	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	41
<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)  ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Cílem této diplomové práce je rešerše principů dělení materiálu, typů vnitroreaktorové instrumentace, principů likvidace čidel neutronového toku a termočlánků a konstrukční návrh střihacího modulu pro likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků.				
<b>KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Dělení materiálu, střihání, čidlo neutronového toku, termočlánek, vnitroreaktorová instrumentace, jaderný reaktor, PWR, VVER, KNI				

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Bc. Koudelka	Name Václav	
<b>FIELD OF STUDY</b>	N0715A270013 „Design of Power Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zdebor, Csc.	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKE		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	„Cutting module of the device for disposal of neutron flux sensors and thermocouples“		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Power System Engineering	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	74	<b>TEXT PART</b>	33	<b>GRAPHICAL PART</b>	41
<b>BRIEF DESCRIPTION</b>					
<b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>					
<b>KEY WORDS</b>	<p style="text-align: center;">The aim of this diploma thesis is to research the principles of material separation, types of incore instrumentation, principles of neutron flux sensors and thermocouples and design of a cutting module for neutron flux sensors and thermocouples.</p> <p style="text-align: center;">Material separation, shearing, neutron flux sensor, thermocouple, incore instrumentation, nuclear reactor, PWR, VVER, KNI</p>				



## Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	11
Seznam fyzikálních symbolů .....	11
Seznam obrázků .....	12
Seznam tabulek .....	14
Přílohy .....	14
Příloha č.1 - Výkres sestavy stříhacího modulu .....	14
1 Úvod.....	15
1.1 Jaderný reaktor .....	16
1.2 Princip štěpení .....	16
1.3 VVER 440 .....	17
2 Vnitroreaktorové měření.....	18
2.1 Měření teploty .....	19
2.1.1 Termočlávkové snímače teploty .....	19
2.2 SPD – Self powered neutron detectors .....	20
2.3 Výhody a nevýhody SPD .....	21
2.3.1 Výhody.....	21
2.3.2 Nevýhody .....	22
2.4 Typy emitörů .....	22
2.4.1 Rhodiový emitör .....	22
2.4.2 Vanadiový emitör.....	22
2.4.3 Kobaltový emitör .....	23
2.4.4 Hafniový emitör .....	23
2.4.5 Stříbrný emitör .....	23
2.4.6 Platinový emitör .....	24
2.5 Instrumentace na VVER-440 .....	24
2.6 Likvidace čidel neutronového toku a termočlávků .....	39
2.6.1 Rozdělení podle místa likvidace .....	39
2.6.2 Rozdělení podle principů zmenšení transportní velikosti .....	39
3 Způsoby dělení materiálu.....	41
3.1.1 Beztrískové.....	41
3.1.2 Trískové.....	41

3.1.3	Stříhání .....	41
3.1.4	Stříhání plošné.....	41
3.1.5	Stříhání objemové .....	41
3.1.6	Lámání.....	41
3.1.7	Jiné způsoby .....	42
3.2	Stříhání .....	42
3.2.1	Střížný proces.....	42
3.2.2	Síly při stříhání.....	48
3.2.3	Střížná vůle.....	49
3.2.4	Rychlost stříhání .....	49
3.2.5	Životnost nástrojů .....	49
3.2.6	Závady na střížných zařízeních.....	50
3.2.7	Pohon střížníků .....	50
4	Konstrukční návrh stříhacího modulu.....	51
4.1	Popis činnosti modulu .....	51
4.2	Požadavky na modul .....	51
4.3	Návrh řešení .....	52
4.3.1	Radiační stínění.....	53
4.3.2	Volba elektromotoru .....	56
4.3.3	Návrh střížných nožů a jejich povrchové úpravy.....	57
4.3.4	Střížný mechanismus .....	59
4.3.5	Zajištění kontroly odstřížení .....	61
4.3.6	Elektroinstalace .....	64
4.3.7	Transport modulu jako celku a jeho jednotlivých částí .....	65
4.3.8	Pevnostní kontrola.....	67
5	Závěr .....	73
6	Reference .....	74

## Seznam symbolů a zkratk

VVER	Dvouokruhový tlakovodní lehkovodní reaktor východní koncepce
RBMK	Jednookruhový kanálový reaktor velkého výkonu východní koncepce
PWR	Dvouokruhový tlakovodní lehkovodní reaktor západní koncepce
KNI	Kanál měření neutronového toku
BOT	Blok ochranných trub
PK	Palivová kazeta
HB	Tvrдость podle Brinella
HRC	Tvrдость podle Rockwella
HV	Tvrдость podle Vickerse
PVD	Physical vapour deposition – nanášení odpařením pevné fáze

## Seznam fyzikálních symbolů

$\beta$	Beta záření
$\gamma$	Gamma záření
$g$	Tíhové zrychlení
$m$	Hmotnost
$i$	Počet prvků
$d$	Průměr
$d_m$	Minimální průměr
$S$	Průřez
$S_i$	Průřez jednoho prvku
$p_d$	Dovolený tlak
$F$	Síla
$G$	Tíhová síla
$\tau$	Tečné napětí
$\tau_s$	Tečné napětí ve stříhu
$\tau_{Ds}$	Dovolené napětí ve stříhu
$\sigma$	Normálové napětí
$\sigma_t$	Normálové napětí v tahu
$\sigma_{Dt}$	Dovolené napětí v tahu

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Princip štěpné reakce (4) .....	17
Obrázek 2 - Tlaková nádoba VVER-440, typ 213 (5) .....	18
Obrázek 3 - Schéma provedení termočlánu (7).....	19
Obrázek 4 - Reakce na rhodiu (10) .....	20
Obrázek 5 - Samonapájecí detektor (1 – kolektor, 2 – izolátor, 3 – emitor, 4 – spojovací vedení, 5 – činná žíla, 6 – kompenzační žíla, 7 – průchodka) (11).....	20
Obrázek 6 - Principiální schéma detektoru dodávaného firmou Mirion Technologies (1 – tmel Hysol 1C, 2 – plášť Inconel 600 vodič $D1,5 \pm 0,05$ , 3 – vnitřní vodič Inconel 600, 4 – svar, 5 – kolektor $D1,57 \pm 0,05$ , 6 – izolace $Al_2O_3$ , 7 – rhodiový emitor 103 min. čistota 9 (11).....	21
Obrázek 7 - Mapa rozložení měření v aktivní zóně na VVER-440 (EDU) (7)...	25
Obrázek 8 - Legenda mapy rozložení měření v aktivní zóně na VVER-440 (EDU) (7) .....	25
Obrázek 9 - Kanál neutronového toku KNI 401 pro reaktor VVER-440 (1 – konektor, 2 – pouzdro, 3 – místo utěsnění ve víku reaktoru, 4–7 samonapájecích rhodiových detektorů neutronového toku) (11) .....	26
Obrázek 10 - Schéma rozmístění SPD v KNI 401 a kusovník (11).....	27
Obrázek 11 - Kabeláž uvnitř pouzdra čidla KNI-LM (6).....	28
Obrázek 12 - Současná KNI (KVANT – Rusko) v JE Dukovany (dle výkresu Ae 111925) (7) .....	29
Obrázek 13 - Řez tělesem sondy KNI-LM (6).....	30
Obrázek 14 - Řez detektorem DPZ – 1M (7) .....	30
Obrázek 15 - Řez trubicou sondy KNI-LM (6).....	31
Obrázek 16 - Řez kabelem (fónovým vodičem) (7).....	31
Obrázek 17 - Termočlánek označení TCHA 2076 (typ K) a jeho konstrukční umístění (7) .....	32
Obrázek 18 - Schéma horního bloku a schéma proudu chladiva v reaktoru VVER-440 (7) .....	33
Obrázek 19 - Rozvod vnitroreaktorového měření v bloku ochranných trub (7) .	34
Obrázek 20 - Nástavce vývodu KNI ve spodní desce bloku ochranných trub (7) .....	35
Obrázek 21 - Schéma konkrétní měřicí instrumentace v aktivní zóně VVER-440 (7) .....	36
Obrázek 22 - Legenda schématu konkrétní měřicí instrumentace v aktivní zóně VVER-440 (7) .....	36
Obrázek 23 - Sestava vývodu měření neutronového toku na nátrubku víka reaktoru VVER (11) .....	37

Obrázek 24 - Popis sestavy vývodu měření neutronového toku na nátrubku víka reaktoru VVER (11) .....	37
Obrázek 25 - Schéma zatěsnění vývodů vnitroreaktorového měření (7) .....	38
Obrázek 26 - Destrukční modul na principu namotávání čidel (11) .....	40
Obrázek 27 - Princip stříhání bez přidržovače (a – výchozí poloha, b – natočení stříhaného materiálu, c – působíště střížné síly na břitu nože, 1 – střížná rovina A-A, 2 – stříhací nože) (12) .....	42
Obrázek 28 - Rozložení tlaků v okolí střížné roviny (1 – pevný nůž, 2 – pohyblivý nůž, 3;4 – izobary, a;b – části stříhaného materiálu, X – oblast přetvoření) (12)	43
Obrázek 29 - Průběh stříhu oceli, první výbrus (12) .....	44
Obrázek 30 - Průběh stříhu oceli, druhý výbrus (12) .....	44
Obrázek 31 - Průběh stříhu oceli, třetí výbrus (12) .....	44
Obrázek 32 - Průběh stříhu oceli, čtvrtý výbrus (12) .....	45
Obrázek 33 - Průběh stříhu oceli, pátý výbrus (12) .....	45
Obrázek 34 - Průběh stříhu oceli, šestý výbrus (12) .....	45
Obrázek 35 - Průběh stříhu oceli, sedmý výbrus (12) .....	46
Obrázek 36 - Průběh stříhu oceli, osmý výbrus a úplné oddělení materiálu (12)	46
Obrázek 37 - Výbrus tvorby střížné trhliny na břitu nože (12) .....	47
Obrázek 38 - Tvar střížné plochy následkem šíření trhlin směrem největší hodnoty napětí (12) .....	47
Obrázek 39 - Silové poměry a střížná plocha (12) .....	48
Obrázek 40 - Model sestavy stříhacího modulu .....	52
Obrázek 41 - Spodní těleso .....	53
Obrázek 42 - Vertikální řez spodního tělesa – pohled z boku .....	54
Obrázek 43 - Horní těleso .....	54
Obrázek 44 - Detail labyrintového těsnění ve vertikálním řezu – pohled z boku .....	55
Obrázek 45 - Vertikální řez tělesy stříhacího modulem – pohled z boku .....	55
Obrázek 46 - Lineární elektropohon LA35 (14) .....	56
Obrázek 47 - Výřez výkresu sestavy lineárního elektropohonu LA35 (14) .....	57
Obrázek 48 - Posuvný nůž .....	58
Obrázek 49 - Střížný disk .....	58
Obrázek 50 - Pohled na střížný mechanismus shora .....	59
Obrázek 51 - Pohled na střížný mechanismus zdola .....	60
Obrázek 52 - Vertikální řez stříhacím modulem – boční pohled na střížný mechanismus .....	60

Obrázek 53 - Indukční čidlo E2B-M18@N16-WP-C1, plášťované (17).....	61
Obrázek 54 - Závislost snímání indukčního čidla na poloze vzhledem k jednotlivým osám (17) .....	61
Obrázek 55 - Vertikální řez stříhacím modulem – uložení indukčních čidel vzhledem ke střížné ploše.....	62
Obrázek 56 - Horizontální řez stříhacím modulem – indukční čidla jsou pootočena o 90° .....	62
Obrázek 57 - Vložka .....	63
Obrázek 58 - Řez vložkou.....	63
Obrázek 59 - Drážka pro vývod kabeláže indukčních čidel z vložky .....	64
Obrázek 60 - Vývod elektroinstalace na horním tělese.....	64
Obrázek 61 - Horní těleso – tři závitová místa pro nosná oka M20x2,5.....	65
Obrázek 62 - Dolní těleso – tři závitová hnízda pro nosná oka M20x2,5 - vyznačeno oranžovými kružnicemi.....	65
Obrázek 63 - Dolní těleso – čtyři závitová hnízda M10x1,5 pro uchycení poklopu .....	66
Obrázek 64 - Příruba – na horní ploše vybrání a závitové hnízdo pro nosné oko M20x2,5 .....	66
Obrázek 65 - Uložení lineárního elektropohonu, počítané čepy o průměru 10 mm jsou zvýrazněny .....	68
Obrázek 66 - Šrouby M10 spojující přírubu a tělesa .....	69
Obrázek 67 - Šrouby M10 spojující obě tělesa .....	70
Obrázek 68 - Zvedací oka M20 na horním tělese .....	71
Obrázek 69 - Zvedací oko M20 na přírubě .....	72

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Doporučené velikosti střížných vůlí (12).....	49
Tabulka 2 - Chemické složení materiálu 08Ch18N10T (13) .....	52
Tabulka 3 - Vlastnosti a chování nástrojové oceli ČSN 19 132 / C70U (15) .....	57
Tabulka 4 - Vlastnosti a chování povlaku TiAlSiN (16) .....	59

## Přílohy

### Příloha č.1 - Výkres sestavy stříhacího modulu

Tato příloha je k dispozici na vyžádání

## 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je návrh konstrukčního provedení stříhacího modulu zařízení pro destrukci termočlánků a detektorů neutronového toku pro jadernou elektrárnu Dukovany.

Vzhledem ke konečné zásobě fosilních paliv a neustále se zvyšujícímu tlaku na snižování produkce oxidu uhličitého je třeba nahradit uhelné elektrárny čistšími zdroji elektrické energie. Jelikož uhelné elektrárny představují stabilní složku sítě, jeví se jaderné elektrárny jako nejlepší alternativa. V roce 2016 byla jaderná energie v České republice zastoupena v energetickém mixu 30,36 %, v roce 2020 již 40,75 %. (1)

Zajištění bezpečného a spolehlivého provozu jaderné elektrárny je prioritou, a proto je nutné sledovat důležité veličiny uvnitř jaderného reaktoru. K tomu slouží vnitroreaktorová instrumentace, díky které můžeme měřit teplotu uvnitř reaktoru a sledovat průběh neutronového toku po výšce a průměru reaktoru. Pro měření teploty se používají termočlánky, pro monitorování neutronového toku kanály měření neutronového toku (tzv. „kníčka“ – zkratka z ruského názvu Каналы измерения нейтронного потока).

Jelikož některé díly vnitroreaktorové instrumentace postupně degradují působením neutronového toku a ztrácí své požadované vlastnosti, mají nižší životnost než ostatní části uvnitř reaktoru. Je tedy potřeba je pravidelně měnit a likvidovat. Vzhledem k vysoké míře ozáření této instrumentace je nutno s ní nakládat tak, aby nedošlo k úniku radiace do okolí, ozáření personálu jaderné elektrárny nebo kontaminaci zařízení nad limitní podmínky. K tomuto účelu slouží zařízení, jehož konstrukce je náplní této diplomové práce.

## 1.1 Jaderný reaktor

Jaderný reaktor je zařízení, ve které je zavezeno jaderné palivo a dochází zde k ohřevu teplosnosného média – moderátoru. Ta část reaktoru, kde dochází k uvolňování tepelné energie za pomoci řízené štěpné jaderné reakce se nazývá aktivní zóna. Jako palivo se používají těžké kovy, nejčastěji  $U^{235}$ .

Abychom dosáhli kritického stavu, tedy samostatně se udržující štěpné reakce, je třeba zajistit, aby v každé po sobě jdoucí generaci byl stejný počet štěpných neutronů. Toho dosáhneme za pomoci krátkodobé regulace – pohybem regulačních orgánů a dlouhodobé regulace – změnou koncentrace kyseliny borité.

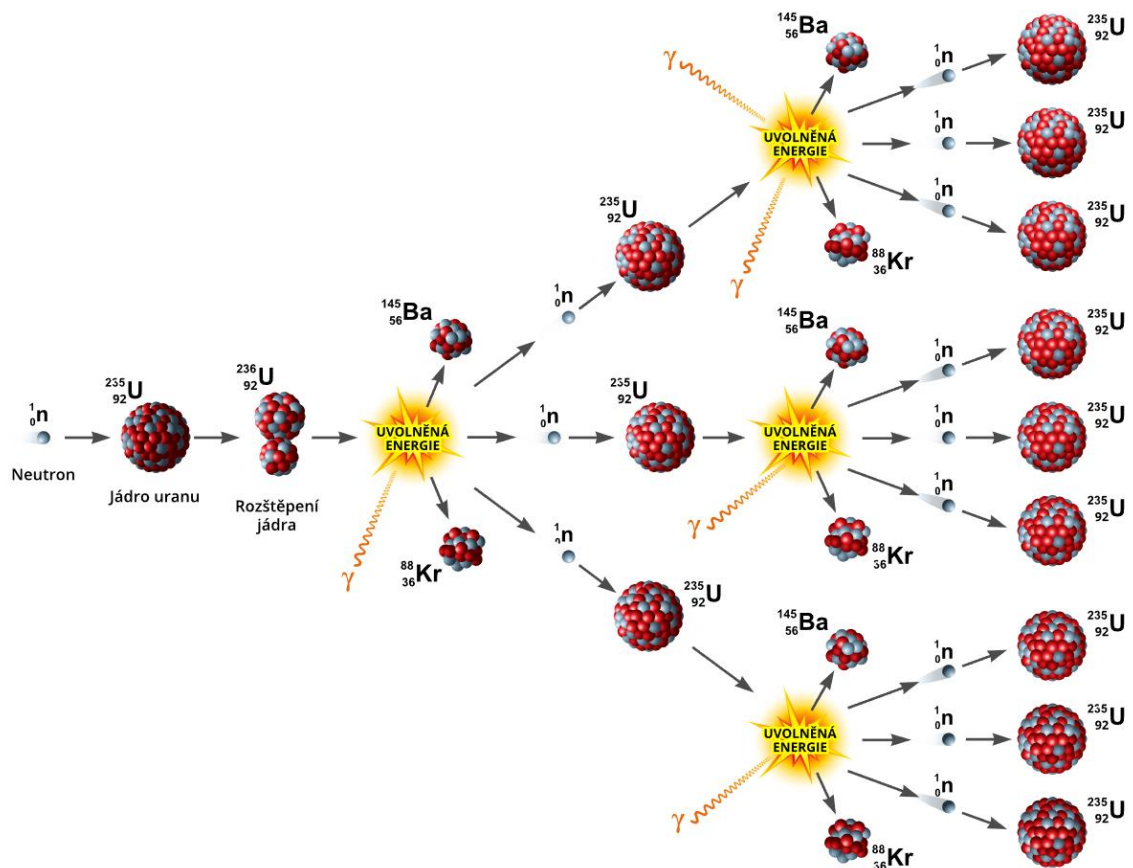
Jaderné reaktory můžeme dělit podle typu neutronů a podle použití. Podle typu neutronů je dělíme na tepelné reaktory, tedy reaktory, kde se převážná část štěpení uskutečňuje tepelnými neutrony, které byly za pomoci moderátoru zpomaleny na stejnou rychlost, jako mají molekuly okolí a na rychlé reaktory, tedy reaktory, kde se převážná část štěpení uskutečňuje nezpomalenými neutrony. Podle použití je můžeme dělit na školní (výuka studentů), výzkumné (výzkum nových typů paliv a dalších potenciálních vylepšení), produkční (výroba transuranů), stacionární energetické (výroba elektrické energie a tepla), pohonné (pohon lodí, ponorek a raket z důvodu nutnosti méně často doplňovat palivo) a speciální (např. energeticky transportovatelné). (2) (3)

## 1.2 Princip štěpení

Štěpná jaderná reakce je reakce, při které dochází k rozštěpení jádra atomu vniknutím neutronu a uvolnění jaderné energie. Na obrázku [1] je tento proces znázorněn.

Do jádra  $U^{235}$  vnikne tepelný neutron, který je absorbován, čímž jádru předá energii, která jej rozkmitá. Tím se jádro rozdělí na nejčastěji dva odštěpky, které mají vysokou kinetickou energii a srážkami s atomy moderátoru jsou zpomalovány a jejich energie se mění na tepelnou. Při rozdělení jádra se uvolní v průměru 2,4 rychlých neutronů. Aby se neutrony od jader neodrážely a abychom zvýšili pravděpodobnost zásahu jádra dalšího atomu, zpomalíme rychlé neutrony za pomoci moderátoru (v tepelných reaktorech používáme jako moderátor demineralizovanou vodu). Pokud bychom ovšem neregulovali počet tepelných neutronů, došlo by k neřízené štěpné reakci. Proto používáme absorbatory, které přebytečné neutrony pohltní. Nejčastěji se používá bór nebo kadmium. (4) (3)



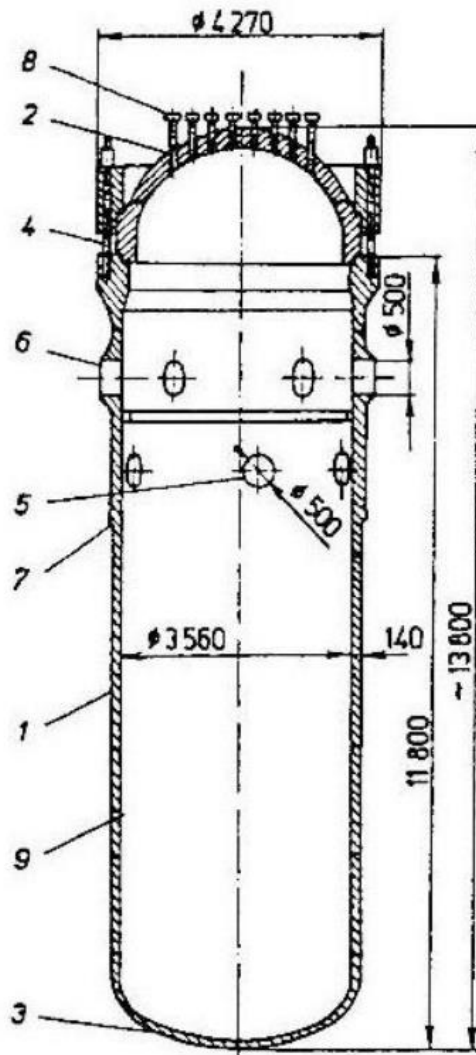


Obrázek 1 - Princip štěpné reakce (4)

### 1.3 VVER 440

VVER je vodo-vodní energetický reaktor užívaný převážně ve východní Evropě. Tlaková nádoba má tvar válce vertikální orientace s půlkulovým dnem i víkem. Jako moderátor a zároveň chladivo aktivní zóny, která se nachází ve spodní části tlakové nádoby se užívá lehká, demineralizovaná voda. Jako palivo je použit oxid uraničitý ve formě tabletek uspořádaných do proutků a následně do palivových kazet. Primární okruh je pod vysokým tlakem, zhruba 15 MPa, což zabraňuje varu a krizi varu.

V jaderné elektrárně Dukovany je použit reaktor VVER-400 typ 213. Tento reaktor ještě nemá kontejnment, pouze hermetický box s barbotážním systémem. Jako maximální projektová havárie bylo uvažováno protržení hlavního primárního potrubí. (2)



Obrázek 2 - Tlaková nádoba VVER-440, typ 213 (5)

## 2 Vnitroreaktorové měření

Pro bezpečný a ekonomický provoz jaderné elektrárny je nutné řídit výkon reaktoru. K tomu je potřeba sledovat průběh neutronového toku za pomoci rhodiových emitorů v sondách KNI, teplot uvnitř reaktoru za pomoci termočlánků a tlaků tlakovými odběry nad horními nátrubky. (6)

## 2.1 Měření teploty

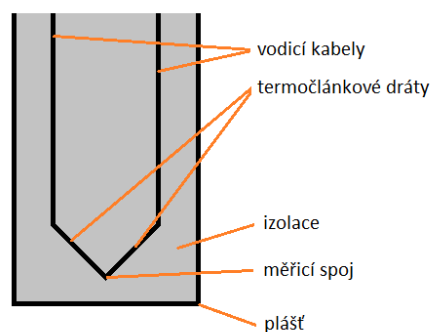
Teplota se měří za pomoci termočláňkových snímačů teploty jak uvnitř, tak vně reaktoru.

