

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Přípravek pro tlakové zkoušky

Autor: **Rudolf ŠPITÁLNÍK**

Vedoucí práce: prof. Ing. Václava LAŠOVÁ Ph.D.

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Rudolf ŠPITÁLNÍK**  
Osobní číslo: **S19B0014K**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Téma práce: **Přípravek pro tlakové zkoušky**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je vypracování konstrukčního návrhu přípravku pro provedení lokální tlakové zkoušky části nátrubku víka reaktoru po provedení opravy. Vytvoření výkresu sestavy a vybraných konstrukčních dílů

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše, popis a specifikace požadavků.
2. Konstrukční návrh upevnění a utěsnění přípravku v nátrubku.
3. Pevnostní výpočet dílů a kontrola.
4. Výkresová dokumentace.
5. Zhodnocení práce, závěr.

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra 1.*. Brno: Computer Press, 1999

VLK, F. *Stoaba motorových vozidel.*. Brno: nakl. Vlk, 2003

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Igor Martinec**  
SKODA JS a.s., Plzeň

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



---

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



---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat své vedoucí prof. Ing. Václavě Lašové, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Špitálník	<b>Jméno</b> Rudolf	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení</b> prof. Ing. Lašová, Ph.D.	<b>Jméno</b> Václava	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Přípravek pro tlakové zkoušky		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN

<b>CELKEM</b>	64	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	47	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>ANOTACE</b>	Bakalářská práce obsahuje návrh přípravku umožňující provedení tlakových zkoušek svarů, dvou různých druhů nátrubků vík reaktorů VVER 40 a VVER 1000, po provedení jejich opravy. Součástí je návrh variantních řešení, výběr neoptimálnějšího řešení a MKP analýza jednotlivých součástí sestavy přípravku. K práci je přiložena výkresová dokumentace.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Nátrubek, přípravek, tlaková zkouška, jaderný reaktor

## ANOTATION SHEET OF THE BACHELOR THESIS

<b>AUTOR</b>	Surname Špitálník	First name Rudolf	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „ Construction of production machinery and equipment “		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname prof. Ing. Lašová, Ph.D.	First name Václava	
<b>WORKPLACE</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>TYPE OF THESIS</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	
<b>NAME OF THESIS</b>	Preparation for Pressure Tests		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>YEAR OF SUBMISSION</b>	2020
----------------	---------------------------	-------------------	-----	-------------------------------	------

### POČET STRAN

<b>TOTAL</b>	64	<b>TEXT PART</b>	47	<b>GRAPHIC PART</b>	17
--------------	----	------------------	----	---------------------	----

<b>ABSTRACT</b>	The bachelor thesis contains a design of preparation enabling the pressure tests of welds for two different types of pipes of the lids of VVER 40 and VVER 1000 reactors, after their repair. Including of this thesis is the design of variant solutions, selection of the most optimal solution and FEM analysis of each components of the product assembly. Drawing work is attached to the work.
<b>KEY WORDS</b>	Pipe, preparation, pressure test, nuclear reactor

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Teoretická část.....	12
2.1	O společnosti ŠKODA JS, a.s. ....	12
2.1.1	Historie společnosti ŠKODA JS, a.s. ....	12
2.2	Jaderné reaktory.....	13
2.2.1	Jaderné reaktory VVER 440 a VVER 100.....	14
2.3	Zkoušení svarových spojů .....	16
2.3.1	Rozdělení vad svarů .....	16
2.3.2	Kontroly svarů.....	16
2.3.3	Nedestruktivní zkoušky.....	17
2.3.4	Průběh tlakové zkoušky .....	17
3	Praktická část.....	18
	Požadavky na přípravek .....	20
3.1	Design.....	20
3.2	Variantské řešení.....	21
3.2.1	Varianta 1 .....	21
3.2.2	Varianta 2 .....	22
3.2.3	Varianta 3 .....	23
3.3	Výběr varianty .....	24
3.4	Zatěsnění přípravku .....	24
3.5	MKP analýza .....	26
3.5.1	Tlakování tělesa přípravku .....	26
3.5.2	Simulace dotažení manžety .....	32
3.6	Řešení uvolňovacího mechanismu .....	34
3.6.1	Varianta 1 .....	34
3.6.2	Varianta 2 .....	35
3.7	Podrobný popis přípravku .....	36
3.7.1	Těleso přípravku.....	36
3.7.2	Šroub .....	37
3.7.3	Přírubová vložka VVER 440.....	38
3.7.4	Těsnicí vložka VVER 440.....	39
3.7.5	Přítlačná vložka VVER 440 .....	40
3.7.6	Matic M18 .....	41
3.7.7	Normalizované součásti .....	41