### 2.1.1 Termočláňkové snímače teploty

Termočláňkové snímače teploty, tzv. termočláňky jsou snímače, které fungují na základě termoelektrického jevu. Peltier-Seebeckův jev neboli termoelektrický jev je přímá přeměna teplotního rozdílu na elektrické napětí a naopak. Pokud dojde ke změně teploty vodiče, vzniká uvnitř vodiče posun elektronové hustoty. Z matematického hlediska je tato změna označována jako teplotní gradient. Na teplém konci dojde k úbytku elektronů na základě zvyšující se kinetické energie a na studeném konci k přírůstku elektronů. Každá část vodiče se tímto stává zdrojem napětí. (7)

Termočláňek se skládá ze dvou spojených drátů, které lze spojit za pomoci sváření, spájení nebo zkroucení. Měřitelné napětí je udáváno rozdílem v součtu napětí jednotlivých drátů z rozdílných materiálů. Toto napětí je měřítkem teplotní difference mezi spojením těchto drátů a koncovkami měřicího přístroje. Pokud by se použily dráty ze stejného materiálu, nebylo by toto diferenciální napětí možné měřit, neboť by se rovnalo nule. (8)

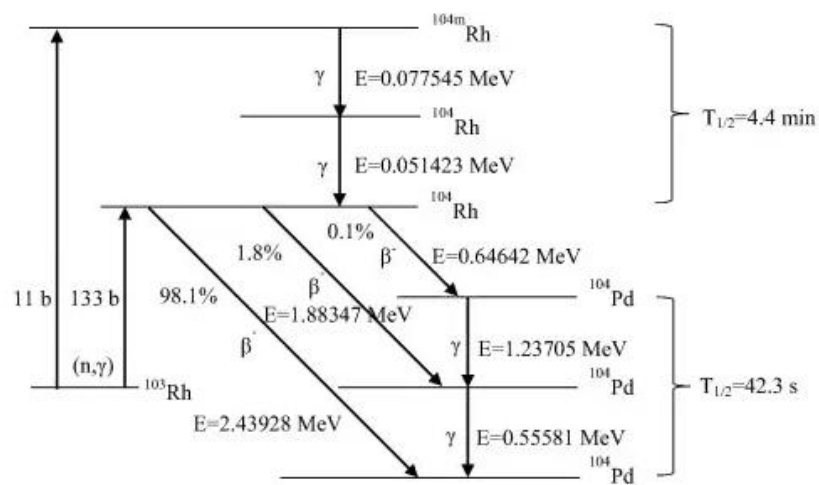
Samotné konstrukční provedení termočláňku se skládá z vodících kabelů, termočláňkových drátů, měřicího spoje, izolace, která je použita pro lepší prostup tepla působícího na plášť a zároveň chrání termočláňkové dráty před poškozením následkem otřesů. (7)



Obrázek 3 - Schéma provedení termočláňku (7)

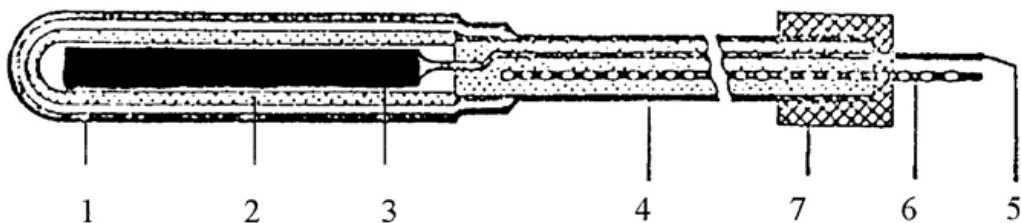
## 2.2 SPD – Self powered neutron detectors

Princip samonapájecích detektorů se zakládá na reakci  $(n,\beta)$  nebo  $(n,\gamma)$ . Samotný detektor se skládá z pláště, vnitřního vodiče, kolektoru, izolace a rhodiového emitoru. Mezi dvěma koaxiálními elektrodami je izolace a elektrody jsou propojeny kabelem s minerální izolací. Při umístění do neutronového toku vnitřní elektroda emituje elektrony, z nichž ty, které mají dostatečnou energii projdou izolátorem. Emitor se tedy kladně nabíjí, toto napětí měříme a má přímou závislost na neutronovém toku, tedy na radiačních parametrech pole. (9)

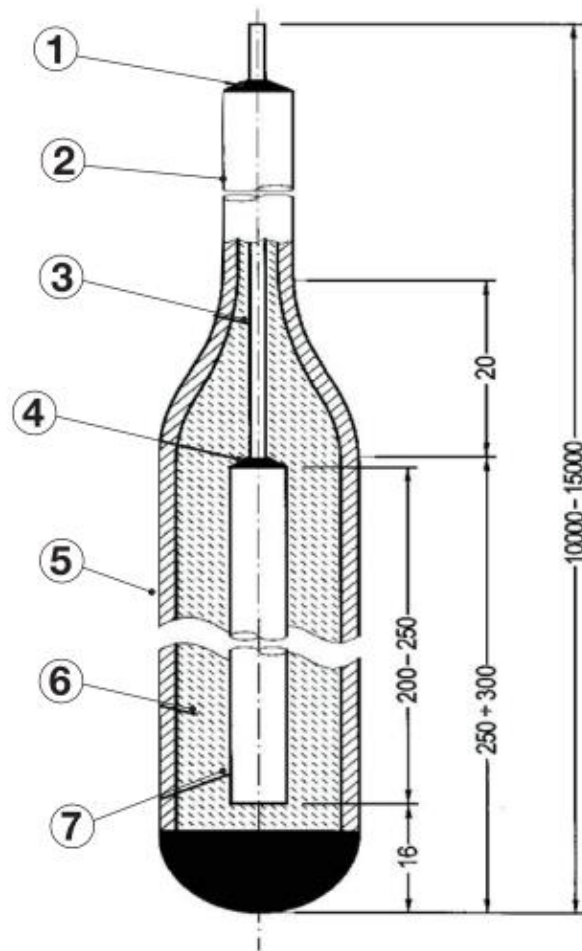


Obrázek 4 - Reakce na rhodiu (10)

Jako materiál pláště se zpravidla volí  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_2$ ,  $\text{MgO}$  nebo  $\text{SiO}_2$ .



Obrázek 5 - Samonapájecí detektor (1 – kolektor, 2 – izolátor, 3 – emitor, 4 – spojovací vedení, 5 – činná žíla, 6 – kompenzační žíla, 7 – průchodka) (11)



Obrázek 6 - Principiální schéma detektoru dodávaného firmou Mirion Technologies (1 – tmel Hysol IC, 2 – plášť Inconel 600 vodič  $D1,5 \pm 0,05$ , 3 – vnitřní vodič Inconel 600, 4 – svar, 5 – kolektor  $D1,57 \pm 0,05$ , 6 – izolace  $Al_2O_3$ , 7 – rhodiový emitör 103 min. čistota 9 (11))

## 2.3 Výhody a nevýhody SPD

### 2.3.1 Výhody

- Nepotřebují zdroj energie
- Jednoduchá, robustní konstrukce
- Malé mechanické rozměry požadované pro vnitroreaktorovou instrumentaci
- Dobrá stabilita za teplotního a tlakového zatížení
- Reprodukovatelné lineární signál
- Pomalé vyhořívání při vhodné volbě materiálu emitörü

### 2.3.2 Nevýhody

- Nízká citlivost na neutrony, a tedy omezený pracovní rozsah
- Požadovaná kompenzace šumů na pozadí pro určité emitory
- Zpožděná odezva signálu pro určité emitory

## 2.4 Typy emitorů

### 2.4.1 Rhodiový emitor

- Materiál emitoru  $Rh^{103}$
- Reakce  $n-\beta$  s průřezem pro tepelné neutrony  $145 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  a rezonanci při 1,25 eV
- Relativně vysoká citlivost
- Vliv na lokální hustotu energie
- Vysoká rychlost vyhořívání – 0,39 % za měsíc při toku tepelných neutronů  $10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$
- 92 % signálu má poločas 42 sekund
- 8 % signálu má poločas 4,4 minuty
- Dvojnásobně zpožděný signál
- Energie beta emise je 2,44 MeV
- Použití pro mapování toku tlakovodního reaktoru

### 2.4.2 Vanadiový emitor

- Materiál emitoru  $V^{51}$
- Relativně nízká citlivost
- Reakce  $n-\beta$  s průřezem pro tepelné neutrony  $4,9 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  s význačným rysem  $1/v$  charakteristikou bez rezonancí u tepelných neutronů
- Minimální vliv na lokální hustotu energie
- Nízká rychlost vyhořívání – 0,012 % za měsíc při toku tepelných neutronů  $10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$
- 99 % signálu má poločas 3,76 minuty
- 1 % signálu je okamžitá hodnota
- Velmi zpožděný signál
- Energie paralelní beta emise je 2,6 MeV

- Použití pro mapování toku tlakovodního a těžkovodního reaktoru

#### 2.4.3 Kobaltový emitor

- Materiál emitoru  $\text{Co}^{59}$
- Reakce  $n-\gamma$  s průřezem pro tepelné neutrony  $37 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  a paralelní  $\gamma$ -fotonovou reakcí
- Relativně nízká citlivost
- Střední rychlost vyhořívání – 0,094 % za měsíc při toku tepelných neutronů  $10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$
- Signál je okamžitý s potřebou dlouhodobé kompenzace z důvodu rozpadu na radioaktivní izotopy  $\text{Co}^{60}$  a  $\text{Co}^{61}$
- Použití pro mapování neutronového toku, kontrolu a ochranu aktivní zóny tlakovodního reaktoru

#### 2.4.4 Hafniový emitor

- Materiál emitoru  $\text{HfO}_2$
- Reakce  $n-\gamma$  s průřezem tepelné neutrony  $115 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  a paralelní  $\gamma$ -fotonovou reakcí
- Relativně nízká citlivost
- Vliv na lokální hustotu energie
- Vysoká rychlost vyhořívání – 0,3 % za měsíc při toku tepelných neutronů  $10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$
- 96 % signálu je okamžitá hodnota
- 4 % signálu je zpožděný jako radiace  $\gamma$  z produktu štěpení
- Použití pro mapování neutronového toku, lokální kontrolu a lokální ochranu aktivní zóny reaktoru RBMK

#### 2.4.5 Stříbrný emitor

- Materiál emitoru  $\text{Ag}^{107, 109}$
- Reakce  $n-\beta$  s průřezem pro tepelné neutrony  $64,8 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  a malou rezonancí při 5–134 eV
- Průměrná citlivost
- Průměrný vliv na lokální hustotu energie

- Průměrná rychlost vyhořívání – 0,16 % za měsíc při toku tepelných neutronů  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec
- 66 % původního signálu má poločas 24,4 sekund
- 25 % signálu má poločas 2,42 minuty
- 9 % signálu je okamžitý signál
- Dvojnásobně zpožděný signál
- Použití pro mapování toku reaktoru RBMK

#### 2.4.6 Platinový emitor

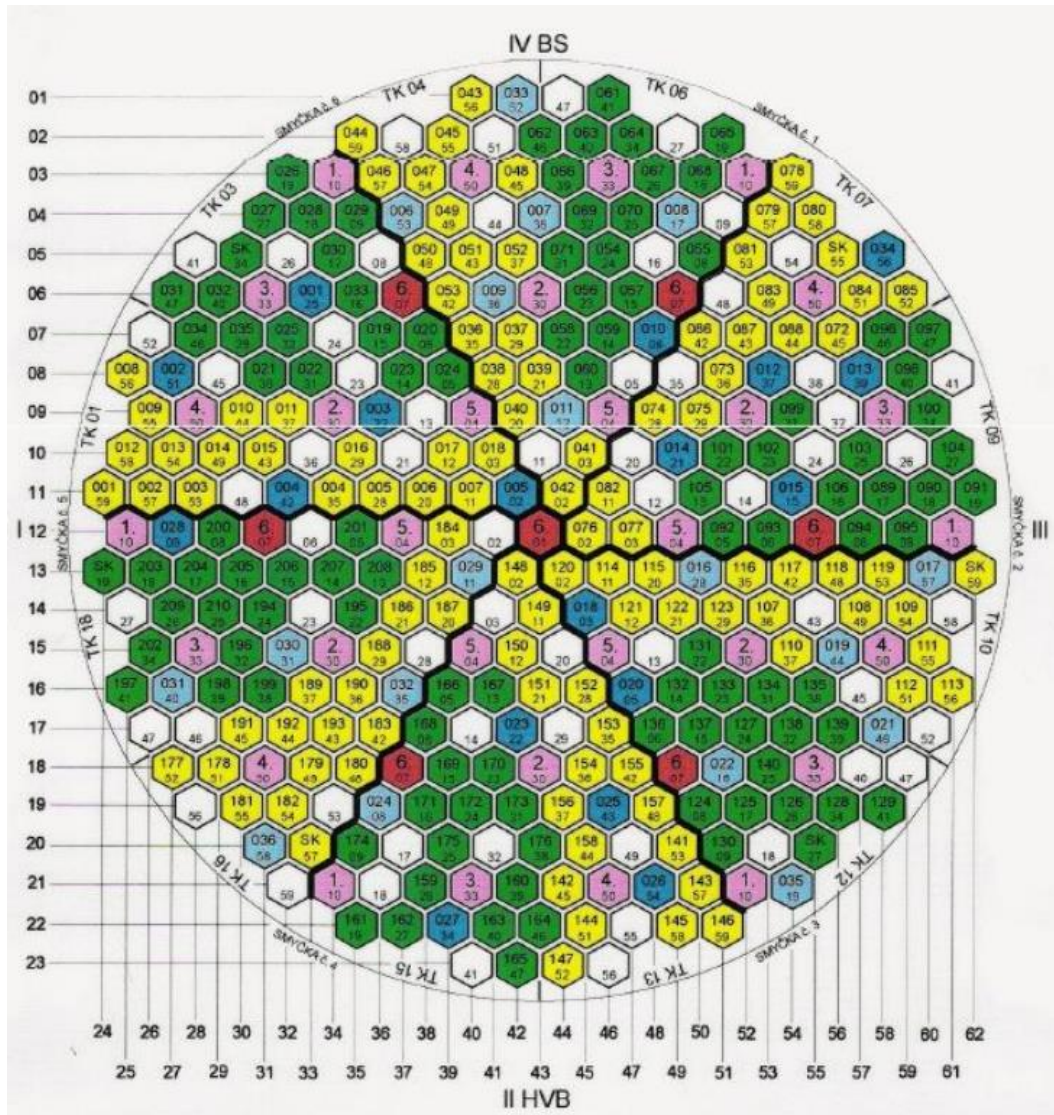
- Materiál emitoru Pt<sup>135</sup>
- Relativně nízká citlivost
- Reakce n- $\gamma$  s průřezem pro tepelné neutrony  $24 \times 10^{-24}$  cm<sup>2</sup> a paralelní  $\gamma$ -fotonovou reakcí
- Nízká rychlost vyhořívání – 0,03 % za měsíc při toku tepelných neutronů  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec
- Okamžitý signál s oběma složkami od neutronů i  $\gamma$  záření
- Citlivý k toku  $\gamma$  záření i neutronů s 93 % signálu jako reakce na  $\gamma$  záření a 7 % signálu jako reakce na neutronový tok v typické PWR AZ
- Použití pro kontrolu tlakovodního a těžkovodního reaktoru (9)

### 2.5 Instrumentace na VVER-440

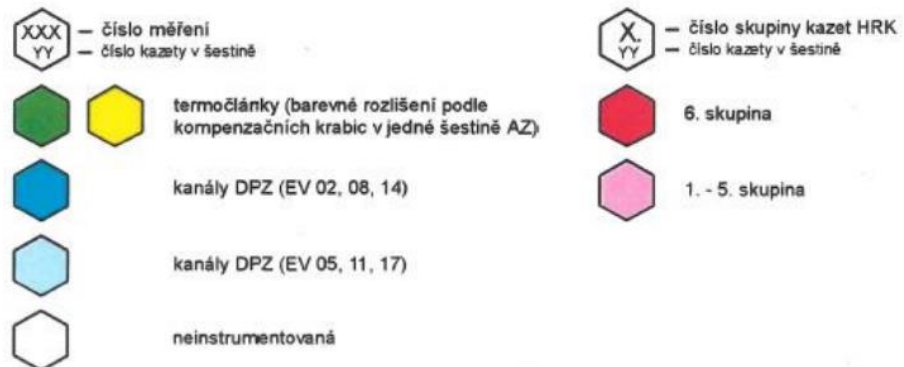
Měření teplot na VVER-440 je prováděno 210 termočlánky TCHA 2076 (typ K) o rozsahu 0–1273 °C a citlivostí 40  $\mu$ V/°C nad kazetami, 6 termočlánky ve směšovací komoře, 12 kompenzačními krabicemi (18 termočlánků a 2 odporové teploměry). Termočlánky jsou uspořádány do 52 skupin symetrie po 6 kazetách. Většinou jsou měřena 4 místa, v určitých případech je ale možné měřit pouze na 3 nebo 5 místech.

Pro provozuschopnost systému měření teploty chladiva na výstupu z PK jsou zavedeny dvě podmínky. První udává, že pro provozuschopnost nesmí být vyřazeno z činnosti více než 72 termočlánků v celé aktivní zóně. Druhá udává, že nesmí být vyřazeno z činnosti více než 18 termočlánků v jedné šestině aktivní zóny. (7)

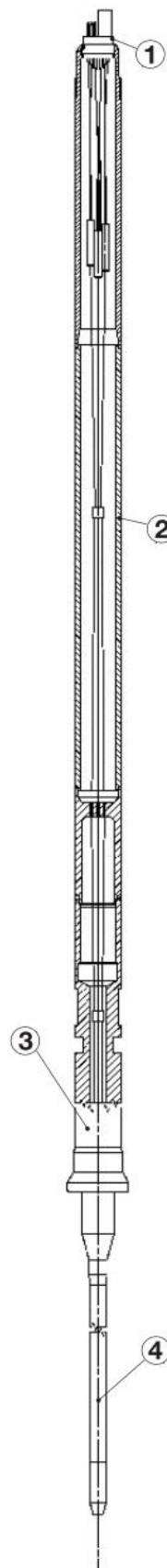




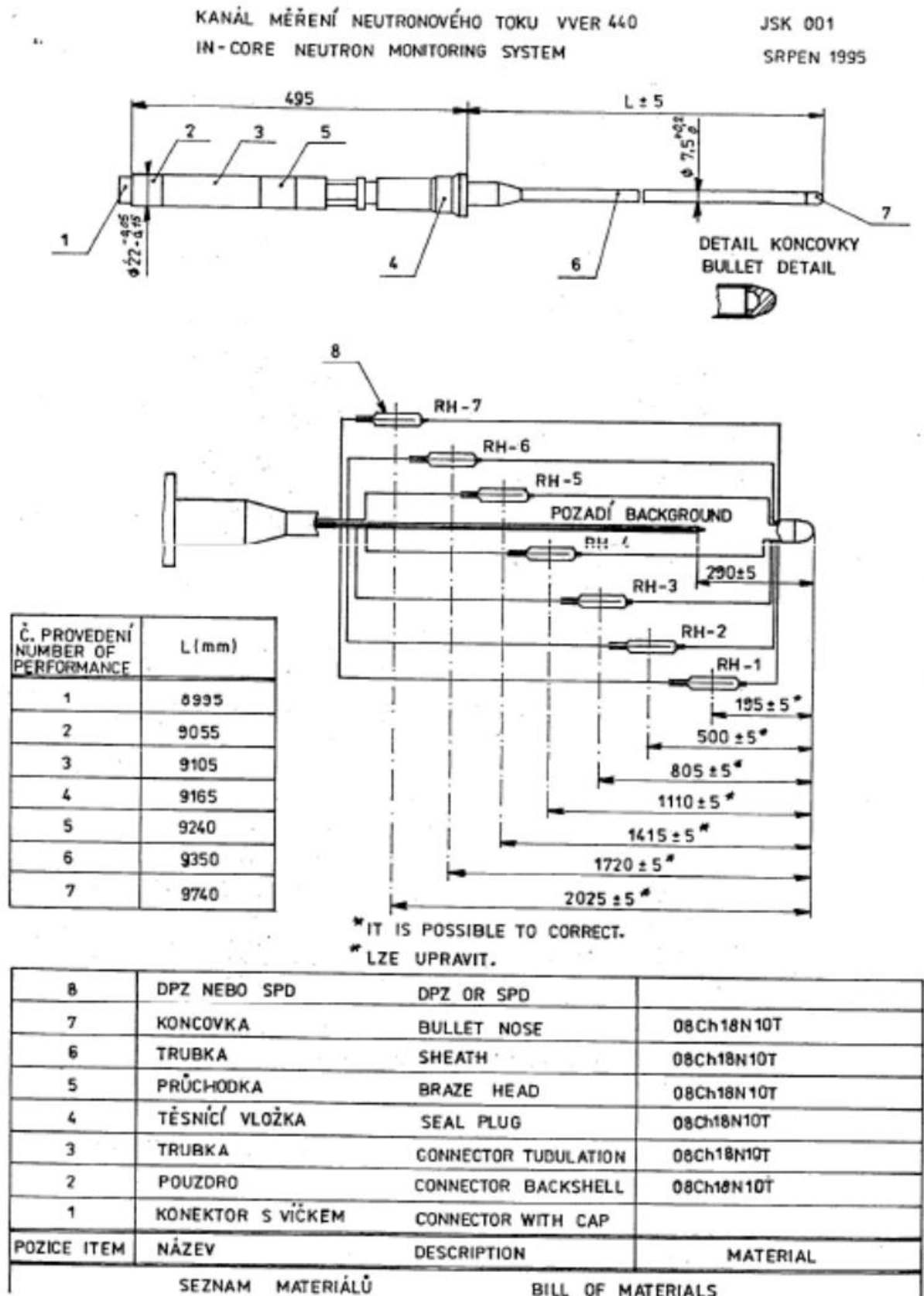
Obrázek 7 - Mapa rozložení měření v aktivní zóně na VVER-440 (EDU) (7)



Obrázek 8 - Legenda mapy rozložení měření v aktivní zóně na VVER-440 (EDU) (7)



Obrázek 9 - Kanál neutronového toku KNI 401 pro reaktor VVER-440 (1 – konektor, 2 – pouzdro, 3 – místo utěsnění ve víku reaktoru, 4–7 samonapájecích rhodiových detektorů neutronového toku) (11)

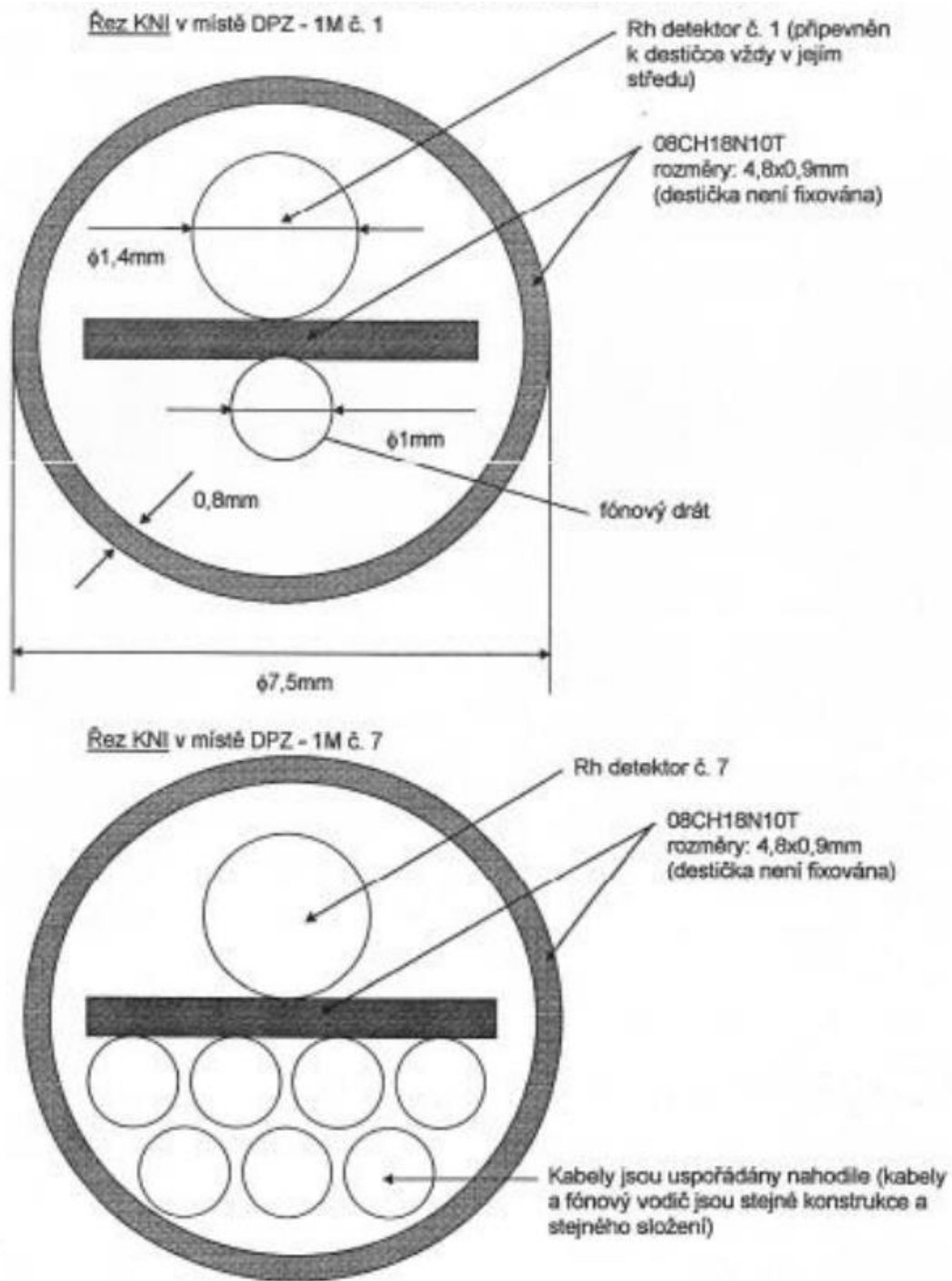


Obrázek 10 - Schéma rozmístění SPD v KNI 401 a kusovník (11)



Obrázek 11 - Kabeláž uvnitř pouzdra čidla KNI-LM (6)

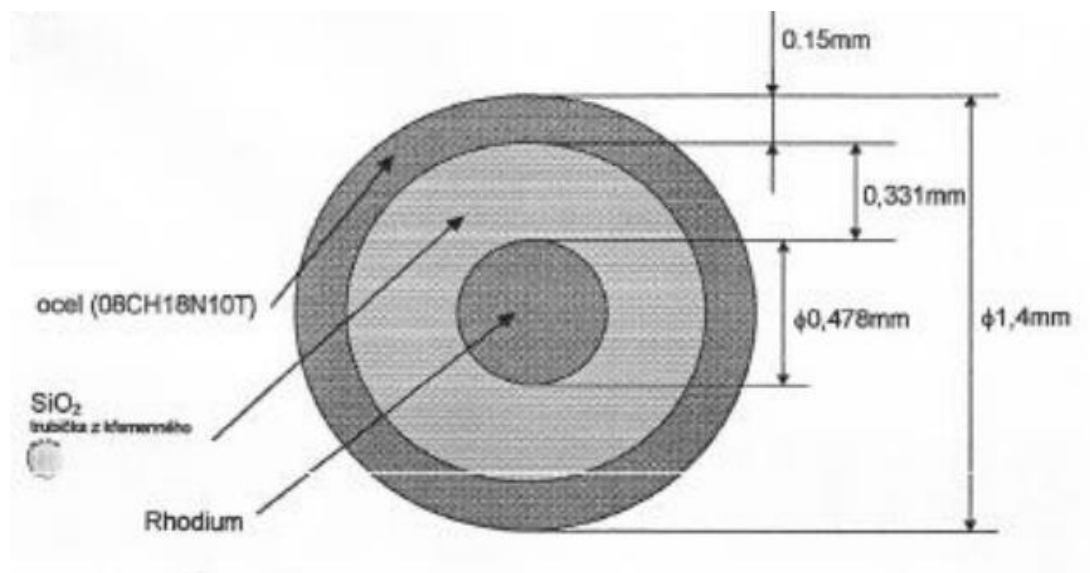
Na obrázku [11] jsou vidět průchodky, z nichž vycházejí černé kabely, které slouží pro napájení topných tělísek. Průchodky, ze kterých vycházejí stříbrné kabely slouží k vyvedení  $\beta$  emisních rhodiových emitorů a průchodky, ze kterých vycházejí bílé a zelené kabely slouží pro vývod termočlánků.