4	Závěr.....	42
5	Použitá literatura .....	43
6	Seznam obrázků a tabulek.....	45
7	Seznam příloh.....	47

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$p_{\max}$ [MPa]	.....	maximální tlak
$S$ [MPa]	.....	normálové napětí
$S_{A, B, C}$ [MPa]	.....	normálové napětí v určených bodech
$S_{\max}$ [MPa]	.....	maximální normálové napětí
$u_1$ [mm]	.....	posunutí v ose x
$u_3$ [mm]	.....	posunutí v ose z
$u_{A, B, C}$ [MPa]	.....	posunutí v určených bodech
$u_{\max}$ [mm]	.....	maximální posunutí
ČEZ	.....	České energetické závody
JS	.....	Jaderné strojírný
LVR 15	.....	výzkumný lehkovodní reaktor tankového typu
MKP	.....	metoda konečných prvků
OMZ	.....	United Heavy Machinery Plants
RTG	.....	rentgenové záření
VR-1P	.....	školní experimentální reaktor
VVER (PWR)	.....	vodo-vodní energetický reaktor

## 1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je vypracování konstrukčního návrhu přípravku a jeho pevnostního výpočtu pro provedení lokální tlakové zkoušky částí nátrubků vík reaktorů VVER 440 a VVER 1000, po provedení opravy nátrubků. Tato práce vznikla ve spolupráci se společností ŠKODA JS, a.s.

V případě opravy nátrubku víka reaktoru je nutné, před spuštěním reaktoru, opravovaný nátrubek vyzkoušet z hlediska pevnosti a těsnosti. Oprava probíhá podle potřeby na požadovaných částech víka reaktoru, jimiž jsou příruby, které jsou součástí tohoto víka. V důsledku mechanického namáhání přírub vysokým tlakem, který dosahuje až 25 MPa, se při pravidelných odstávkách reaktoru kontrolují ultrazvukovou nebo rentgenovou zkouškou. Po provedení zkoušky se výsledky vyhodnocují, a při zjištění vady v materiálu se musí příslušná příruha opravit.

To se provádí oddělením poškozeného kusu příruby a navařením nového. Nově navařený přířubový díl se po zabroušení a úpravě povrchu znovu zkontroluje. Ultrazvukové a rentgenové zkoušky ovšem nejsou pro navařený díl dostatečnou kontrolou a svarový spoj musí projít ještě tlakovou zkouškou. Tlaková zkouška se provádí hydraulicky, zevnitř hrdla příruby a jako tlakovací médium se používá voda.

Nátrubky jsou pevně usazeny v reaktorovém víku, a směřují vzhůru, rovnoběžně s osou reaktoru. Nátrubky je potřeba zatěsnit v jejich horní části, v oblasti příruby, a vnitřním válcovém povrchu tak, aby bylo možné provést tlakovou zkoušku podle požadovaných parametrů, v co největší možné délce vnitřního povrchu. Jelikož se veškeré opravy a zkoušky provádí na samotném reaktoru, voda ani jiné nečistoty se nesmí dostat do vnitřního prostoru reaktoru. Nátrubky bohužel není možné pro opravu a následnou tlakovou zkoušku od víka reaktoru oddělit, proto musí být navrhovaný přípravek přenosný. Situaci navíc komplikuje tvar vyústění nátrubků do reaktoru. Zakončení nátrubků kopíruje vnitřní stěnu kulovitého víka reaktoru. Z tohoto důvodu se musí nátrubky zatěsnit na válcové stěně nátrubků a nelze je zatěsnit na jejich konci.

## 2 Teoretická část

### 2.1 O společnosti ŠKODA JS, a.s.

ŠKODA JS a.s. je společnost zabývající se vývojem technologií v oblasti jaderné energetiky. Hlavní činností společnosti je inženýring, výroba a servisování komponent pro jaderné elektrárny. Jedna z nejzásadnějších oblastí působení firmy je investiční inženýring [1].

Tato oblast zahrnuje především:

- management projektů jaderné energetiky
- zpracování projektu primárního okruhu, palivového hospodářství a modernizace jaderných bloků VVER440 a VVER 1000
- zpracování kompletního projektu výzkumných reaktorů a jejich výstavbu
- stavbu nových bloků reaktorů typu VVER
- modernizaci a servisování stávajících bloků VVER [1].



Obrázek 1 – Historické snímky společnosti ŠKODA JS, a.s. [2]

#### 2.1.1 Historie společnosti ŠKODA JS, a.s.

Společnost ŠKODA, založena roku 1859 Emilem Škodou, byl strojírenský podnik se sídlem v Plzni. V následujících desetiletích se rozrostla do evropských rozměrů [1, 3].