Obrázek 12 - Současná KNI (KVANT – Rusko) v JE Dukovany (dle výkresu Ae 111925) (7)



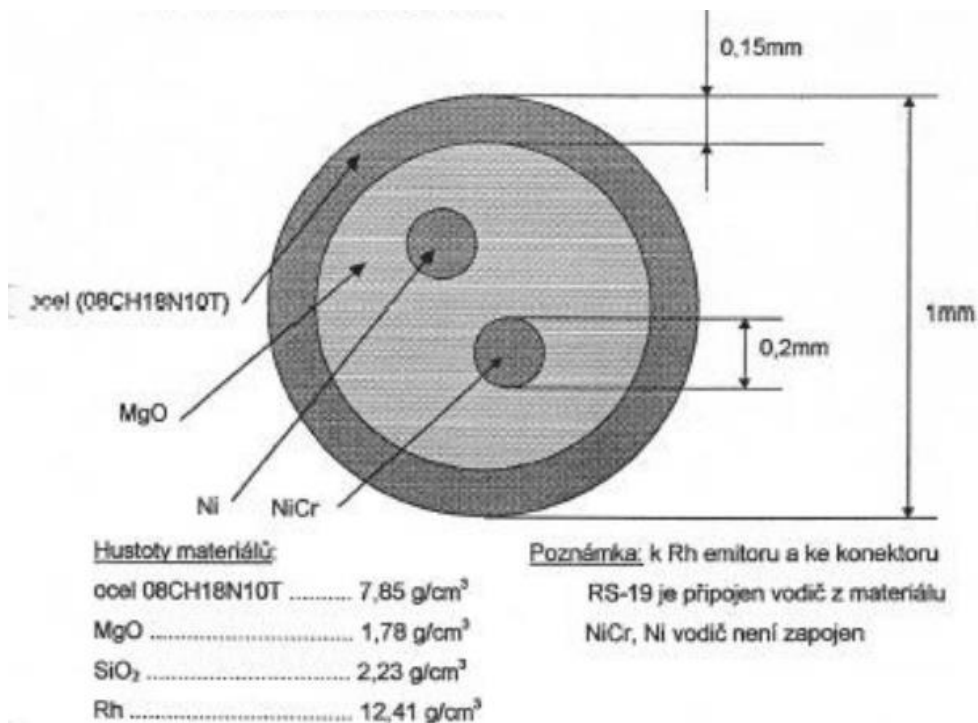
Obrázek 13 - Řez tělesem sondy KNI-LM (6)



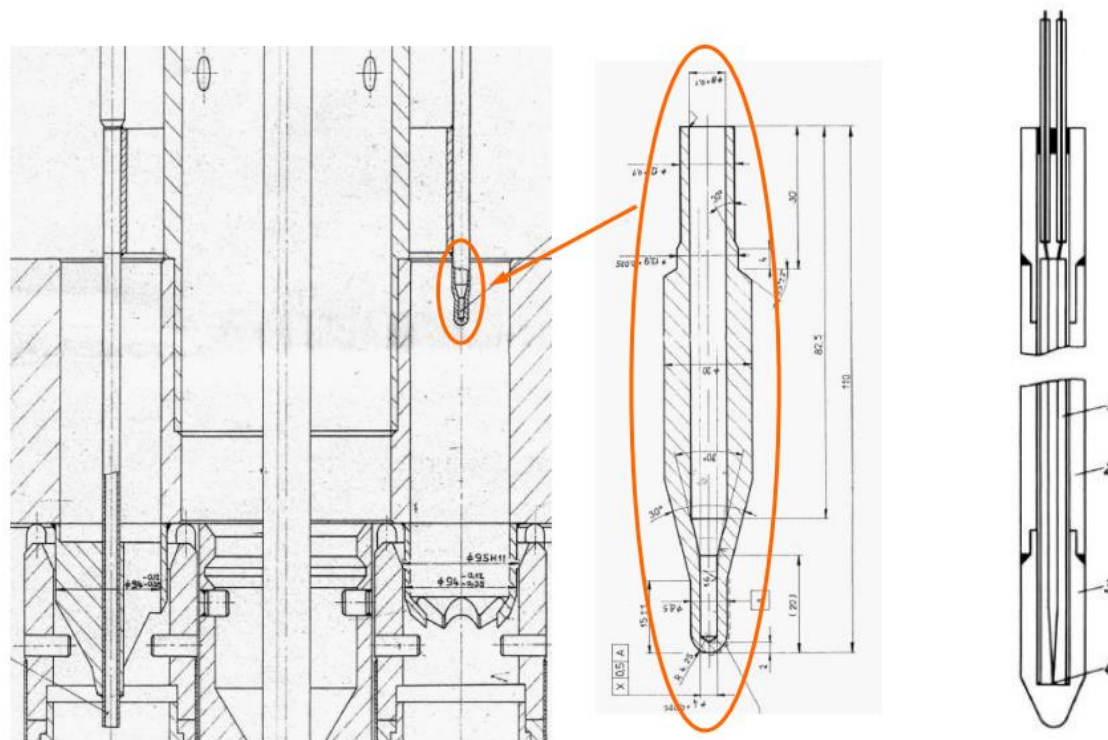
Obrázek 14 - Řez detektorem DPZ – 1M (7)



Obrázek 15 - Řez trubicou sondy KNI-LM (6)



Obrázek 16 - Řez kabelem (fónovým vodičem) (7)



Obrázek 17 - Termočlánek označení TCHA 2076 (typ K) a jeho konstrukční umístění (7)

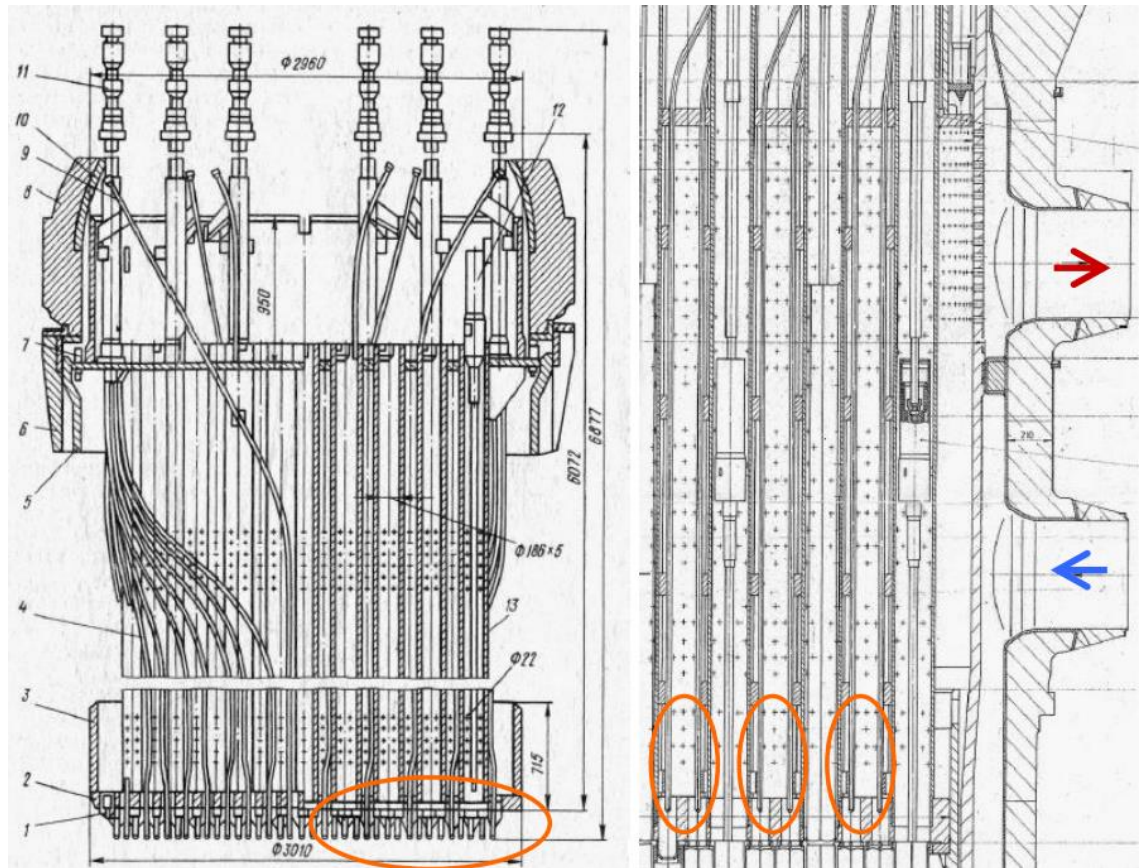
Obrázky [9] – [16] zobrazují konstrukci sondy KNI-LM jak schematicky, tak skutečnou sondu v řezu

Na obrázku [13] je znázorněn řez tělesem sondy KNI-LM. Nejtenčí drátky jsou plášťované termočláanky, střední drátky jsou od rhodiových emitorů a nejsilnější drátky slouží k napájení tří topných elementů pro indikaci přítomnosti kapaliny.

Na obrázku [15] je vyfocen řez trubkou sondy KNI-LM s topným tělískem. Vnitřní dutina je za funkčního stavu vyplněna izolací MgO.

Na obrázku [17] je výřez výkresu sestavy bloku ochranných trub s vyznačeným umístěním termočláanky a okótovaným detailem. Obrázek [18] je výkres soustavy a vedení sond KNI, taktéž je na výkresu znázorněna oblast, která zobrazuje detail na obrázku [17].

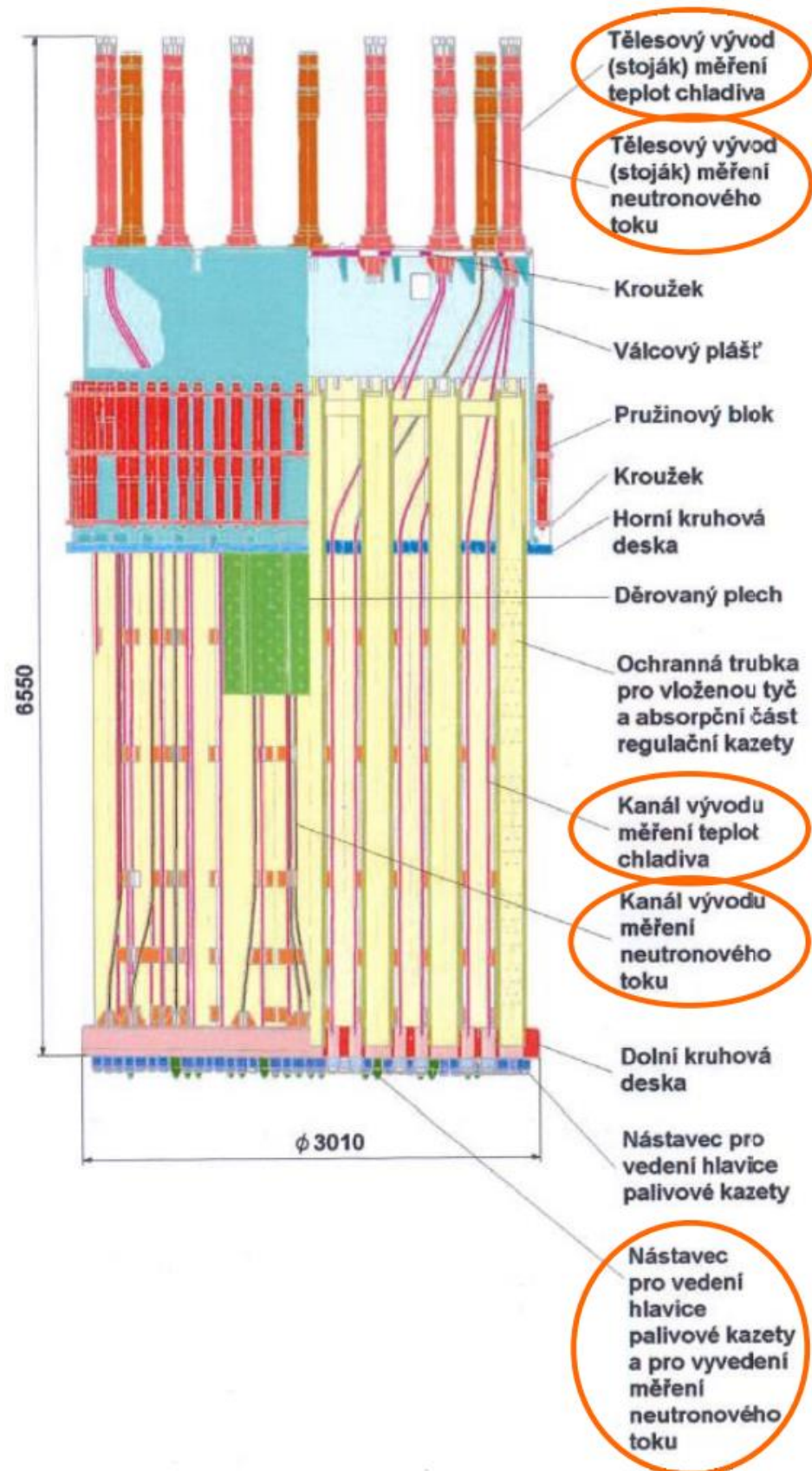




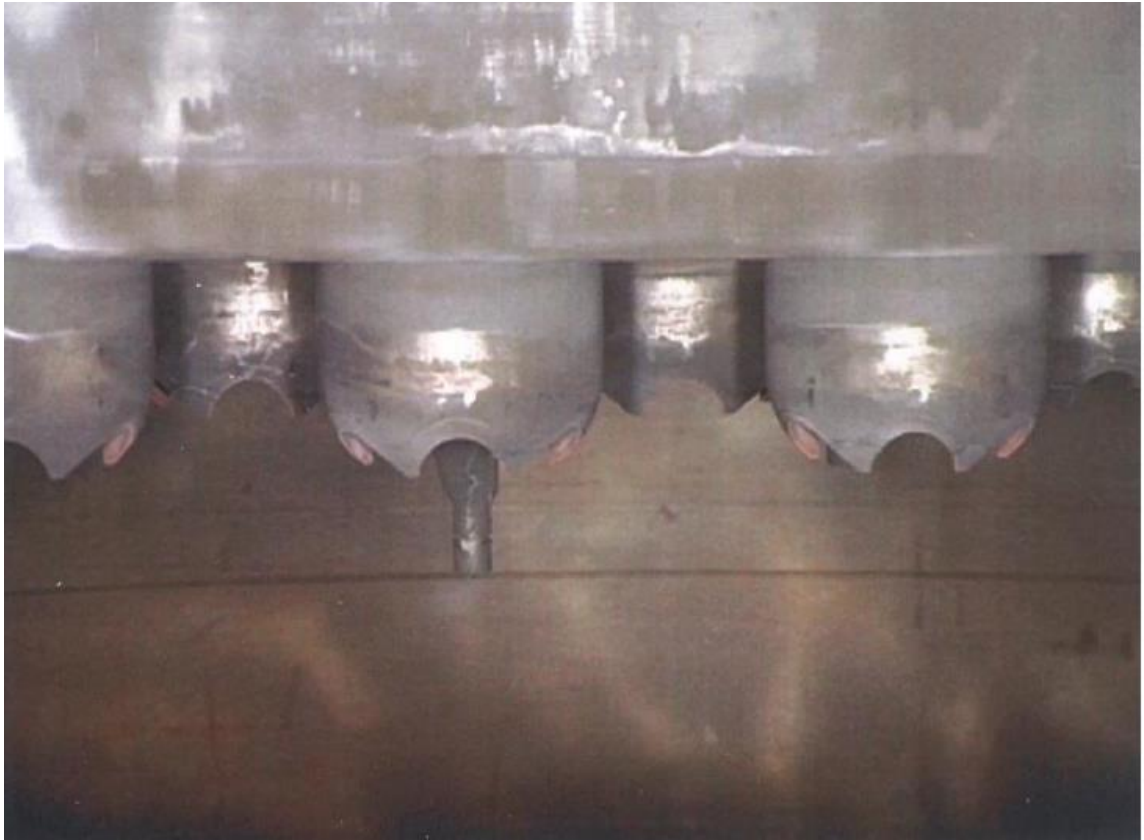
Obrázek 18 - Schéma horního bloku a schéma proudu chladiva v reaktoru VVER-440 (7)

Měření neutronového toku na VVER-440 je prováděno 36 kanály neutronového toku se 7 detektory v jedné sondě, celá aktivní zóna tedy obsahuje 252 detektorů. Délka detektoru DPZ je 200 mm, životnost 4-6 let. Sondy KNI jsou od výrobce Škoda JS a SPD od firmy Mirion Technologies (dříve IST).

Pro provozuschopnost systému měření neutronového toku nesmí být vyřazeno z činnosti více než 63 detektorů SPD v celé aktivní zóně a zároveň nesmí být vyřazeno z činnosti více než 2 kanály KNI v jedné šestině aktivní zóny.



Obrázek 19 - Rozvod vnitroreaktorového měření v bloku ochranných trub (7)

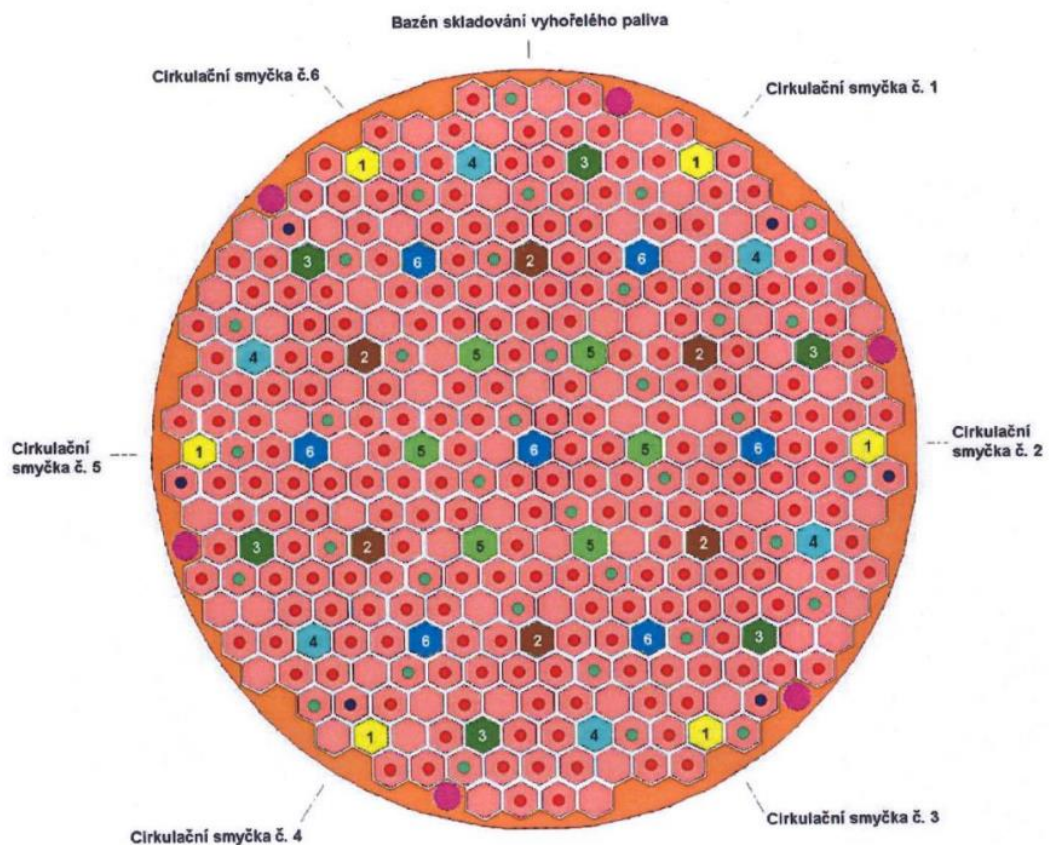


*Obrázek 20 - Nástavce vývodu KNI ve spodní desce bloku ochranných trub (7)*

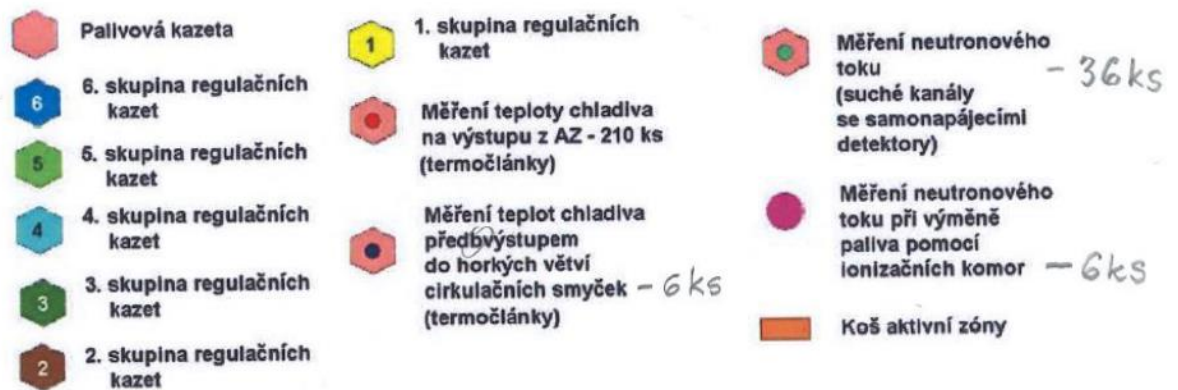
Na obrázku [19] je popsán rozvod vnitroreaktorové instrumentace měření v bloku ochranných trub včetně zvýraznění částí důležitých pro monitorování za pomoci sond KNI-LM, konkrétně tělesového vývodu měření teplot paliva, tělesového vývodu měření neutronového toku, kanálu vývodu měření teplot chladiva, kanálu vývodu měření neutronového toku a nástavce pro vedení hlavice palivové kazety a pro vyvedení měření neutronového toku. Nástavce vývodu měření neutronového toku jsou vyfoceny na obrázku [20].

Na obrázku [21] je zobrazeno schéma konkrétní měřicí instrumentace v aktivní zóně VVER-440/213.

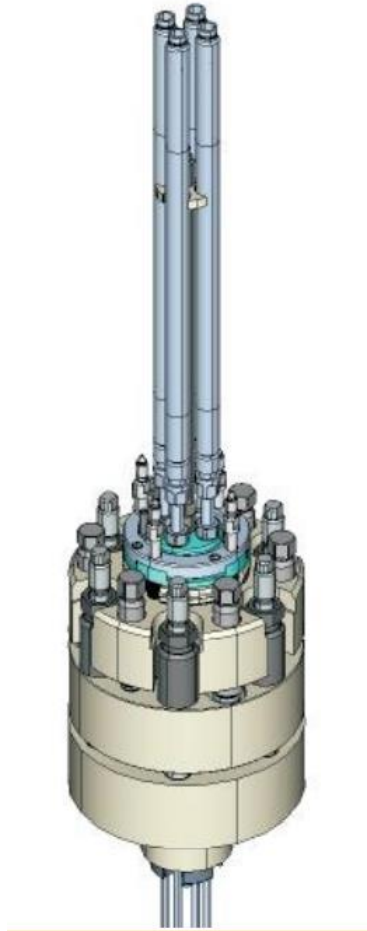
Na obrázcích [23] a [24] je zobrazena sestava vývodu měření neutronového toku na nátrubku víka reaktoru VVER včetně popisu této sestavy. Princip těsnění této sestavy a sestavy pro vývod měření teplot je znázorněn na obrázku [25].



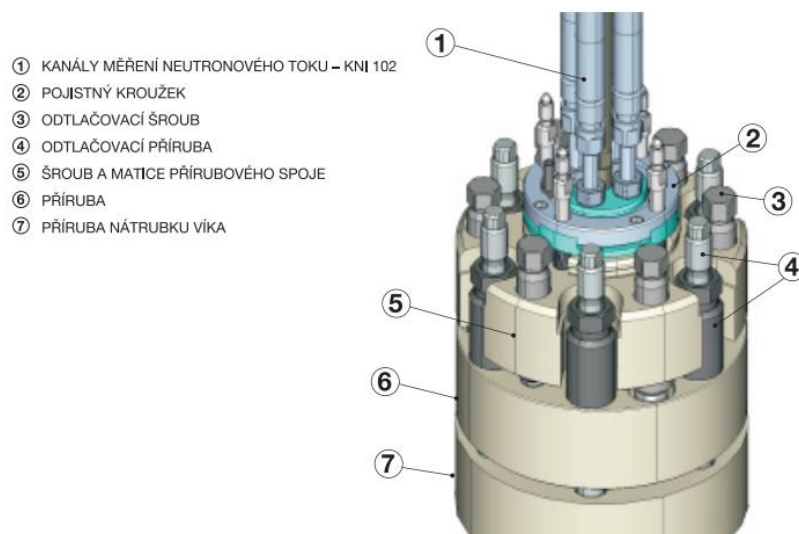
Obrázek 21 - Schéma konkrétní měřicí instrumentace v aktivní zóně VVER-440 (7)



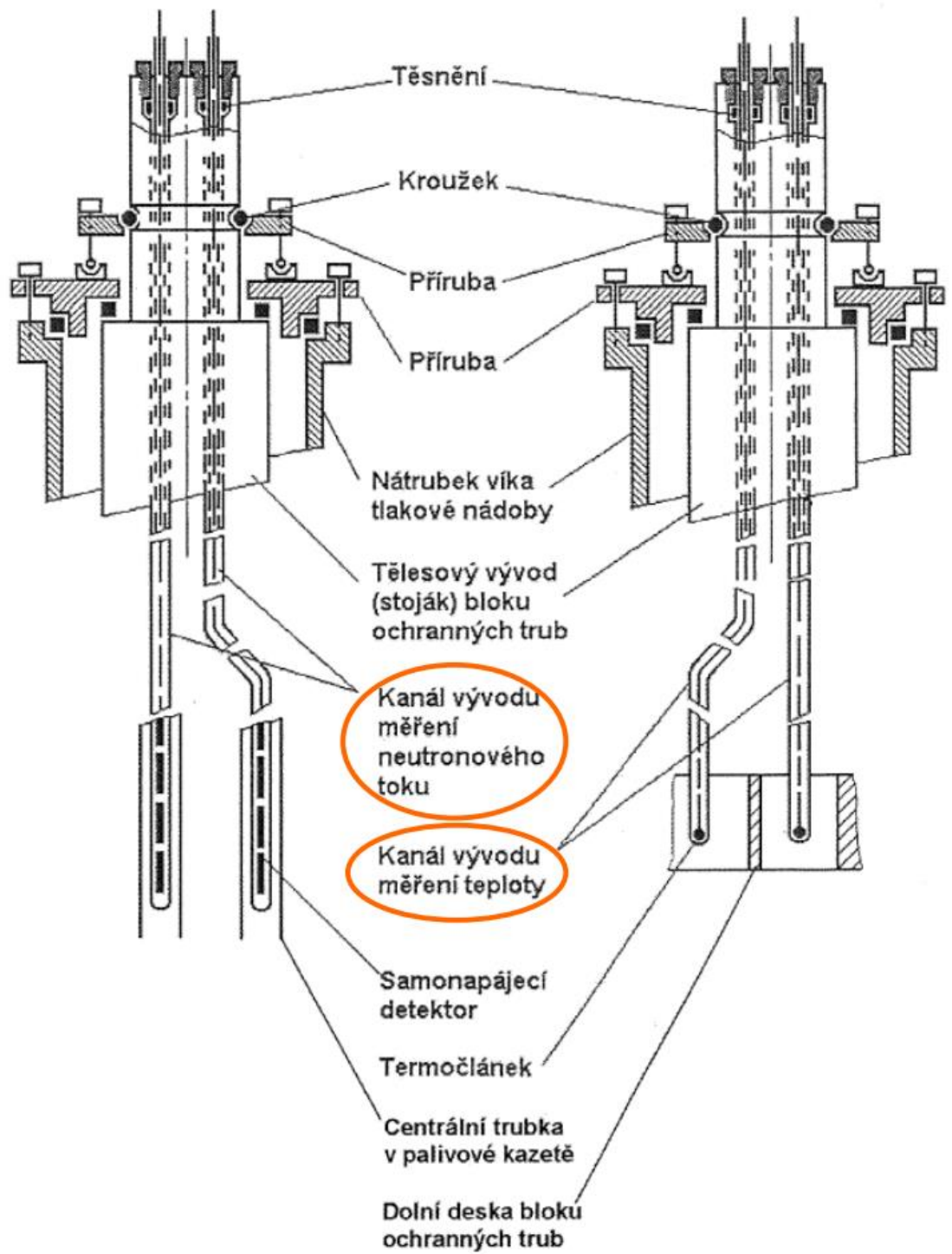
Obrázek 22 - Legenda schématu konkrétní měřicí instrumentace v aktivní zóně VVER-440 (7)



Obrázek 23 - Sestava vývodu měření neutronového toku na nátrubku víka reaktoru VVER (11)



Obrázek 24 - Popis sestavy vývodu měření neutronového toku na nátrubku víka reaktoru VVER (11)



Obrázek 25 - Schéma zatěsnění vývodů vnitroreaktorového měření (7)

## 2.6 Likvidace čidel neutronového toku a termočlánků

Principy likvidace čidel se dají dělit dle několika kritérií. Prvním kritériem je podle místa likvidace, tedy, zda je nutné čidla transportovat mimo půdorys jaderného reaktoru nebo je možné čidla likvidovat přímo na půdorysu reaktoru. Druhým kritériem jsou principy zmenšení transportní velikosti čidel. (11)

### 2.6.1 Rozdělení podle místa likvidace

V závislosti na uspořádání reaktorového sálu je možné realizovat likvidaci čidel přímo nad reaktorem nebo mimo půdorys reaktoru jinde na reaktorovém sále.

Likvidace čidel přímo nad reaktorem probíhá tak, že se čidlo vytahuje z aktivní zóny a ihned se následně redukuje jeho transportní velikost. Výhodou tohoto řešení je minimální manipulace s ozářenými čidly a snížení rizika ozáření pracovníků nebo zařízení. Nevýhodou je nutnost přesouvat destrukční modul nad reaktor kvůli každému jednomu čidlu, malá kapacita zásobníků likvidovaných čidel a ve většině případů dlouhá doba potřebná pro likvidaci jednoho čidla, obtížná manipulace při zavádění likvidovaného čidla do zařízení a nutný zásah obsluhy.

Likvidace čidel mimo půdorys probíhá tak, že se čidlo natáhne do transportního zařízení, které jej přesune nad destrukční zařízení, kde je čidlo zlikvidováno. Hlavní výhodou tohoto řešení je, že destrukční modul může být trvale uložen na reaktorovém sále a v případě potřeby výměny kteréhokoli čidla je nutné přesouvat pouze transportní modul. Další výhodou spočívá v tom, že je kvůli trvalému uložení destrukčního modulu možné vybudovat zásobník na větší počet čidel a tím pádem i minimalizovat náklady na transport a snížit riziko ozáření obsluhy nebo zařízení při transportu. Hlavními nevýhodami je nutný trvale zastavěný prostor pro destrukční modul, riziko ozáření při transportu z reaktoru nad destrukční modul a náklady na transportní modul. (11)

### 2.6.2 Rozdělení podle principů zmenšení transportní velikosti

Zmenšení transportní velikosti čidla lze realizovat deformací čidla nebo jeho dělením.

Deformací čidla se rozumí zmenšení celkových rozměrů plastickou deformací. Tento proces je možné realizovat několika způsoby. Mezi nejčastěji používané způsoby patří namotávání čidel na trn a lisování čidel, čímž dojde ke zmenšení jejich celkových rozměrů.

Zmenšení transportních rozměrů čidel je možné provádět i dělením čidel na menší části. Při tomto principu dochází k dělení čidel třískovým či beztřískovým obráběním. Hlavní výhody tohoto principu spočívají v rychlosti destrukce čidel a efektivním využití skladovacího prostoru. Jelikož mohou jednotlivé části čidel padat přímo na sebe, zmenšuje se tak mrtvý prostor, který je znatelný například u klubek při namotávání čidel na trn. Nevýhodou je opotřebení dělicích nástrojů, např. otupení břitů nožů při stříhání nebo otupení břitů pilového kotouče při řezání. Taktéž je nutné brát v potaz vznik druhotného radioaktivního odpadu z uvolňování ozářených třísek při obrábění či chladicí tekutiny, které zvyšují riziko kontaminace zařízení nebo ozáření obsluhy. (11)



Obrázek 26 - Destrukční modul na principu namotávání čidel (11)

Na obrázku [26] je zobrazen destrukční modul na principu namotávání čidel pro jadernou elektrárnu Temelín. Samotný modul je umístěn na půdorysu reaktoru.



### 3 Způsoby dělení materiálu

Pro zmenšení transportní velikosti čidel a jejich následné likvidace je vhodné je dělit na menší části.

Dělením materiálu se rozumí výrobní proces, při kterém dochází ke změně tvaru pevného tělesa za místní ztráty soudržnosti. Dělení materiálu můžeme rozdělit na následující kategorie:

#### 3.1.1 Beztrískové

Beztrískovým dělením materiálu se rozumí výrobní proces, při kterém dochází ke změně tvaru pevného tělesa za místní ztráty soudržnosti bez vzniku třísek.

#### 3.1.2 Trískové

Trískovým dělením materiálu se rozumí výrobní proces, při kterém dochází ke změně tvaru pevného tělesa za místní ztráty soudržnosti a vzniku třísek.

#### 3.1.3 Stříhání

Stříháním se rozumí výrobní proces, při kterém je materiál oddělen smykovým namáháním.

#### 3.1.4 Stříhání plošné

Plošným stříháním se rozumí výrobní proces, při kterém je materiál o plošném tvaru, plech, oddělen smykovým namáháním podle uzavřeného a neuzavřeného obrysu při konstantní tloušťce.

#### 3.1.5 Stříhání objemové

Objemovým stříháním se rozumí výrobní proces, při kterém je materiál dělen smykovým namáháním podle neuzavřeného obrysu noži, které se míjejí při proměnné stříhané tloušťce.

#### 3.1.6 Lámání

Lámáním se rozumí dělení ohybem nebo krutem, což způsobí místní napětí v místě namáhání nad maximální pevnost v lomu a dojde ke ztrátě soudržnosti a tvaru pevného tělesa.

### 3.1.7 Jiné způsoby

Mezi jiné způsoby můžeme zařadit dělení materiálu laserovým paprskem, vystřihování a děrování impulsním magnetickým polem nebo dělení a vystřihování ultrazvukem. Vzhledem k technologické a konstrukční náročnosti a potenciální poruchovosti těchto zařízení by se s nimi při návrhu destruktivního zařízení nedalo uvažovat, navíc se tato diplomová práce zaměřuje na návrh stříhacího modulu. (12)

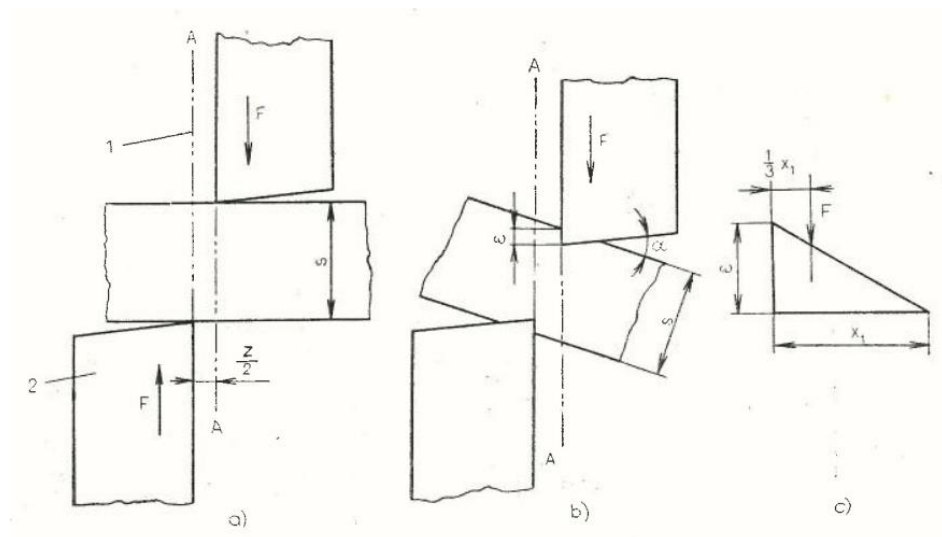
## 3.2 Stříhání

Při stříhání působíme vhodně zvolenými noži na stříhaný materiál tak, aby se ustříhl v námi požadovaném místě. Pro dosažení kvalitního stříhu tak, aby nevznikly ostřiny a zároveň se dosáhlo optimální životnosti břitů nožů z hlediska geometrie, zabránění jejich vylamování nebo dokonce zničení celého zařízení je důležité správně navrhnout ostří nožů, vůli mezi noži, správnou rychlost stříhání a další kritéria.

Při obsluze zařízení musí být pracovník seznámen s maximální dovolenou vůlí mezi noži a jejich maximálním dovoleným otupením, tedy se základními technologickými požadavky kvalitního stříhu. (12)

### 3.2.1 Střížný proces

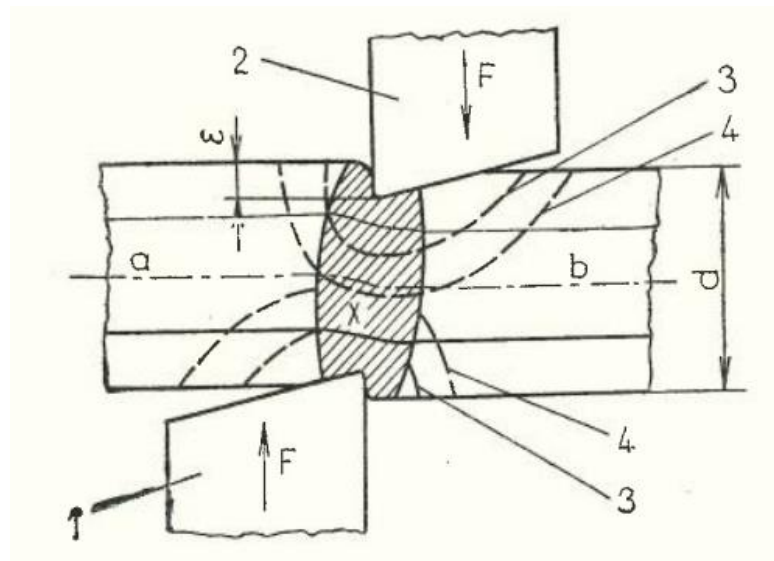
Při stříhání vnikají břity stříhacích nožů do materiálu dvojicí sil tak, aby došlo k oddělení materiálu ve střížné rovině, ve které se samotné nože pohybují. Vznikají zde dva druhy deformace – prvotní a druhotná. (12)



Obrázek 27 - Princip stříhání bez přidržovače (a – výchozí poloha, b – natočení stříhaného materiálu, c – působíště střížné síly na břitu nože, 1 – střížná rovina A-A, 2 – stříhací nože) (12)

Prvotní deformace, tzv. mikrodeformace zrn materiálu je nutná pro uskutečnění stříhu. Druhotná deformace, tzv. makrodeformace materiálu ve střížné ploše se projevuje vnější deformací materiálu.

Ve stříhaném materiálu vzniká tlak, který se šíří od místa styku s břity nožů v plochách znázorněnými izobarami. Tento tlak můžeme dělit na tři fáze. První fáze se nazývá pružnou a je zde napětí menší než mez kluzu. Druhá fáze se nazývá plastickou a napětí je zde na mezi kluzu nebo těsně nad ní, avšak není vyšší než pevnost ve stříhu materiálu. Třetí fáze se nazývá porušení a napětí zde odpovídá pevnosti ve stříhu materiálu. Vzniká zde také tahové napětí, neboť nože přesunou obě části (a, b) stříhaného kovu proti sobě podél střížné plochy. Ve vyšrafované oblasti X na obrázku [28] vznikne přetvoření stříhaného materiálu. V této oblasti jsou postupně vlákna při dalším vzájemném posuvu nožů ohýbána a protahována. Toto prohnutí a prodloužení se bude zmenšovat úměrně vzhledem k úbytku tlaku, tedy úměrně vzhledem k vzdálenosti od břitu nože. (12)

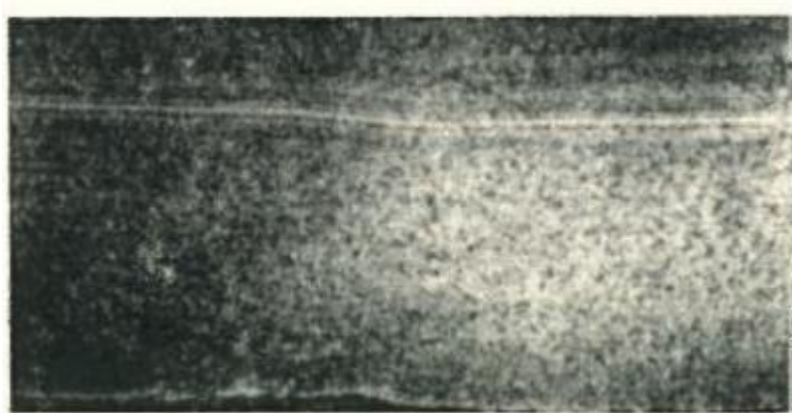


Obrázek 28 - Rozložení tlaků v okolí střížné roviny (1 – pevný nůž, 2 – polyblivý nůž, 3;4 – izobary, a;b – části stříhaného materiálu, X – oblast přetvoření) (12)

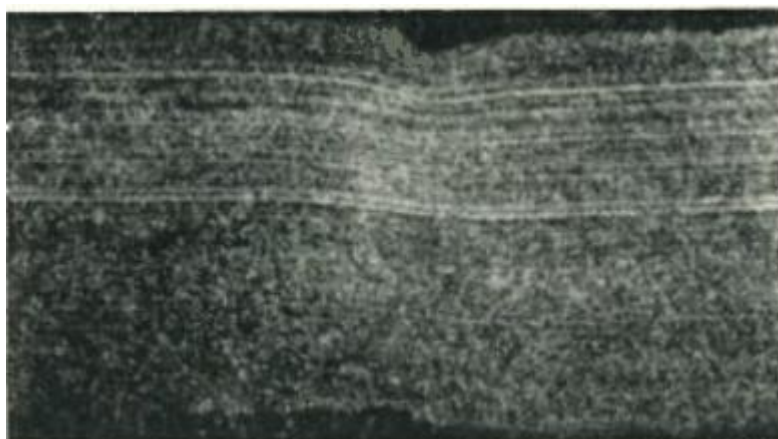
Když jsou nože zatlačeny do poměrné hloubky charakteristické pro stříhaný materiál, dojde po dosažení určitého tlakového namáhání ke vzniku trhliny na povrchu stříhaného materiálu ve směru největšího smykového napětí. Tato trhlina nejčastěji vznikne na břitu střížného nože, neboť je na něm největší tahové napětí. Při dalším zatěžování se trhlina rozšiřuje a vznikají další trhliny až do úplného porušení a oddělení materiálu. Tento proces lze pozorovat na obrázcích [29] až [36]. (12)



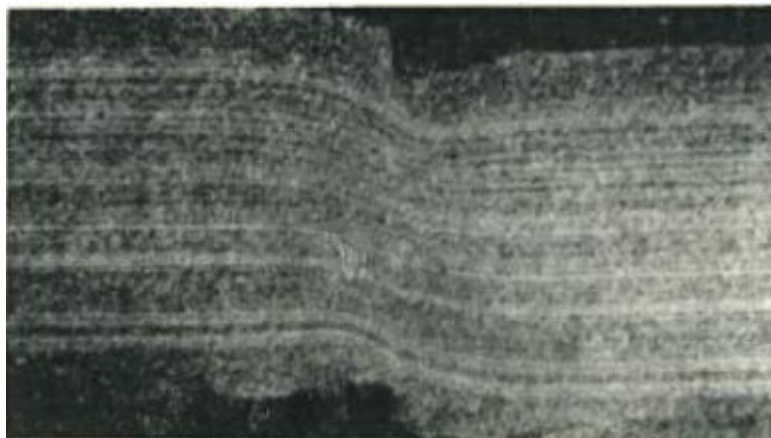
Obrázek 29 - Průběh stříhu oceli, první výbrus (12)



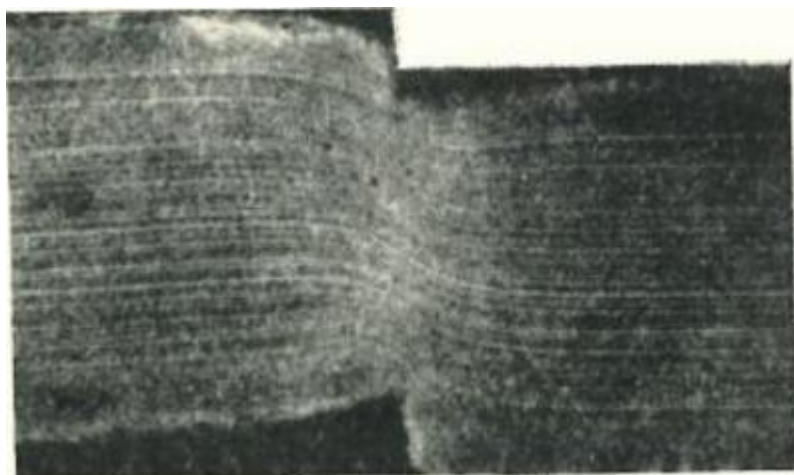
Obrázek 30 - Průběh stříhu oceli, druhý výbrus (12)



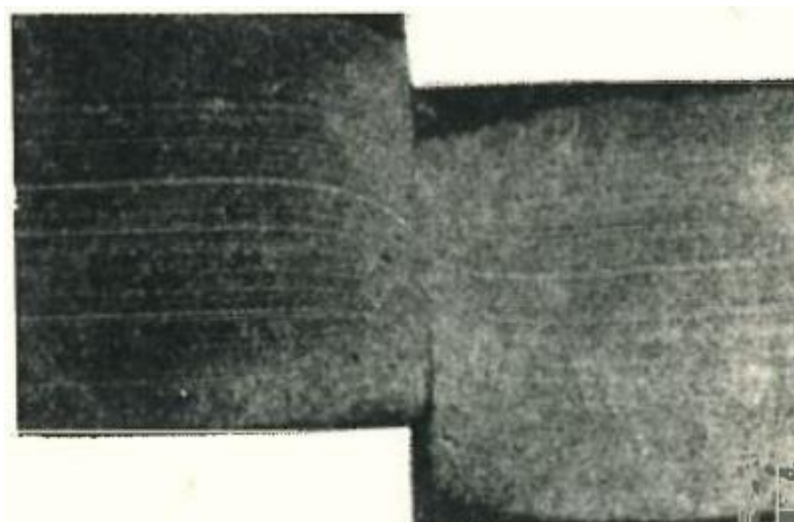
Obrázek 31 - Průběh stříhu oceli, třetí výbrus (12)



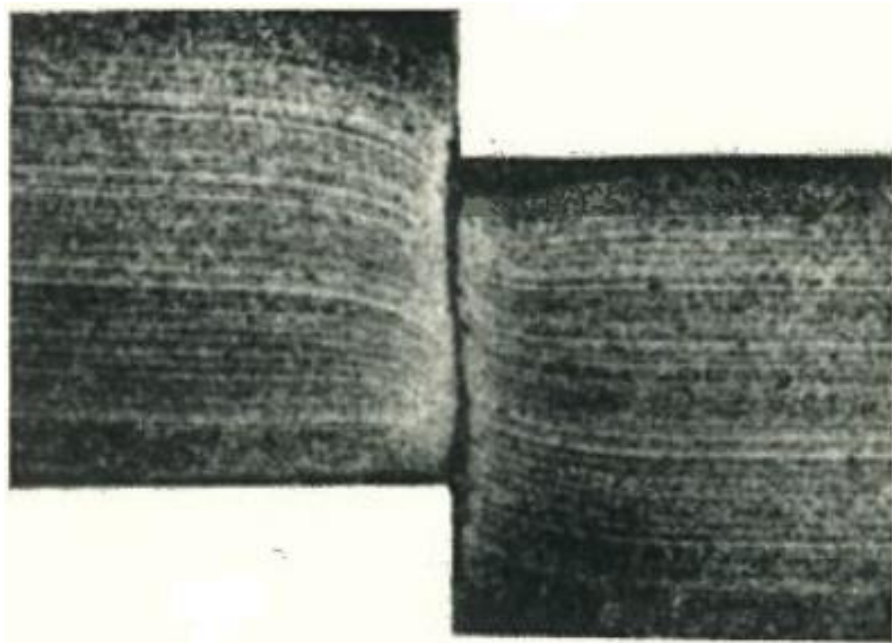
Obrázek 32 - Průběh stříhu oceli, čtvrtý výbrus (12)