Téměř sto let po založení se zde začaly objevovat první náznaky aktivit v jaderné energetice. O rok později byla v Jaslovských Bohunicích zahájena výstavba jaderné elektrárny A-1. Roku 1968 společnost uvedla do provozu světově největší plynovou smyčku, která sloužila k výzkumu palivových kazet a jejich regulace. Po tomto úspěchu byla o 2 roky později podepsána smlouva se SSSR o spolupráci na stavbě reaktoru VVER 440, a po dalších 2 letech byla spuštěna jaderná elektrárna A-1. Roku 1980 společnost dodala první tlakovou nádobu VVER 440/V-213 do Maďarské elektrárny Pakš [1, 3].

O tři roky později (1983) bylo zahájeno projektování a výroba experimentálního reaktoru LVR 15. V roce 1989 byla vyrobena a dodána tlaková nádoba VVER 1000/V-320 pro elektrárnu Belene v Bulharsku. A rok na to (1990) byl zadán projekt školního experimentálního reaktoru VR-1P na ČVUT v Praze, po kterém v roce 1993 následovala privatizace podniku, a vznikla nově vytvořená společnost ŠKODA JADERNÉ STROJÍRENSTVÍ s.r.o. Podnik obratem získal svůj první kontrakt na vývoj skladovací mříže vyhořelého paliva pro jadernou elektrárnu v rovenské oblasti na Ukrajině. Roku 1997 společnost spustila moderní výrobní halu pro přesné obrábění, díky které získala spoustu kontraktů pro jaderný trh [1, 3].

Rok 1999 znamenal pro podnik zásadní transformaci ze společnosti s ručením omezeným na akciovou společnost ŠKODA JS, a.s. Na počátku nového tisíciletí (roku 2002), uvedla společnost do provozu první blok jaderné elektrárny Temelín, a o rok později i druhý blok.

Krátce na to (2004) získala společnost nového vlastníka, ruskou firmu OMZ, jímž zůstal dodnes [1, 3].

ŠKODA JS, a.s. získala do současnosti velké množství kontraktů a realizovala spoustu projektů nejen na tuzemském trhu ale i např. ve Finsku, Rusku, Slovensku, Francii (Obrázek 2) apod. Mimo jiné, byla roku 2008 podepsána dlouhodobá smlouva o provádění údržby reaktorových celků s ČEZ, a.s. pro jaderné elektrárny Dukovany a Temelín [1, 3].



Obrázek 2 – Šachta reaktoru EPR vyrobená pro francouzskou společnost Areva [4]

## 2.2 Jaderné reaktory

Jaderný reaktor je zařízení, ve kterém se energie uvolněná při jaderném štěpení přeměňuje na energii tepelnou. Tato energie se pak v elektrárenské části využívá k výrobě elektrické energie. Nejrozšířenějším typem jaderného reaktoru je reaktor pracující na principu štěpení těžkých jader. V tomto reaktoru se uskutečňuje udržující řízená štěpná řetězová reakce. Tohoto fyzikálního stavu je docíleno vhodným prostorovým uspořádáním všech hlavních součástí reaktoru, jako jsou např. palivo, moderátor, chladivo, řídicí tyče atd. Z uvolněné jaderné energie se využívá zejména uvolněné teplo, které je odváděno chladivem. Při tomto přenosu energie nesmí dojít k přehřátí souborů, aby byla zajištěna bezpečnost provozu reaktoru [5, 6].

Aby mohl být jaderný reaktor bezpečně provozován, jeho konstrukce musí splňovat několik základních funkcí:

- dlouhodobě udržet a řídit řetězovou reakci
- co nejlépe odvádět teplo z reaktoru
- zajistit při všech provozních stavech jadernou bezpečnost (izolace radioaktivních látek od životního prostředí) [5, 6]

Jaderný reaktor je tvořen těmito částmi:

**Reaktorová nádoba** tvoří vnější obal reaktoru, nejčastěji je tvaru válce s otvory na bocích, pro vstup a výstup chladiva, s odnímatelným reaktorovým víkem v horní části, sloužícím k výměně paliva. Nádoba se vyrábí nejčastěji z austenitické oceli s různým procentuálním obsahem legujících prvků (např. Ni, Mn, Cr atd.). Její velikost je závislá na požadovaném výkonu, hmotnost se pohybuje v řádech stovek tun [6].

**Aktivní zóna** je prostor uvnitř reaktorové nádoby, kde probíhá samotné jaderné štěpení a řetězová reakce. Rozměry aktivní zóny jsou ohraničeny uspořádáním paliva [6].