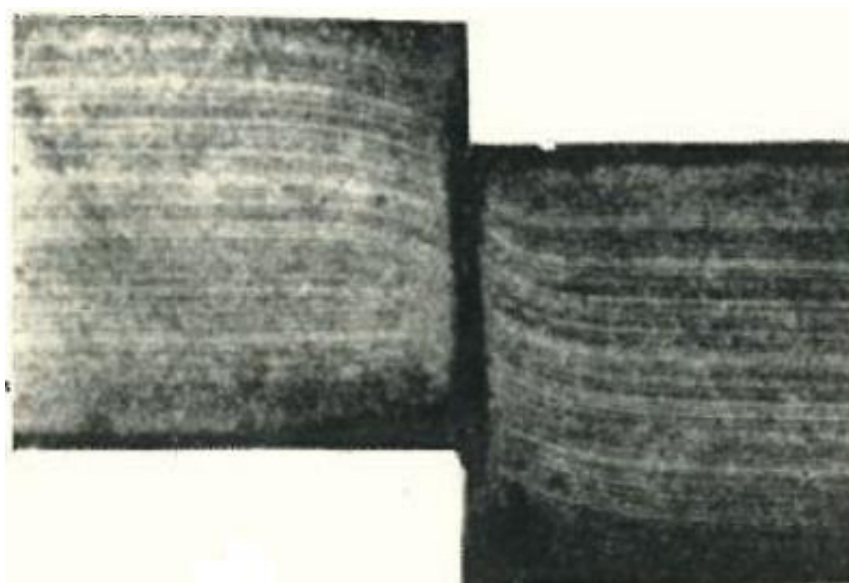
Obrázek 33 - Průběh stříhu oceli, pátý výbrus (12)



Obrázek 34 - Průběh stříhu oceli, šestý výbrus (12)



Obrázek 35 - Průběh stříhu oceli, sedmý výbrus (12)

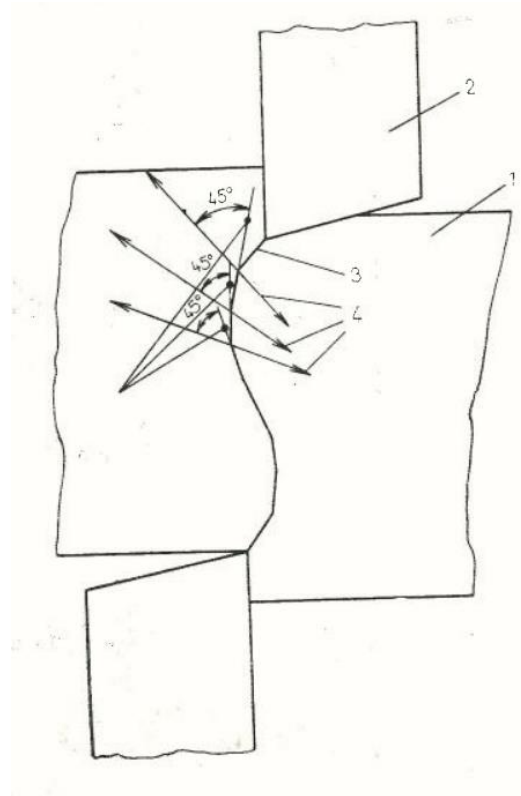


Obrázek 36 - Průběh stříhu oceli, osmý výbrus a úplné oddělení materiálu (12)



Obrázek 37 - Výbrus tvorby střižné trhliny na břitu nože (12)

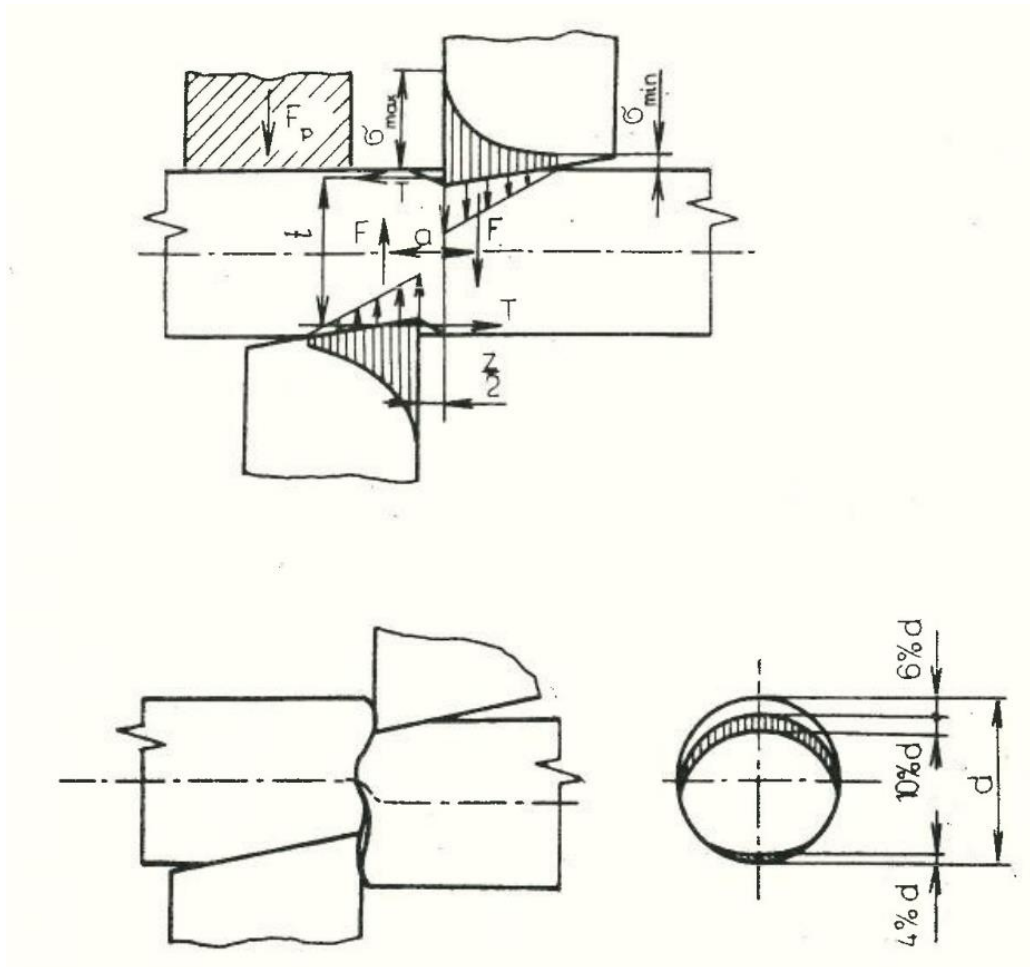
Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení tlaku se mění směr tahových vláken vzhledem ke vzdálenosti od břitu nožů. Podobně se mění i směr trhlin, které postupují ve směru největšího smykového napětí, tedy zhruba v úhlu  $45^\circ$  ke směru tahového napětí. Následkem těchto změn je tvar střižné plochy na obrázku [38].



Obrázek 38 - Tvar střižné plochy následkem šíření trhlin směrem největší hodnoty napětí (12)

### 3.2.2 Síly při stříhání

Na stříhaný materiál působí síly  $F$ , které jsou stejně velké, ale opačně orientované. Vzhledem k vůli mezi noži zde vzniká ohybový moment  $M$  a rozložení tlaků je na noži přibližně trojúhelníkové a jejich průběhy jsou na obrázku [39].



Obrázek 39 - Silové poměry a střížná plocha (12)

$$M = F * a$$

Ohybový moment  $M$  natáčí stříhaný materiál. Ze zákona akce a reakce víme, že na čela nožů začnou působit reakční síly  $T$ , které působí momentem v opačném směru, tj. proti natačení materiálu. Natočení bude nulové, pokud bude dodržena podmínka rovnosti obou momentů.

$$T_t = F * a$$

Moment  $T_t$  odtlačuje nože od sebe a může dojít k ulomení břitů. Pro omezení bočního tlaku na břity lze použít přidržovač znázorněný na obrázku [39] silou  $F_p$ . (12)



### 3.2.3 Střížná vůle

Volba střížné vůle mezi noži záleží na vlastnostech stříhaného materiálu, tvaru nožů, rychlosti stříhání a konstrukci nástroje. Při zvolení optimální vůle se trhliny šířící se od břitů obou nožů potkávají uprostřed stříhaného materiálu. Při malé střížné vůli se trhliny šíří ve dvou různých rovinách a dochází k opětovnému stříhání už odděleného materiálu horním nožem. Pokud je střížná vůle velká, vznikají na střížné ploše zátrhy. Střížné hrany musí být hladké a ostré a poloměr zaoblení břitu musí být malý, aby nedocházelo k nadměrnému zatížení nožů. Nože se považují za tupé, pokud vzroste střížná síla o 60 %. Doporučené velikosti střížných vůlí jsou v tabulce [1]. (12)

Tabulka 1 - Doporučené velikosti střížných vůlí (12)

Pevnost oceli $\sigma_{Pt}$ (MPa)	Střížná mezera v % průměru stří- hané tyče
do 300	12
300 až 400	12 až 9
400 až 500	9 až 6,5
500 až 600	6,5 až 4,5
600 až 700	4,5 až 3
700 až 800	3 až 2
800 až 900	2 až 1
900 až 1 000	1 až 0

### 3.2.4 Rychlost stříhání

Vliv rychlosti stříhání nemůžeme zanedbat, neboť má vliv na potřebnou střížnou práci a na životnost nástrojů. Při rychlostech vyšších, než  $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  je teplota v místě stříhu v intervalu 200 až 300 °C a materiál břitů a nožů je značně tepelně namáhán. (12)

### 3.2.5 Životnost nástrojů

Otupení břitů nožů se projevuje zhoršením kvality střížné plochy a nárůstem střížné síly až o 60 %. Užíváním se hrana břitů střížných nástrojů postupně zaobljuje a dochází ke zvětšení deformace stříhaného materiálu. Opotřebení břitů vzniká únavou materiálu na povrchu břitu, zadíráním materiálu, otěrem a tepelným namáháním.

Únava nožů se projevuje vylamováním střížné hrany břitu, a to především u nástrojů s vysokou tvrdostí. Hodnocení opotřebení nožů lze provést měřením rozměrů

břitu nože, měřením úbytku hmotnosti nože za daný časový úsek nebo určením objemového úbytku pomocí radioizotopů. Nejčastěji se používá první metoda, kdy se uměle otupí několik nožů a zkoumá se velikost otřepu na hranách stříhaného materiálu. Tato metoda nelze použít z důvodu radioaktivity stříhaných čidel a nemožnosti jejich měření. Radioizotopová metoda, která zkoumá intenzitu radioaktivního záření po umělém ozáření taktéž nelze použít z důvodu opakovaného ozařování nožů při střížném procesu.

Při běžném objemovém stříhání je životnost nožů 15 000 až 20 000 ústřížků do broušení. V našem případě to znamená výměnu nožů, které se kvůli radioaktivnímu ozáření nedají snadno brousit. Pro snížení zadíráání, otěru a tepelného namáhání třením a tím pádem i zvýšení životnosti lze leštit čelní plochy nožů. (12)

### **3.2.6 Závady na střížných zařízeních**

Defekty střížných zařízení mohou být za předpokladu správné konstrukce způsobeny nesprávným způsobem výroby, chybou při výrobě, nesprávným seřízením stroje, opotřebením nástrojů nebo samotného stroje. Nesprávný způsob výroby může být například příliš vysoká tvrdost nožů a s tím spojená křehkost nebo naopak příliš nízká tvrdost, která může mít za následek ohnutí nožů nebo rychlejší opotřebení břitů. (12)

### **3.2.7 Pohon střížníků**

Střížníky je možné pohánět ručně, elektromotorem nebo hydraulicky. Pneumatické pohony se navzdory jejich výhodám nepoužívají kvůli stlačitelnosti vzduchu.

Ruční pohony jsou vhodné pro malosériovou výrobu díky nízkým nákladům, nejsou však vhodné pro likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků kvůli riziku ozáření obsluhy.

Hydraulické pohony nebudou použity kvůli možnému úniku hydraulické kapaliny, která může způsobit další kontaminaci zařízení a nutnosti olejového hospodářství. Pro návrh stříhacího modulu v této diplomové práci bude uvažován elektrický pohon, konkrétně lineární elektromotor kvůli jednoduchosti konstrukce, kompaktním rozměrům a nákladům na pořízení a provoz. (12)

## **4 Konstrukční návrh stříhacího modulu**

### **4.1 Popis činnosti modulu**

Proces destrukce čidel neutronového toku a termočlánků pro tuto aplikaci je následující. Transportní modul přijede nad reaktor, uchopí sondu, vytáhne ji, čímž se zajistí stínění a za pomoci jeřábu na reaktorové hale se transportní modul přepraví nad stříhací modul. Transportní modul se ustaví, spustí čidlo do stříhacího modulu, které v požadovaných intervalech ustříhne část čidla, která spadne do zásobníku. Tento proces se opakuje, až nad stříhacím modulem zbude pouze trubka, za kterou je čidlo chyceno. Zmíněná trubka se uvolní a propadne stříhacím modulem do zásobníku. Transportní modul se následně uvolní, přesune se nad reaktor a proces se opakuje, dokud je potřeba.

### **4.2 Požadavky na modul**

Konstrukce modulu by měla být navrhnutá tak, aby bylo splněno:

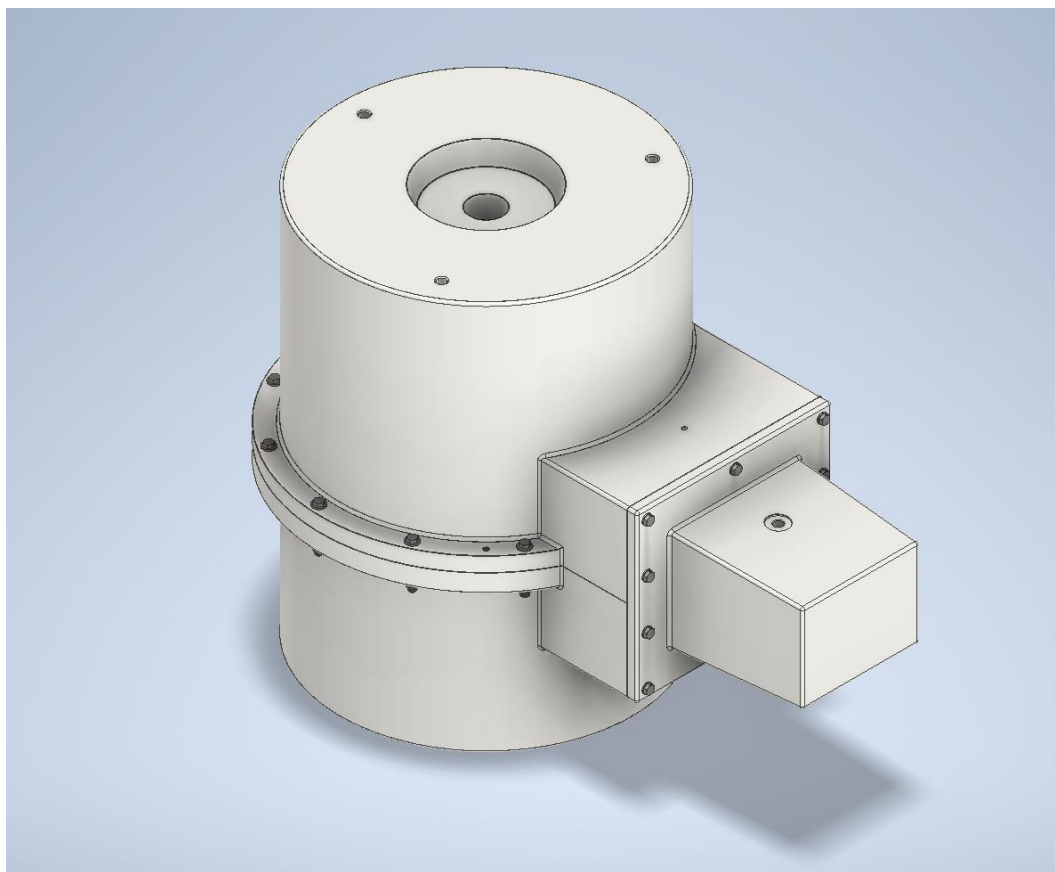
- Dostatečné stínění, aby nedošlo k ozáření obsluhy
- Možnost jednoduše vyměnit střížný nůž
- Jednoduchá dekontaminace zařízení
- Dostatečná korozní odolnost
- Možnost přesouvat modul za pomoci jeřábu na reaktorovém sále
- Možnost kontroly, zda bylo čidlo úplně odstřiženo
- Nízká doba přestřižení
- Pohon za pomoci elektromotoru
- Vyrobitelnost za přiměřenou cenu
- Maximální rozměry půdorysu 1200 x 1300 mm
- Maximální výška 1000 mm
- Maximální hmotnost 4000 kg

### 4.3 Návrh řešení

Stříhací modul má výšku 800 mm, rozměry půdorysu 680 x 1060 mm a váží 2034 kg. Pro konstrukci těles i příruby byl použit materiál 08Ch18N10T. Tato ocel se vyznačuje zaručenou odolností proti plošné korozi vůči kyselině dusičné, proti slabým roztokům anorganických kyselin a proti silným organickým kyselinám. Norma ČSN 03 8169 taktéž zaručuje odolnost proti mezikrystalové korozi. Hlavní výhodou této oceli je schopnost odolávat dlouhodobému vystavení agresivnímu prostředí v celém teplotním rozsahu. Na vzduchu vykazuje tato ocel odolnost proti oxidaci až do teploty 850 °C, v páře až do teploty 750 °C. (13)

Tabulka 2 - Chemické složení materiálu 08Ch18N10T (13)

Materiál	C [%]	Mn [%]	S [%]	P [%]	Ni [%]	Cr [%]	Ti [%]	Fe [%]
08Ch18N10T	<0,08	1-2	<0,02	<0,035	9-11	17-19	<0,06	zbytek



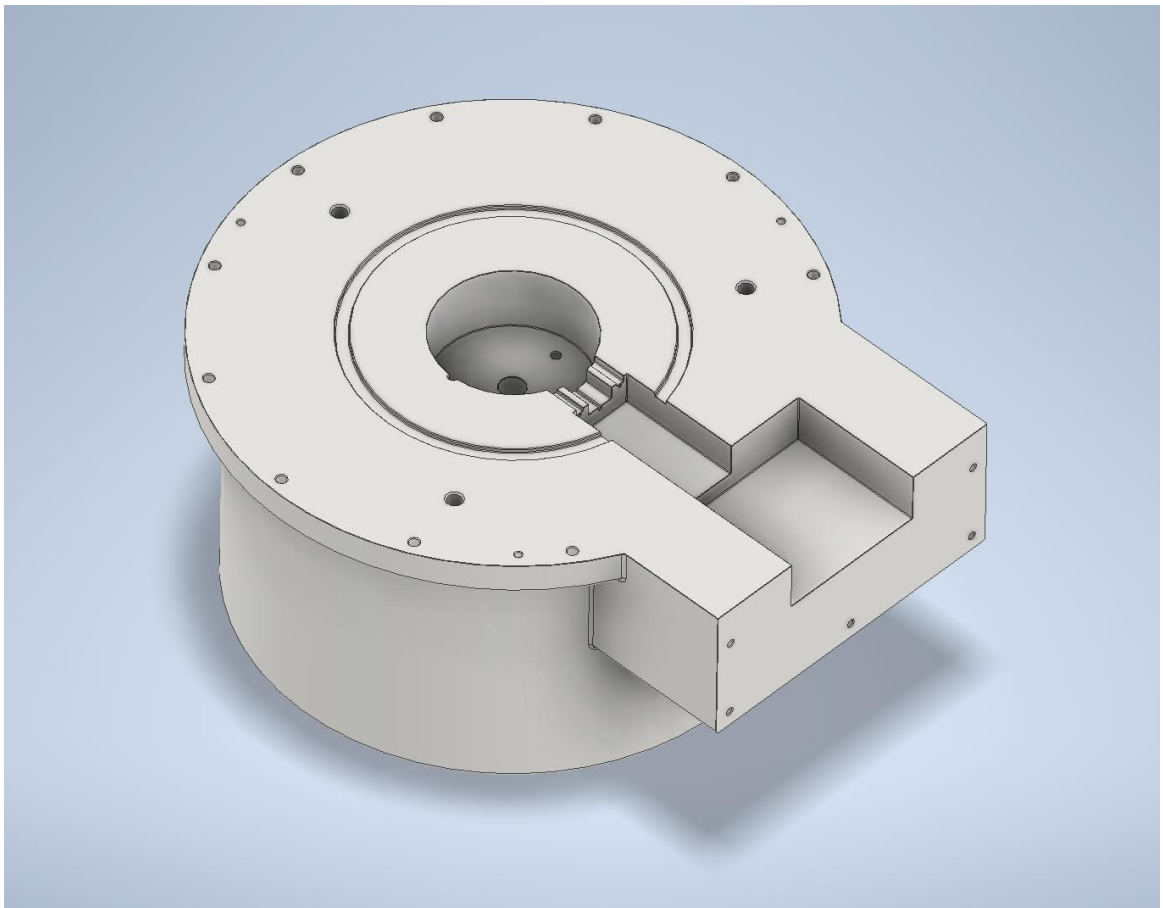
Obrázek 40 - Model sestavy stříhacího modulu

#### 4.3.1 Radiační stínění

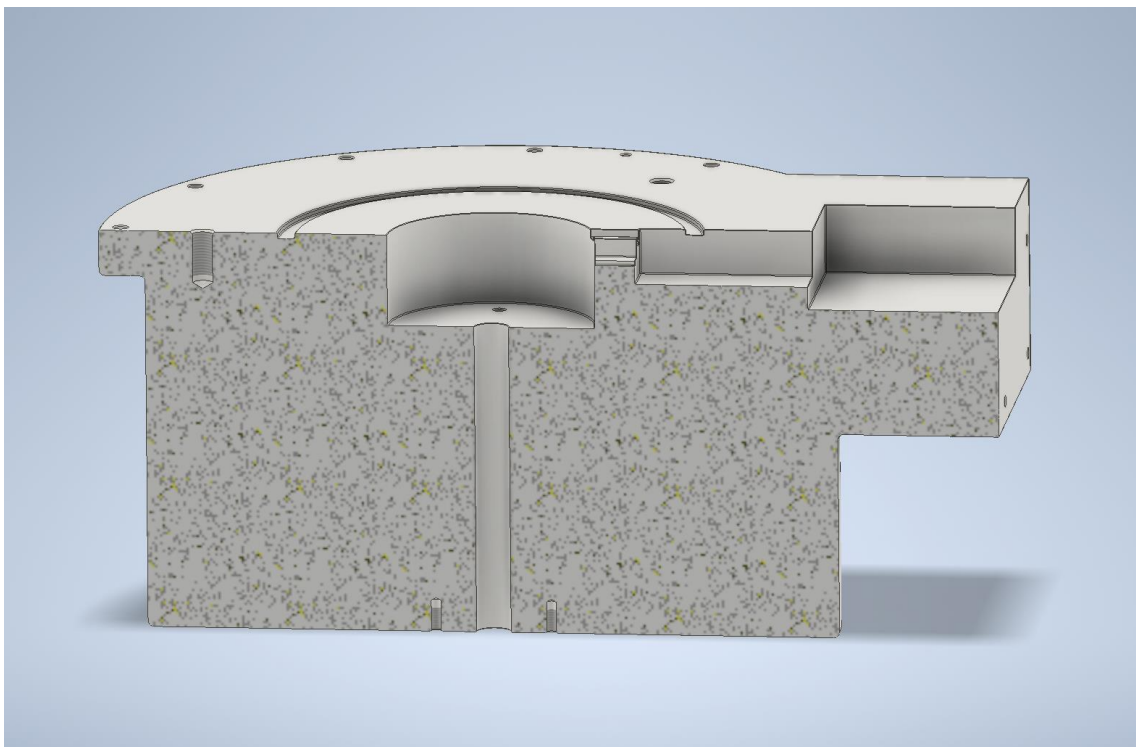
Pro záchyt radiačního záření je nutné dostatečně odstínit stříhaný materiál. Požadavek na ochranu proti radiačnímu záření byl stanoven na 260 mm oceli. Toho bylo dosaženo dostatečným průměrem obou těles, na každém tělese byl přidán i přírůbek kvůli transportním závitům.

Kvůli nemožnosti odstínit radiační záření ve směru uložení lineárního elektropohonu byla navržena příruba, která zajišťuje dostatečné stínění a zároveň jednoduchý přístup k výměně elektropohonu nebo střížného nože bez nutnosti rozdělovat horní a spodní těleso.

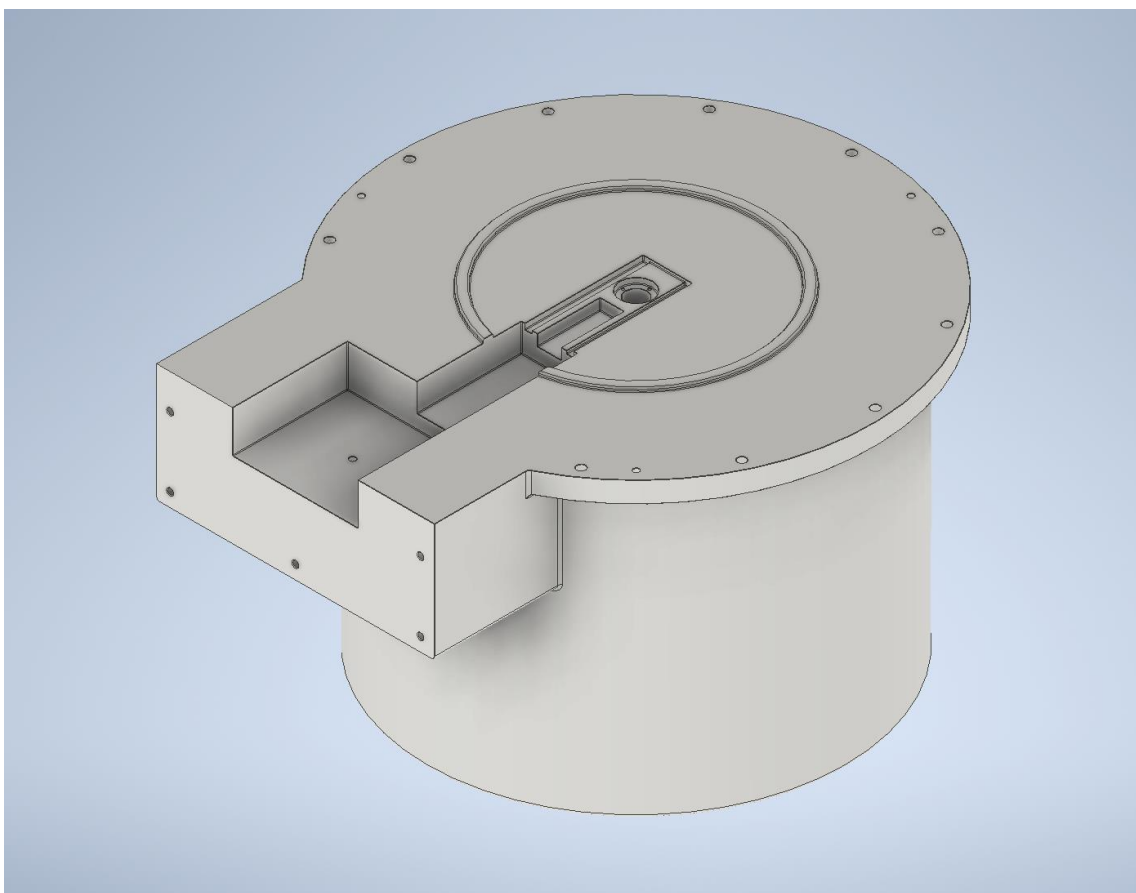
Aby nedošlo k průstřelu částic dělicí rovinou, bylo nutné navrhnout labyrintové těsnění v dělicí rovině. Toto těsnění je znázorněno a zvýrazněno na obrázku [44].



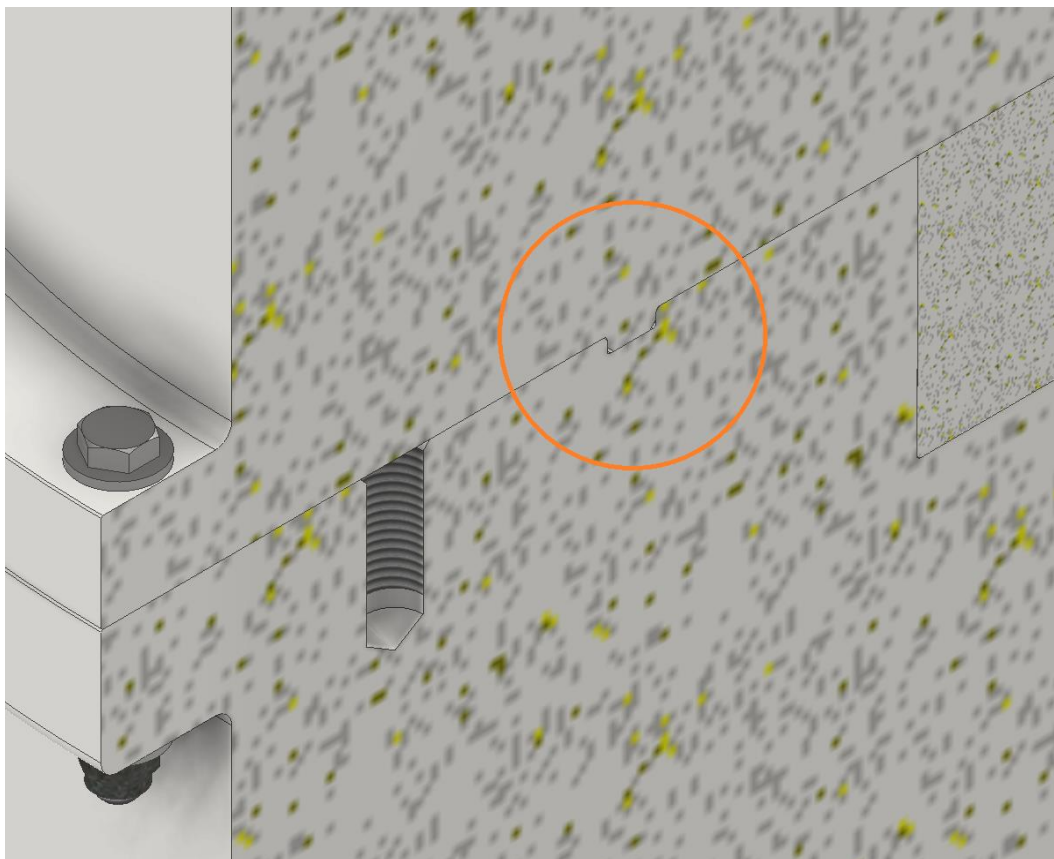
Obrázek 41 - Spodní těleso



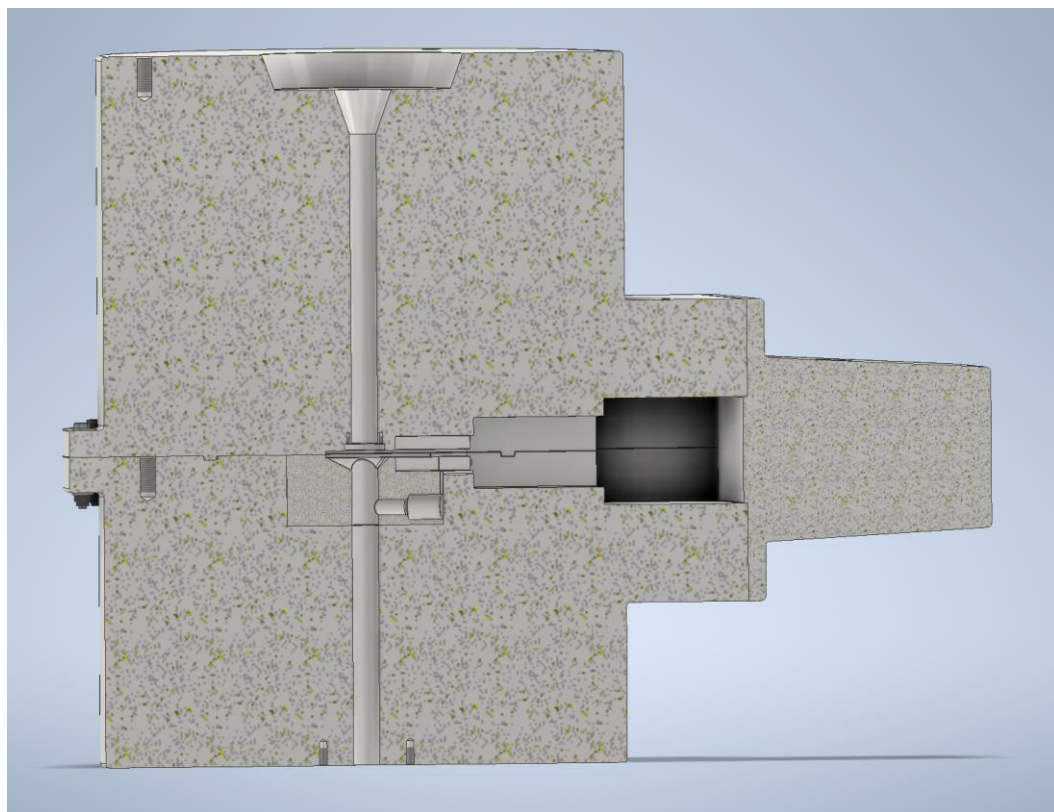
Obrázek 42 - Vertikální řez spodního tělesa – pohled z boku



Obrázek 43 - Horní těleso



Obrázek 44 - Detail labyrintového těsnění ve vertikálním řezu – pohled z boku



Obrázek 45 - Vertikální řez tělesy stříhacího modulu – pohled z boku

### 4.3.2 Volba elektromotoru

Nejjednodušší konstrukční řešení je lineární elektropohon. Odpadá nutnost převodu pohybu mimo konstrukci samotného elektropohonu. Potřebný výkon motoru a maximální dovolenou sílu můžeme vypočítat za pomoci jednoduchého vzorce. Pro uvažování možného otupení nástroje ve výpočtu a tím zvýšení střížné síly bylo pro zjednodušení zvoleno jako stříhané těleso místo trubky plná tyč.

$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 * \sigma_t$$

$$\tau_{Ds} = \tau_s = \frac{F}{S}$$

$$F = 0,6 * \sigma_{Dt} * \frac{\pi * d^2}{4} = 3166 \text{ N}$$

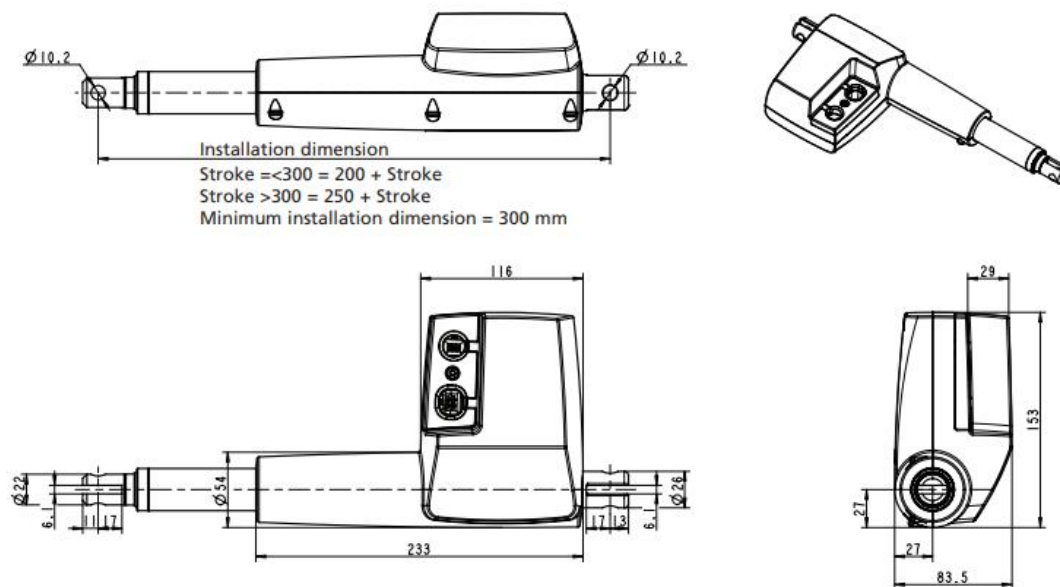
Vzhledem k potřebné střížné síle byl zvolen lineární elektropohon LA35 od firmy Linak s.r.o., který disponuje tlačnou silou 6000 N, tažnou silou 4000 N, maximální rychlost je 19,5 mm/s, doba přestřížení tedy vychází na tři sekundy. Jedná se o model vhodný i pro použití ve vlhkých prostředích či venkovních aplikacích

Mezi další vlastnosti, které výrobce udává, patří programovatelnost tohoto pohonu, zpětná vazba, přepětová ochrana, nastavitelná rychlost posuvu, tzv. soft-start a soft-stop pro snížení mechanického namáhání a sledování procesu na dálku z řídicího stanoviště.



Obrázek 46 - Lineární elektropohon LA35 (14)





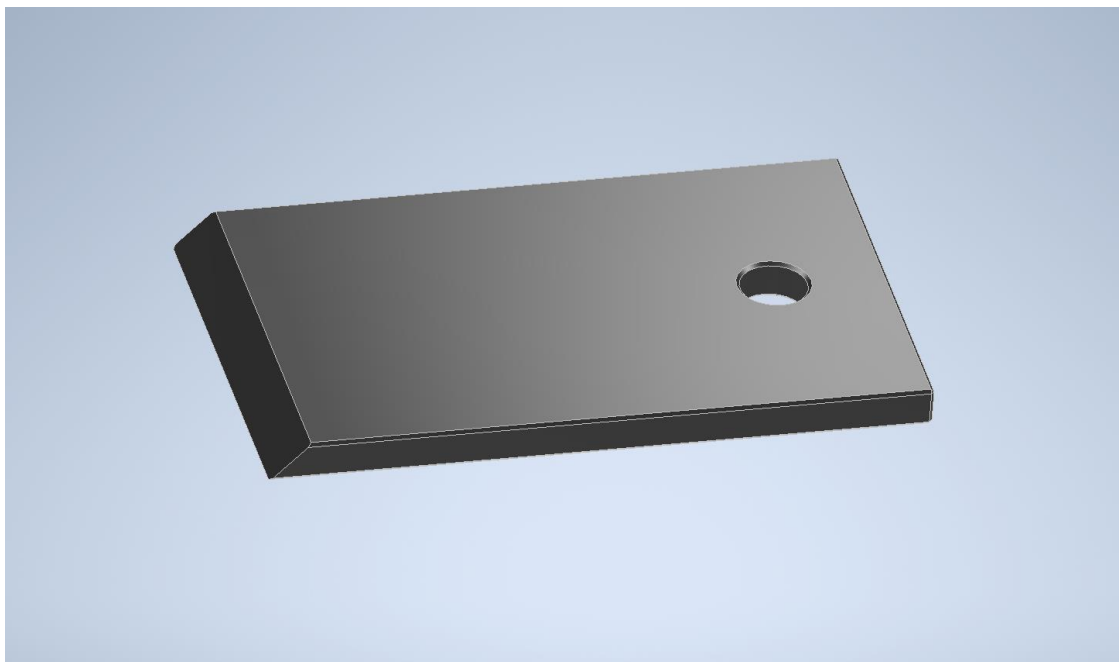
Obrázek 47 - Výřez výkresu sestavy lineárního elektropohonu LA35 (14)

### 4.3.3 Návrh střížných nožů a jejich povrchové úpravy

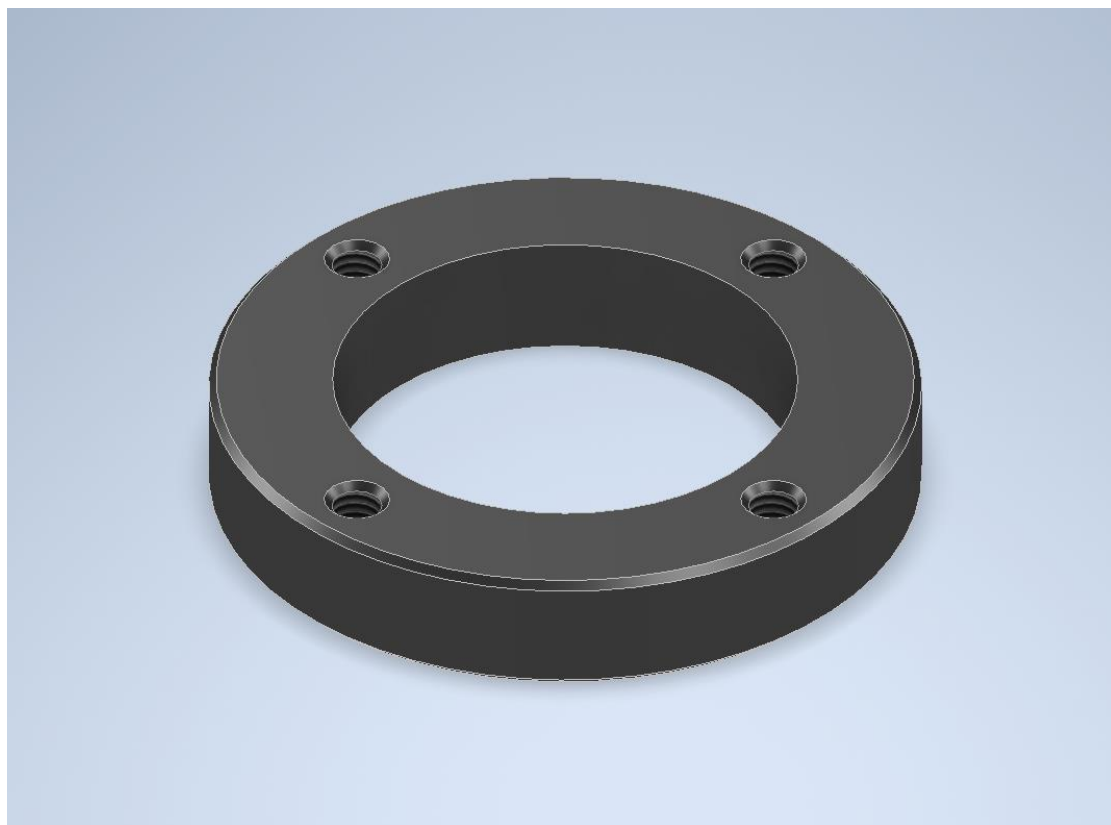
Střížné nože jsou v této aplikaci uvažovány dva. První je posuvný nůž, který je na obrázku [48], druhý je střížný disk, který je na obrázku [49]. Nůž byl navržen s rovným břitem, aby nedocházelo k vyhýbání čidla při stříhání. Pro přesné ustřížení byl jako protikus zvolen střížný disk, který zabraňuje vymačkávání materiálu horního tělesa, tím prodlužuje životnost celého modulu a zároveň snižuje deformaci čidla při stříhání, které by mohlo působit axiální silou na břit posuvného nože, negativně ovlivňovat střížný proces a zrychlit jeho opotřebení.

Tabulka 3 - Vlastnosti a chování nástrojové oceli ČSN 19 132 / C70U (15)

Teplota tváření	900-1100 °C
Žihání na měkko	780-810 °C
Tvrdość v žíhaném stavu	240-300 HB
Teplota kalení	790-820 °C
Optimální popouštěcí teplota	560-580 °C
Dosažitelná tvrdość	48-63 HRC



Obrázek 48 - Posuvný nůž



Obrázek 49 - Střížný disk

Aby se zabránilo korozi nožů a zároveň se zvýšila jejich životnost, byla zvolena povrchová úprava za pomoci PVD povlaku.

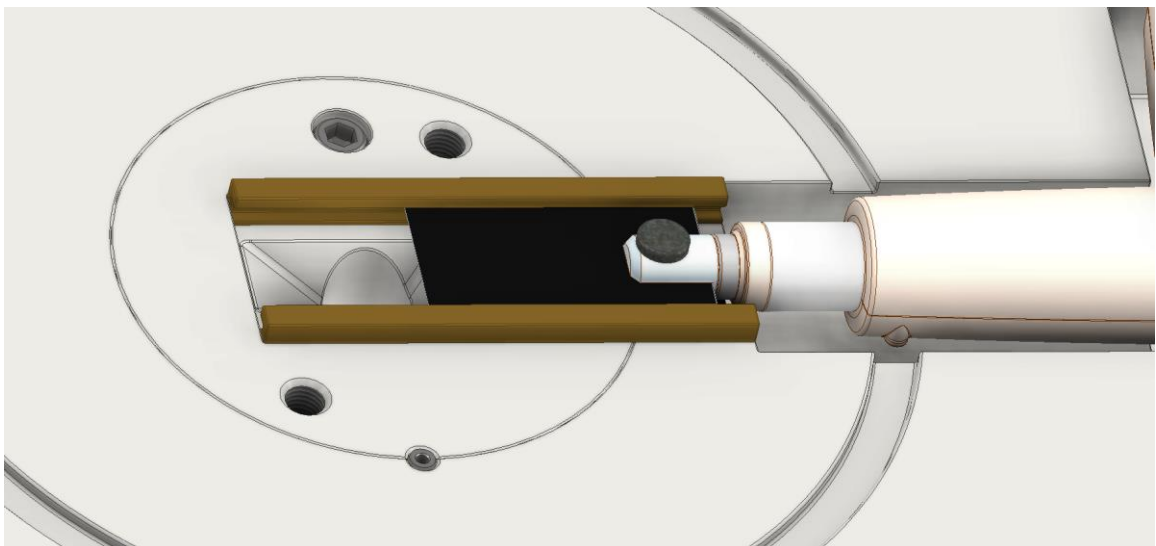
Nanostrukturový povlak Eifeler TiAlSiN je vhodný pro tvrdé a suché obrábění. Vyznačuje se velmi vysokou odolností proti korozi, nízkou teplotní vodivostí, vysokou teplotní odolností a velmi vysokou odolností proti opotřebení. Výrazně prodlužuje životnost nástrojů, zlepšuje kvalitu povrchu a tím tření při obrábění za sucha. Díky technologii Eifeler je možné tento povlak aplikovat na nástrojové ocele, rychlořezné ocele i tvrdokovy při teplotách nižších, než 450 °C. (16)

Tabulka 4 - Vlastnosti a chování povlaku TiAlSiN (16)

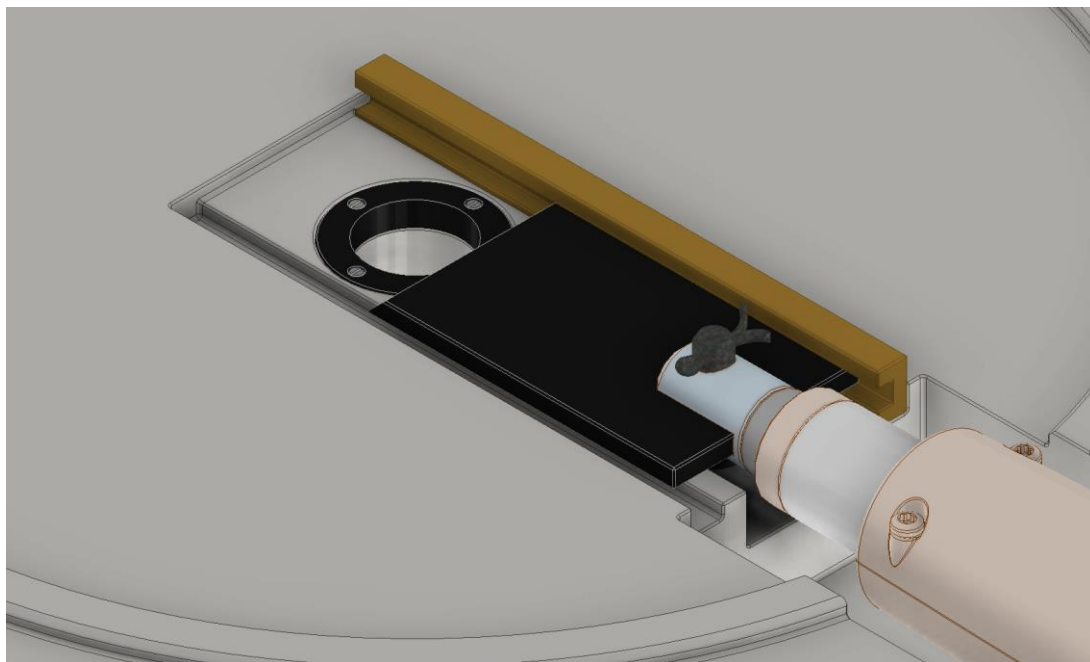
Tvrlost	3400 +/- 500 HV
Max. pracovní teplota	900 °C
Koeficient tření vůči oceli	0,7
Tloušťka povlaku	1–4 μm

#### 4.3.4 Střížný mechanismus

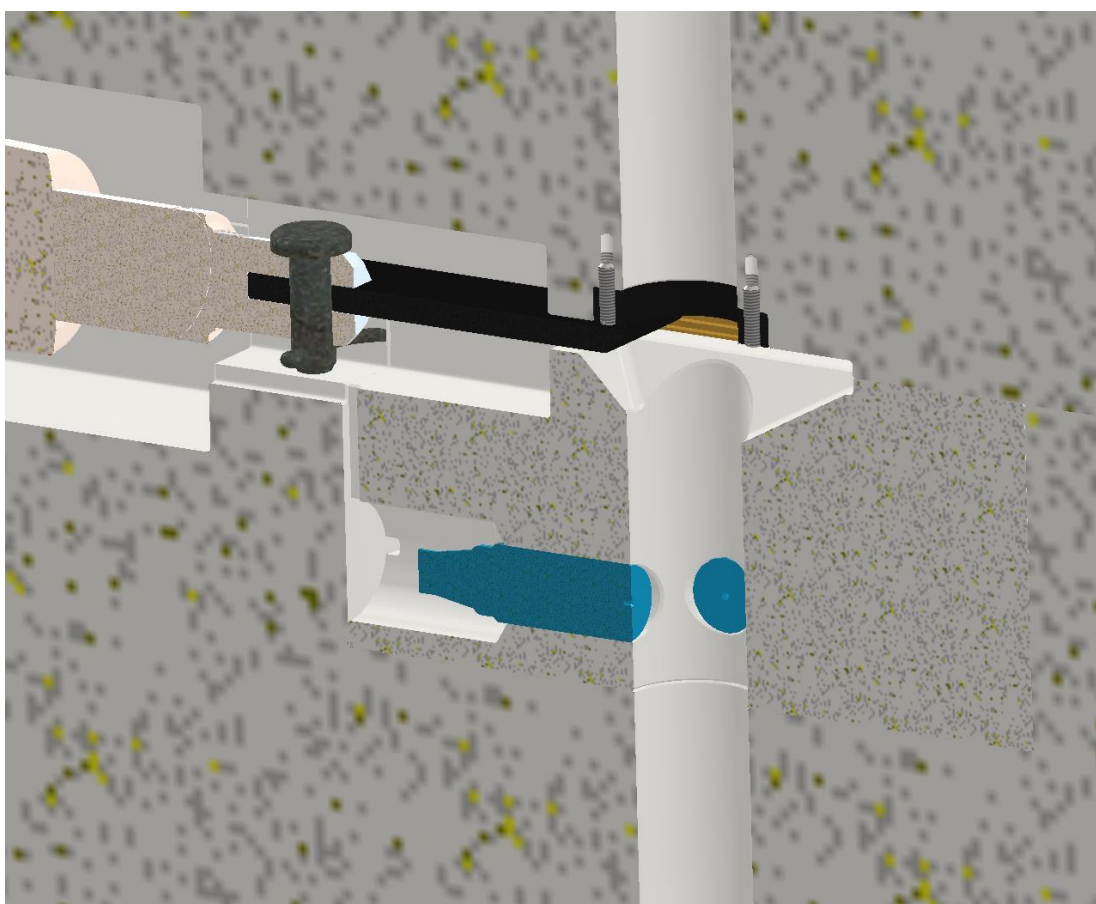
Posuvný nůž je situován břitem vzhůru a posouvá se v kluzných pouzdech. Střížný disk je situován v horním tělese, uchycený aretačními šrouby. Po odstřížení padají třísky na tvarovou plochu, kde padají do otvoru za ustřiženým čidlem.



Obrázek 50 - Pohled na střížný mechanismus shora



Obrázek 51 - Pohled na střížný mechanismus zdola



Obrázek 52 - Vertikální řez stříhacím modulem – boční pohled na střížný mechanismus

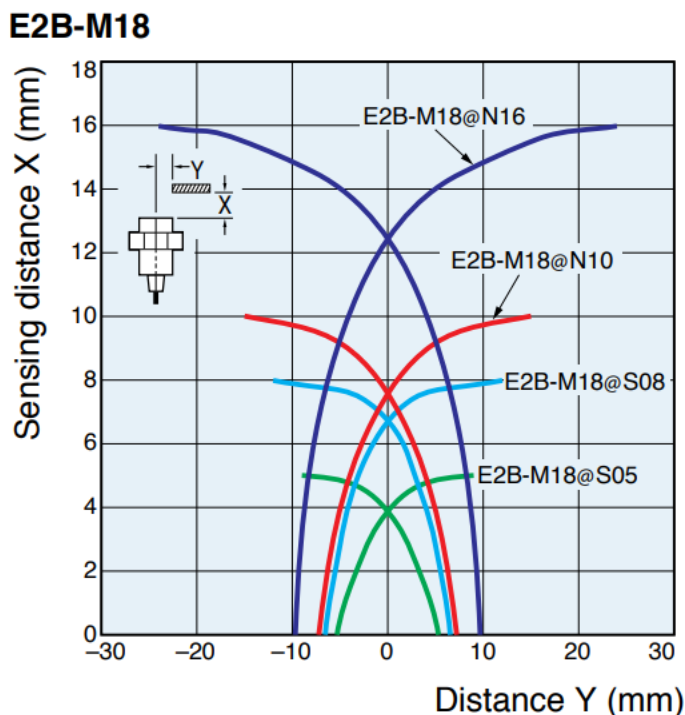
#### 4.3.5 Zajištění kontroly odstřížení

Aby obsluha věděla, že došlo k úplnému odstřížení čidla, bylo nutné navrhnout systém pro kontrolu odstřížení. Pro tento systém byla zvolena indukční čidla E2B-M18@N16-WP-C1. Jedná se o plášťovaná, vodotěsná čidla, která mají schopnost zjistit ocelový předmět na vzdálenost až 16 mm, viz obrázek [54].

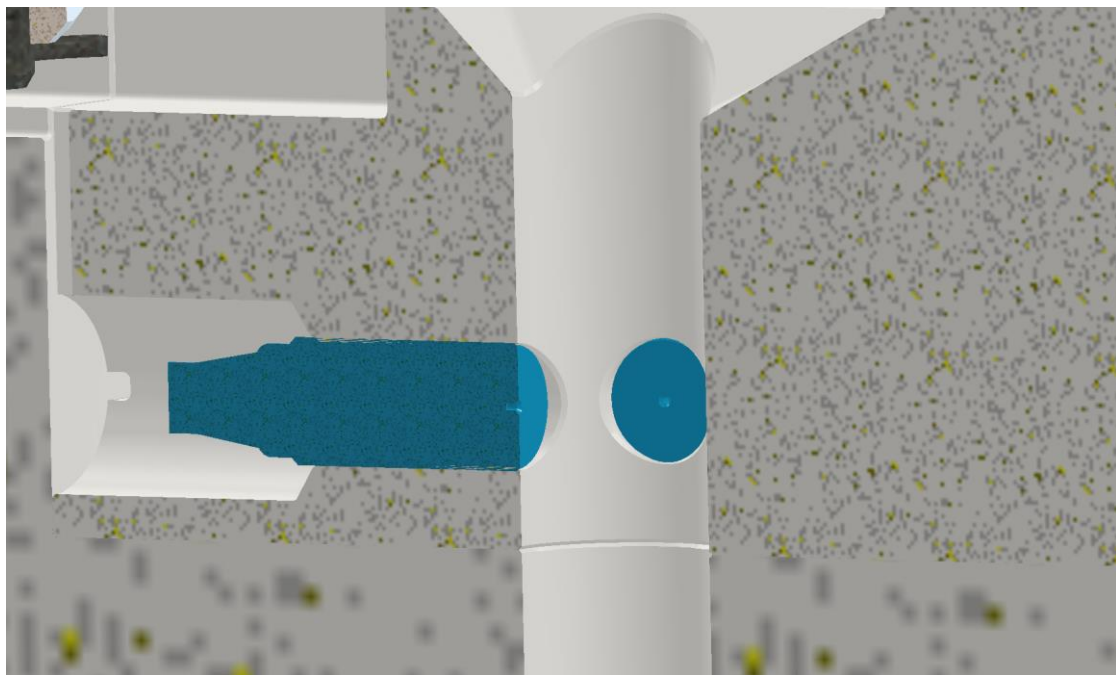
Čidla jsou zdvojena, zašroubována ve vyjímatelné vložce ve vzdálenosti 60 mm od střížné plochy viz obrázek [58] a pootočena o 90°, viz obrázky [55] a [56]. Kabeláž je vyvedena drážkou v obvodu vložky viz obrázek [57].



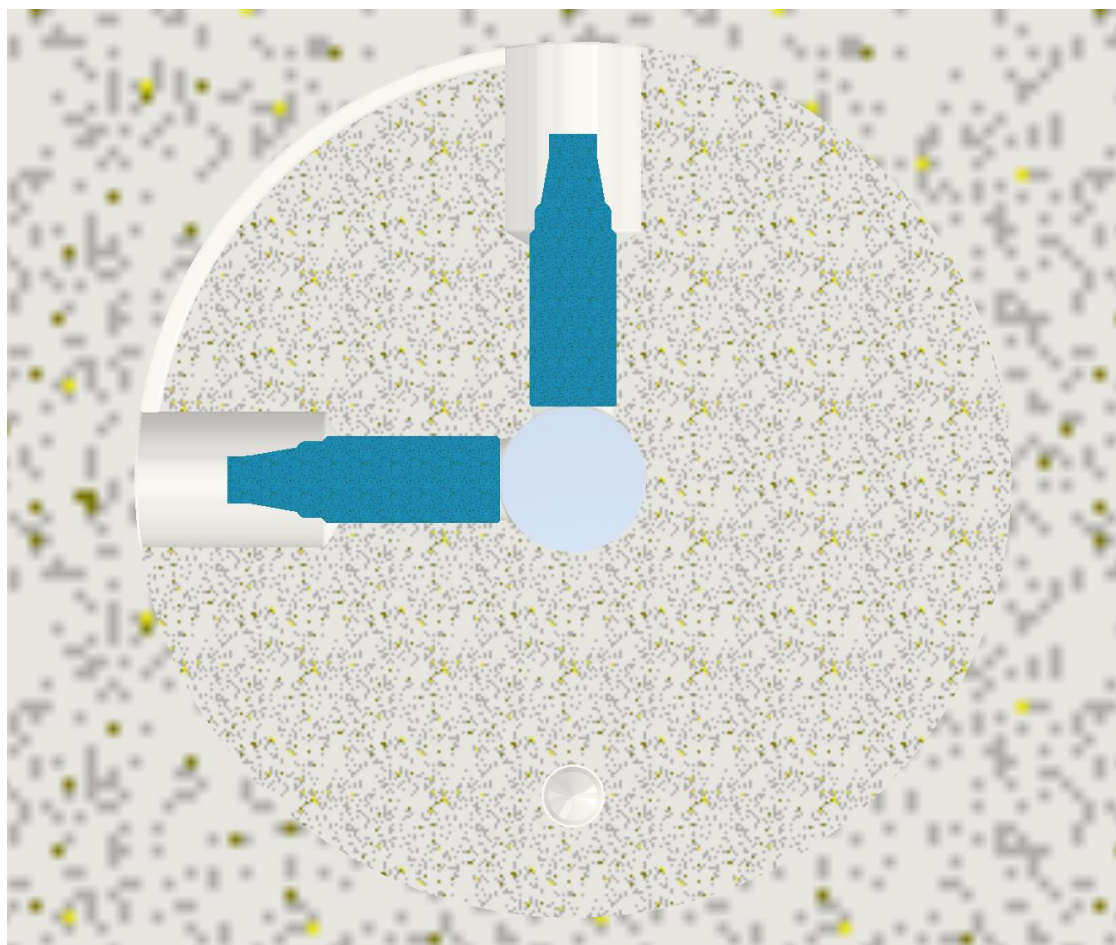
Obrázek 53 - Indukční čidlo E2B-M18@N16-WP-C1, plášťované (17)



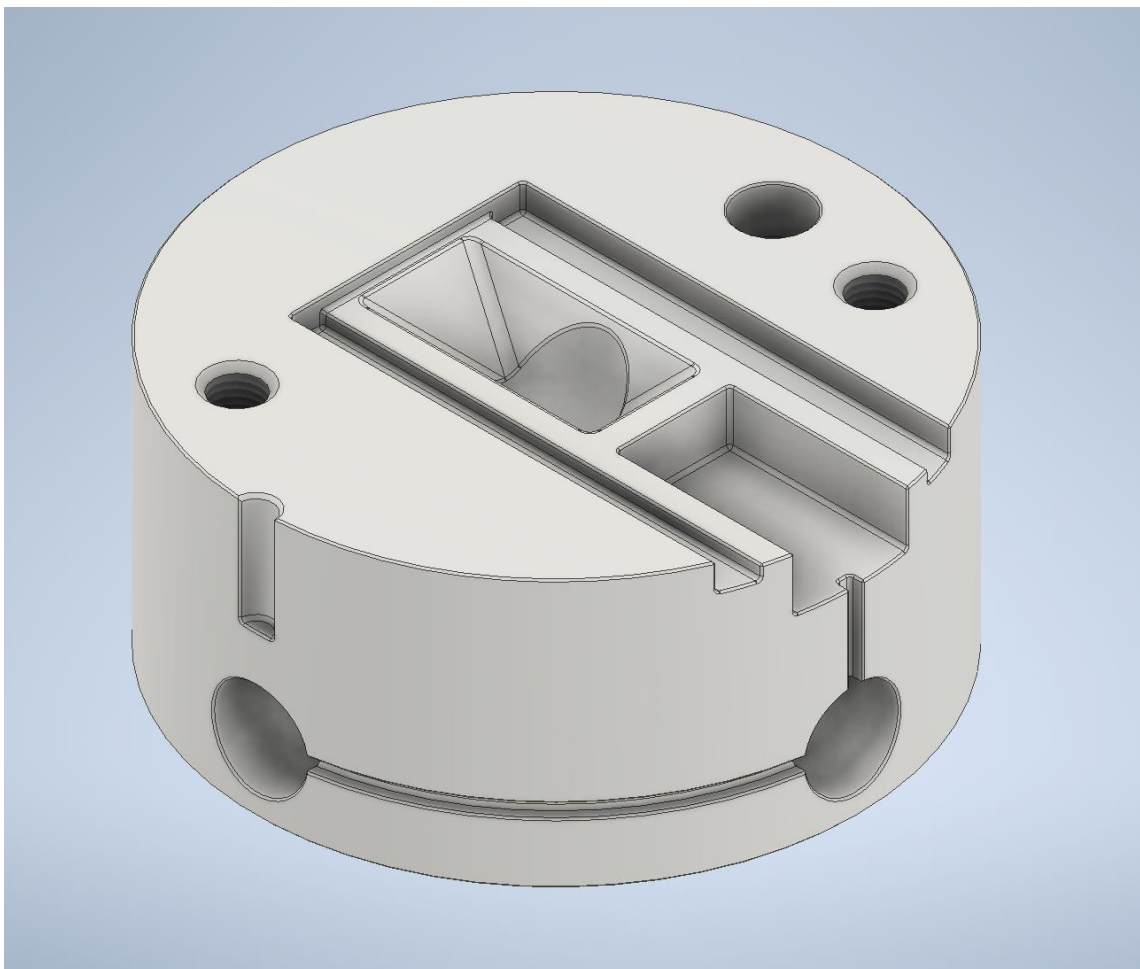
Obrázek 54 - Závislost snímání indukčního čidla na poloze vzhledem k jednotlivým osám (17)



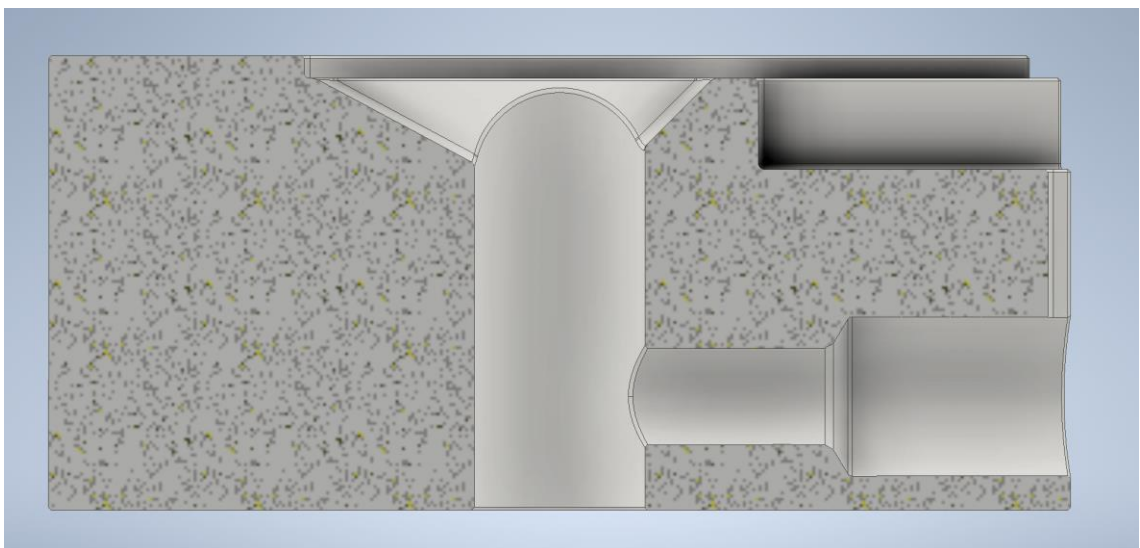
Obrázek 55 - Vertikální řez stříhacím modulem – uložení indukčních čidel vzhledem ke střížné ploše



Obrázek 56 - Horizontální řez stříhacím modulem – indukční čidla jsou pootočená o 90°



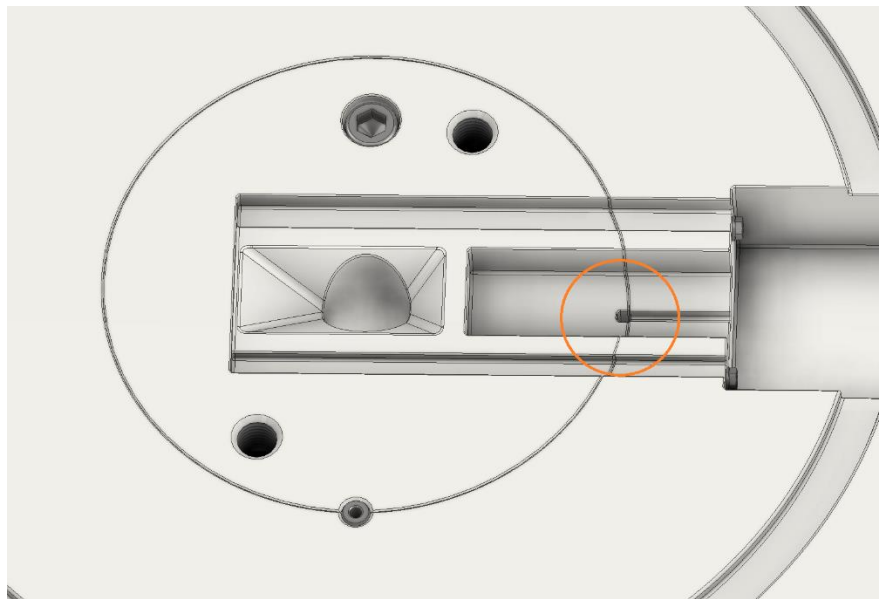
Obrázek 57 - Vložka



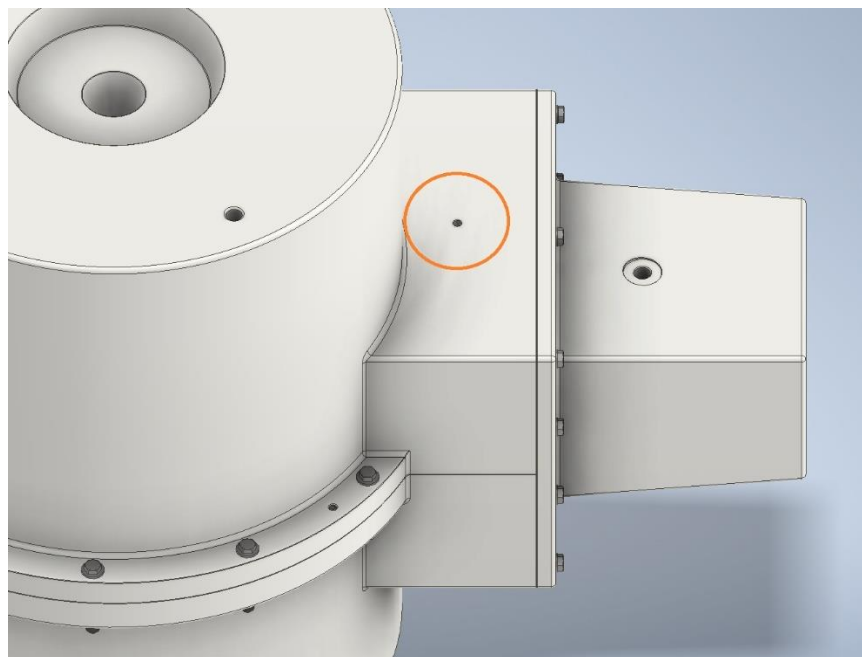
Obrázek 58 - Řez vložkou

#### 4.3.6 Elektroinstalace

Vzhledem k nutnosti přívodu elektrické energie pro elektropohon a indukční čidla, bylo nutné navrhnut výstupy pro elektroinstalaci. Aby kabeláž od indukčních čidel nepřekážela lineárnímu elektropohonu, byla na konci výstupu z vložky navrhnutá drážka, kterou bude kabeláž vedena, viz obrázek [59]. Aby bylo možné vyvést kabeláž jak od čidel, tak od elektropohonu mimo těleso, byl v horním tělese navrhnut otvor se závitem na okraji viz obrázek [60], aby bylo možné instalovat průchodku.



Obrázek 59 - Drážka pro vývod kabeláže indukčních čidel z vložky

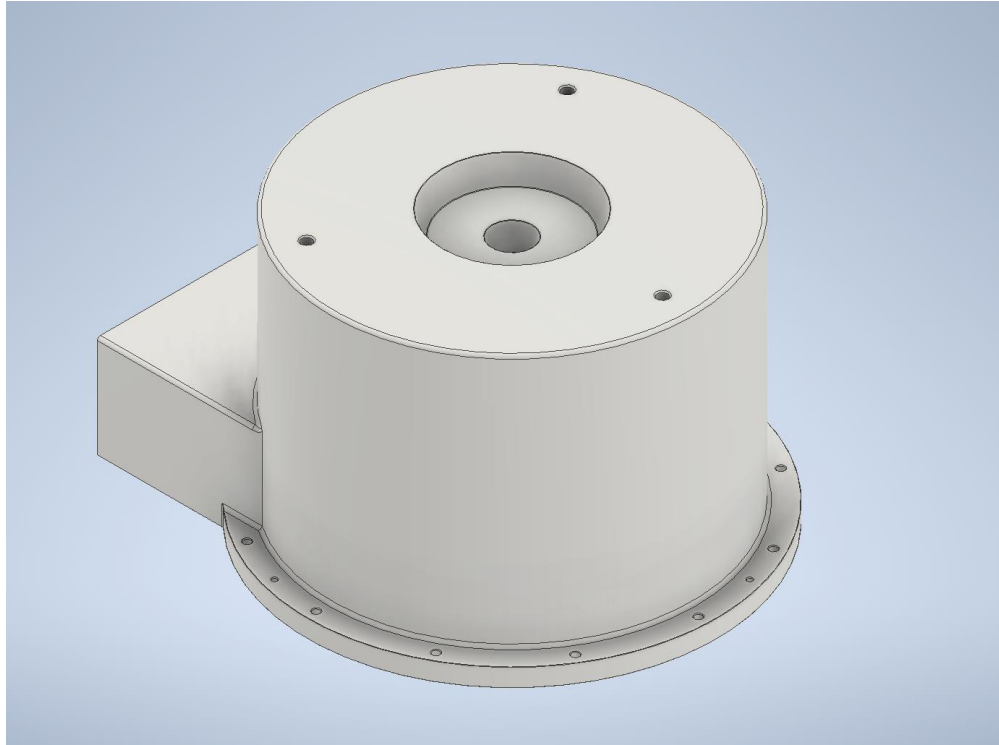


Obrázek 60 - Vývod elektroinstalace na horním tělese

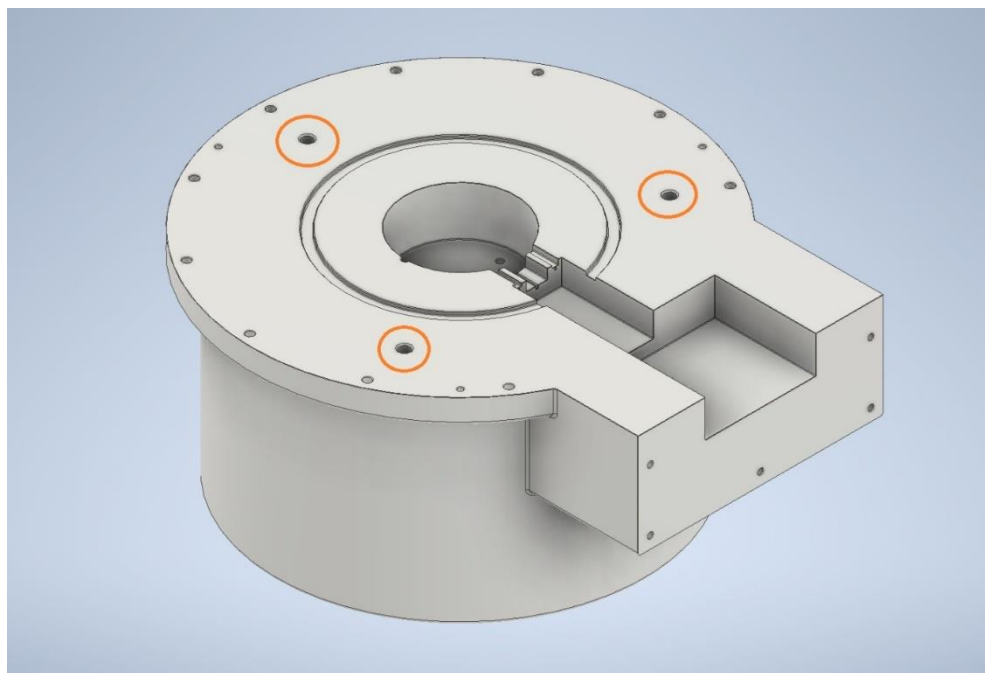


#### 4.3.7 Transport modulu jako celku a jeho jednotlivých částí

Přeprava modulu či jeho jednotlivých částí je uskutečňována za pomoci jeřábu. Proto byla v modelu navržnuta závitová hnízda pro nosná oka M20x2,5.

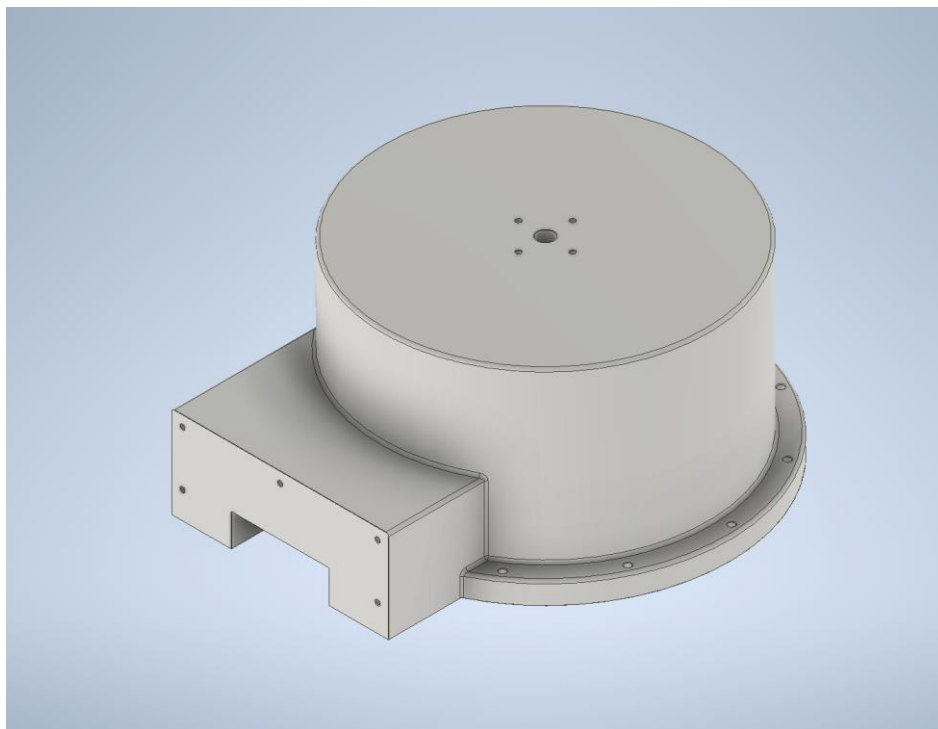


Obrázek 61 - Horní těleso – tři závitová místa pro nosná oka M20x2,5

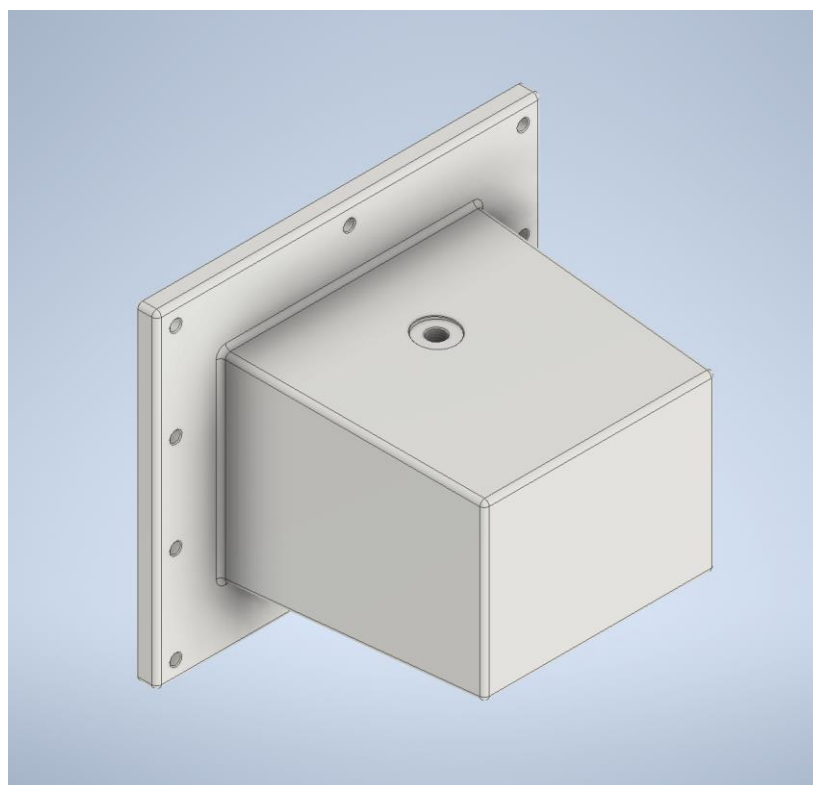


Obrázek 62 - Dolní těleso – tři závitová hnízda pro nosná oka M20x2,5 - vyznačeno oranžovými kružnicemi

V dolním tělese byla navržena čtyři závitová hnízda pro šrouby M10x1,5 z důvodu nutnosti překrytí otvoru kvůli riziku vypadávání radioaktivního materiálu, viz obrázek [63].



Obrázek 63 - Dolní těleso – čtyři závitová hnízda M10x1,5 pro uchycení poklopu



Obrázek 64 - Příruba – na horní ploše vybrání a závitové hnízdo pro nosné oko M20x2,5

#### 4.3.8 Pevnostní kontrola

Součásti, které jsou namáhané je nutné dimenzovat, případně kontrolovat, zda vydrží předpokládané namáhání. V tomto konstrukčním návrhu je uvažováno pouze s namáháním na tah, tlak a střih.

Čepy o průměru 10 mm, které spojují přírubu a posuvný nůž s lineárním elektropohonem viz obrázek [65] jsou počítány na střih a na otlak.  $p_d$  volíme pro tah-tlak, zatížení míjivé, jako plochu uvažujeme průřez nože a úchyt na přírubě, neboť tlak je tam výrazně větší než v úchytech na elektropohonu. Při výpočtech uvažujeme zmenšení plochy o sražení.

Kontrola čepů na střih:

$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6\sigma_{Dt} = 270 \text{ MPa}$$

$$F = 3166 \text{ N}$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d^2} = 40,31 \text{ MPa} \leq \tau_{Ds}$$

$$40,31 \text{ MPa} < 270 \text{ Mpa}$$

Kontrola čepů na otláčení:

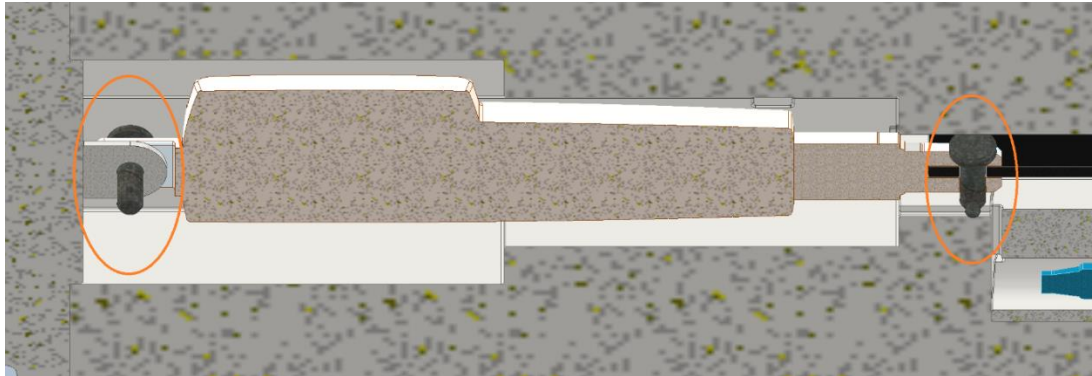
$$p_d = 85 \text{ MPa}$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$b = 5 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{b * d} = 63,32 \text{ MPa} \leq p_d$$

$$63,32 \text{ MPa} < 85 \text{ Mpa}$$



Obrázek 65 - Uložení lineárního elektropohonu, počítané čepy o průměru 10 mm jsou zvýrazněny

Šrouby M10 spojující přírubu a tělesa viz obrázek [66] počítáme na tah a stříh. Pro zjednodušení výpočtu neuvažujeme koncentrátoři napětí v závitech, neboť je skutečné napětí ve stříhu mnohonásobně nižší, než dovolené napětí ve stříhu

Kontrola šroubů spojující přírubu a tělesa na stříh:

$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6\sigma_{Dt} = 270 \text{ MPa}$$

$$m = 124 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$G = m * g = 1216,44 \text{ N}$$

$$d_m = 8,2 \text{ mm}$$

$$\tau_s = \frac{G}{S_i * i} = \frac{4G}{\pi d_m^2 * 10} = 2,3 \text{ MPa} \leq \tau_{Ds}$$

$$2,3 \text{ MPa} < 270 \text{ Mpa}$$

Kontrola šroubů spojující přírubu a tělesa na tah:

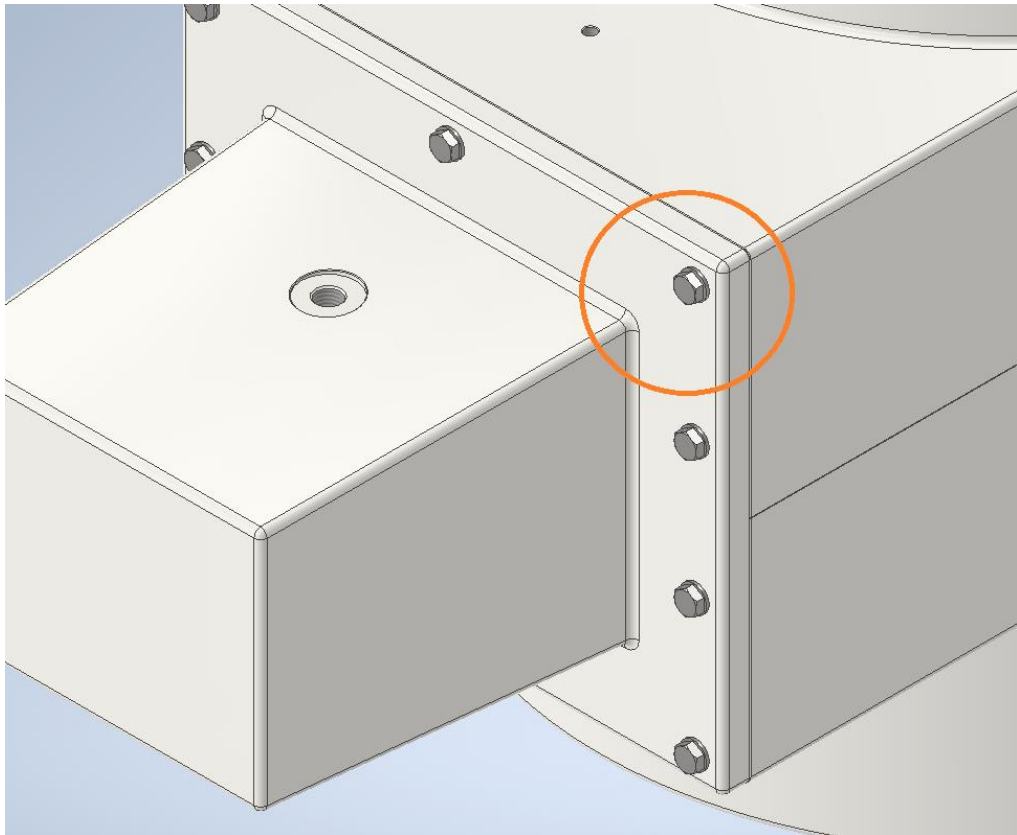
$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$F = 3166 \text{ N}$$

$$d_m = 8,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_t = \frac{F}{S_i * i} = \frac{4F}{\pi d_m^2 * 10} = 6 \text{ MPa} \leq \tau_{Ds}$$

$$6 \text{ MPa} < 450 \text{ MPa}$$



Obrázek 66 - Šrouby M10 spojující přírubu a tělesa

Šrouby M10, které spojují obě tělesa počítáme pouze na tah, a to při transportu.  
Kontrola šroubů spojující tělesa na tah:

$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$m = 852 \text{ kg}$$

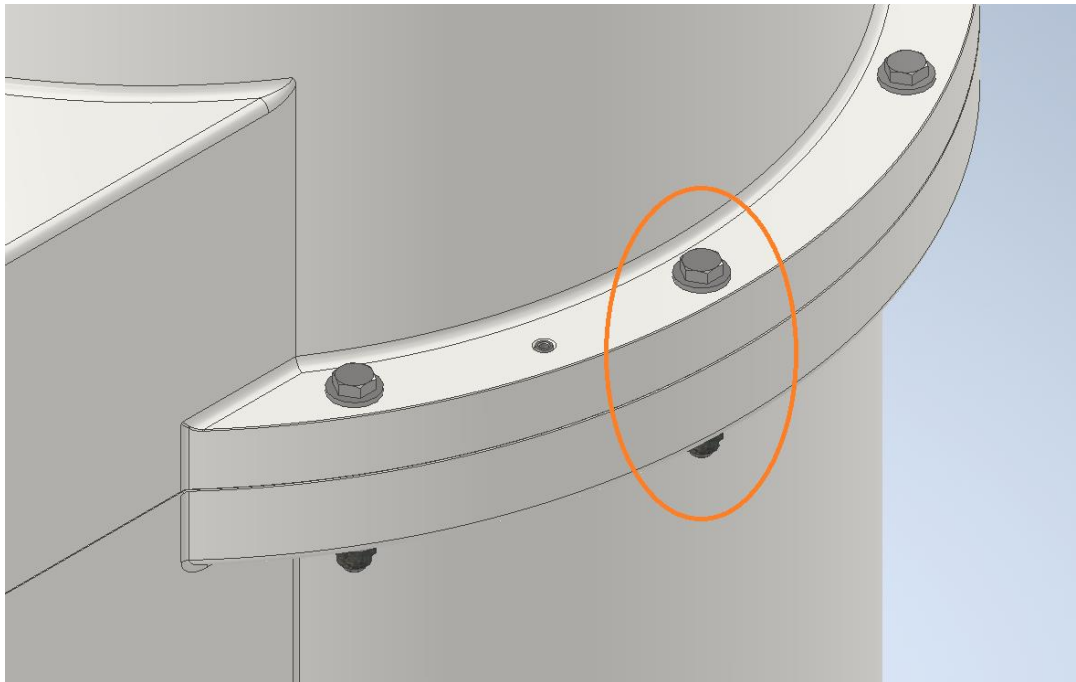
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$G = m * g = 8358,12 \text{ N}$$

$$d_m = 8,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_t = \frac{G}{S_i * i} = \frac{4G}{\pi d_m^2 * 10} = 15,83 \text{ MPa} \leq \sigma_{Dt}$$

$$15,83 \text{ MPa} < 450 \text{ MPa}$$



Obrázek 67 - Šrouby M10 spojující obě tělesa

U zvedacích ok využijeme znalost, že horní oka přenášejí při transportu celého modulu větší váhu, než při transportu pouze horního nebo pouze spodního tělesa a počítáme pouze zvedací oka na horním tělese, viz obrázek [68], a zvedací oko na přírubě, viz obrázek [69].

Kontrola zvedacích ok na horním tělese na tah:

$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$m = 2034 \text{ kg}$$

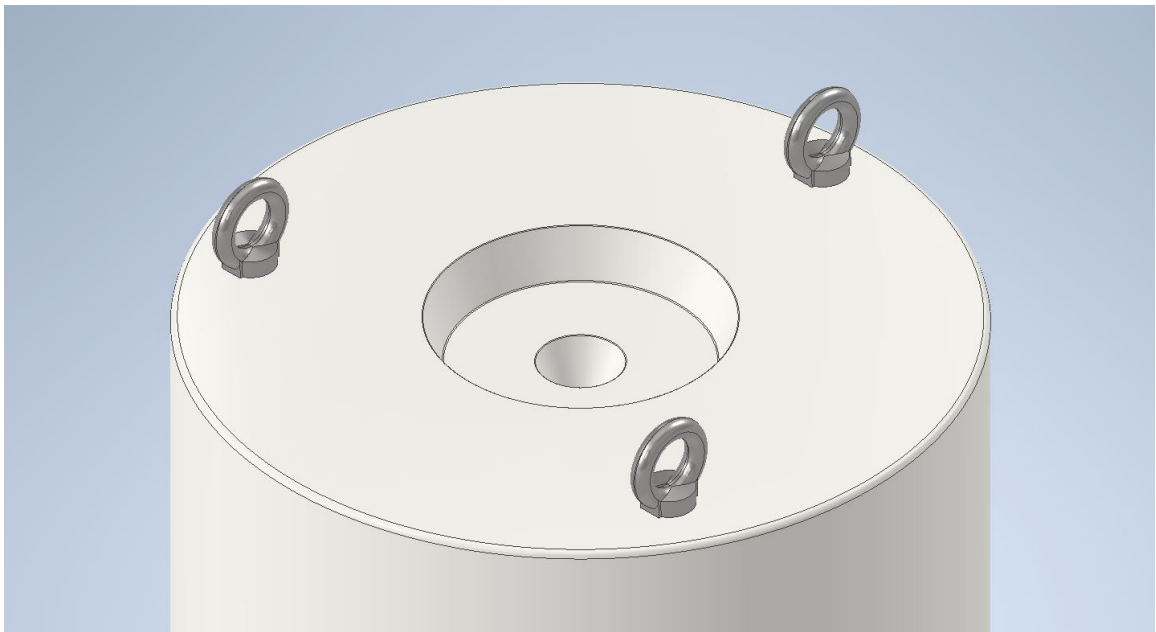
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$G = m * g = 19953,54 \text{ N}$$

$$d_m = 17,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_t = \frac{G}{S_i * i} = \frac{4G}{\pi d_m^2 * 3} = 27,65 \text{ MPa} \leq \sigma_{Dt}$$

$$27,65 \text{ MPa} < 450 \text{ Mpa}$$



Obrázek 68 - Zvedací oka M20 na horním tělese

Kontrola zvedacího oka na přírubě na tah:

$$\sigma_{Dt} = 450 \text{ MPa}$$

$$m = 124 \text{ kg}$$

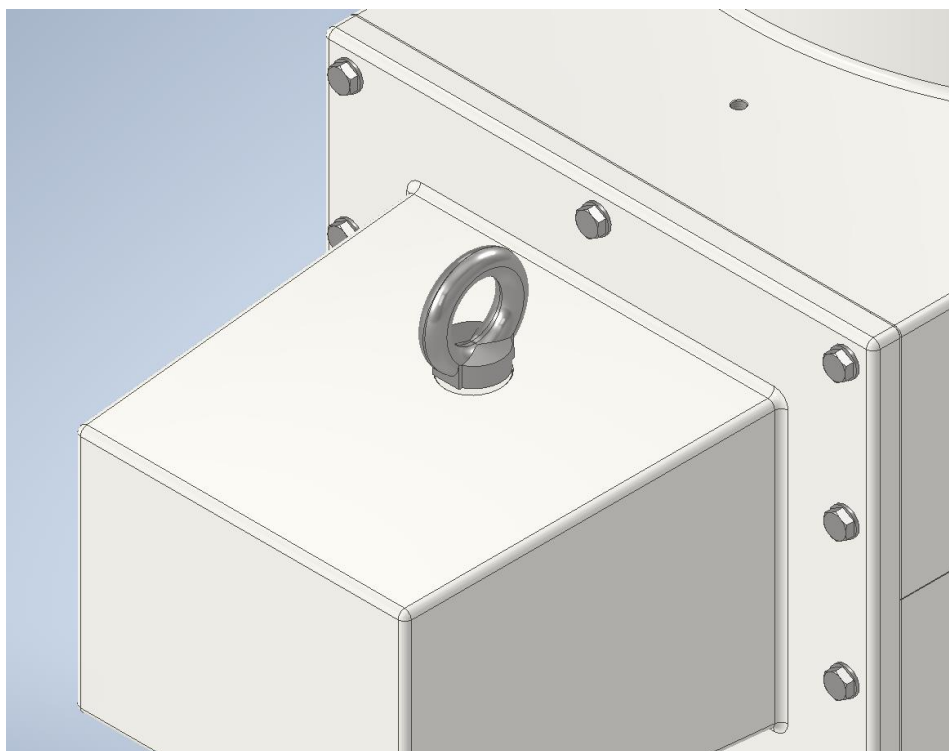
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$G = m * g = 1216,44 \text{ N}$$

$$d_m = 17,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_t = \frac{G}{S_i * i} = \frac{4G}{\pi d_m^2 * 1} = 5,06 \text{ MPa} \leq \sigma_{Dt}$$

$$5,06 \text{ MPa} < 450 \text{ Mpa}$$



Obrázek 69 - Zvedací oko M20 na přírubě



## 5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navržení stříhacího modulu pro likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků. V počáteční fázi návrhu byla zpracována rešerše metod vnitroreaktorového měření, jednotlivých čidel a druhů emitorů, jejich výhod, nevýhod a konstrukčního řešení. Byly získány poznatky o jaderném tlakovodním reaktoru VVER 440, typu 213 a podmínkám, kterým jsou čidla vystavena. V následujících kapitolách byly popsány principy dělení materiálu, důležité výpočty při stříhání a problémy, se kterými se při provozu těchto zařízení musí počítat. Před samotným konstrukčním návrhem byly zpracovány základní principy likvidace čidel neutronového toku a termočlánků.

Důkladná rešeršní fáze pak posloužila jako základ pro konkrétní návrh stříhacího modulu. Na základě požadavků na destrukční zařízení byl navrhnout stříhací modul a popsány myšlenkové procesy při konstrukčním návrhu a potřebných výpočtech.

Veškeré výpočty potvrdily, že zařízení bylo navrženo tak, aby splnilo požadavky, které jsou na něj a na samotný proces kladeny. Na základě dodání konkrétní dokumentace pro transportní zařízení by bylo nutné navrhnout systém uchycení transportního modulu ke stříhacímu modulu, aby se zabránilo převrácení či vyklopení transportního modulu, což může mít za následek nebezpečný únik radiačního záření při stříhání čidel. Rovněž by bylo vhodné umístit systém kontroly dosednutí transportního modulu, aby se zajistilo, že obsluha, která by transportní modul upevňovala ke stříhacímu, nebude vystavena radiačnímu záření. Pro toto by bylo možné instalovat pod dosedací plochu například indukční čidla, která by indikovala, že transportní modul je v požadované poloze.

## 6 Reference

1. OTE, a.s. *OTE-ČR*. [Online] 2018. [Citace: 16. 5 2022.] <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>.
2. Bečvář, Josef. *Jaderné elektrárny*. Praha : SNTL/ALFA, 1981.
3. Prof. Ing. Zbyněk Ibler, DrSc. *Provoz jaderných elektráren*. Plzeň : Ediční středisko VŠSE v Plzni, 1987.
4. ČEZ, Skupina. Svět energie - vzdělávací portál ČEZ. [Online] 2020. [Citace: 16. 5 2020.] [https://www.svetenergie.cz/data/web/powerplant/jadernoelektrarny/retezova\\_stepna\\_reakce.svg](https://www.svetenergie.cz/data/web/powerplant/jadernoelektrarny/retezova_stepna_reakce.svg).
5. Raček, Jiří. *Jaderná zařízení*. Brno : Noypress s.r.o., 2013. ISBN-978-80-214-4745-5.
6. Michal Tanzer, Pavel Macák, Radek Konop, Jan Vít. Provozní diagnostika na jaderných elektrárnách. *Přednáška*. Plzeň : ŠKODA JS, 2022.
7. Tanzer, Michal. Měření v jaderné energetice. *Přednáška*. Plzeň : ŠKODA JS, 2020.
8. GUENTHER. GÜNTHER CZ. [Online] 27. 11 2021. <https://www.guenther.eu/805a74a9-7235-cdf2-2323-717e02f019e4?Edition=cz>.
9. *PŘEHLED SAMONAPÁJECÍCH DETEKTORŮ POUŽÍVANÝCH V ENERGETICKÝCH REAKTORECH*. Ian Wilson, Václav Forejt. Plzeň : seminář "Detektory", 1999.
10. Connor, Nick. What is Rhodium Emitter – Rhodium-based SPND – Definition. *Radiation Dosimetry*. [Online] 14. 12 2019. [Citace: 16. 5 2022.] <https://www.radiation-dosimetry.org/what-is-rhodium-emitter-rhodium-based-spnd-definition/>.
11. *Vnitropodnikové materiály*. ŠKODA JS.
12. Josef Novotný, Zdeněk Langer. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha : SNTL, 1980.
13. ČSN 42 7247. *Ocel 17 247 Cr-Ni-Ti*. 1976.
14. LINAK. *LINAK*. [Online] 2022. [Citace: 2022. 5 16.] <https://www.linak.cz/produkty/line%C3%A1rn%C3%AD-pohony/la35>.
15. Toolsteel.cz. *TOOLSTEEL*. [Online] 2019. [Citace: 16. 5 2022.] <http://toolsteel.cz/1-1520-19-132-c70u/>.
16. Commerce Service. [Online] ProTech Coating Service, s.r.o., 2022. [Citace: 16. 5 2022.] <https://www.commerceservice.sk/--29-93-sistral-tialsin>.
17. RS-online. [Online] RS Components Sp. z o.o., 2022. [Citace: 16. 5 2022.] <https://cz.rs-online.com/web/p/snimace-priblizeni/8054702>.
18. František Hezoučký, Svatobor Štech. *Základy teorie normálních a abnormálních provozních režimů energetických bloků s tlakovodními reaktory*. Plzeň : ZČU v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0548-0.