**Palivo** neboli palivové kazety jsou soubory palivových elementů (proutků). Některé konstrukce obsahují palivové elementy kulového tvaru, které jsou volně ložené v aktivní zóně. Palivové proutky jsou úzké trubičky o délce okolo 4 metrů, ve kterých jsou hermeticky uzavřeny palivové tablety, vyrobené většinou z  $UO_2$  (oxid uraničitý – smolinec). Používají se také kovové formy uranu, směsi oxidu uranu a plutonia atd [6].

**Řídící orgány** se v reaktoru vyskytují nejčastěji ve formě tyčí (řídící, bezpečnostní atd.). jsou vyrobené z materiálu, který je schopen ve velké míře pohlcovat neutrony. Při zasunutí tyčí do aktivní zóny reaktoru zachytí část neutronů, čímž omezují štěpení a tím výkon reaktoru [6].

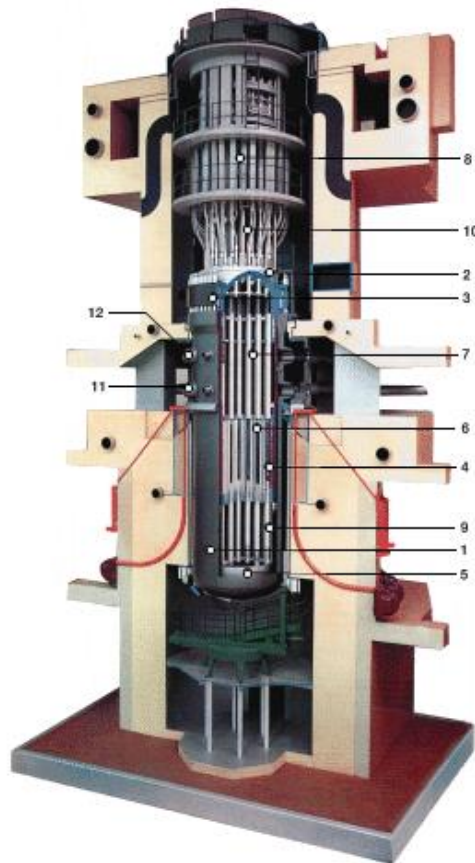
**Moderátor neutronů** se používá ke zpomalení rychlých neutronů vzniklých ze štěpení. Nejpoužívanějšími moderátory jsou lehká voda ( $H_2O$ ), těžká voda ( $D_2O$ ) a grafit (C) [6].

**Chladivo** odvádí teplo generované palivem při štěpné reakci z aktivní zóny a následně z reaktoru, nejčastěji se užívá lehká voda ( $H_2O$ ), těžká voda ( $D_2O$ ), oxid uhličitý ( $CO_2$ ), helium (He) nebo sodík (Na) [6].

V praxi se používá několik druhů jaderných reaktorů, některé jsou rozlišované podle materiálu použitého jako moderátor a chlazení např. varné reaktory, těžkovodní reaktory, plynem chlazené reaktory, množivé reaktory nebo vysokoteplotní reaktory. Nejpoužívanějším typem jsou tlakovodní reaktory (PWR, VVER), pro tento typ reaktoru byl navržen přípravek pro tlakové zkoušky nátrubků ve víku, jež je předmětem této práce [6].

### 2.2.1 Jaderné reaktory VVER 440 a VVER 100

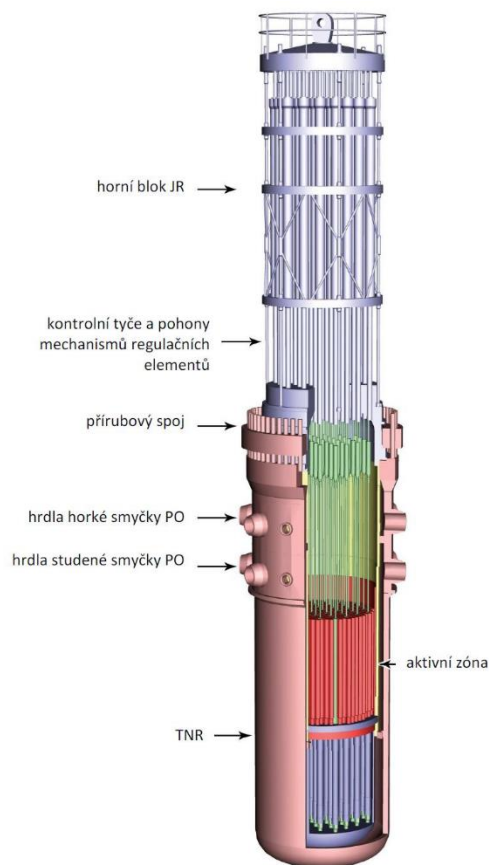
Společnost ŠKODA JS, a.s. se zabývá především výrobou a výstavbou jaderných bloků typu VVER (viz Obrázek 3). Reaktory typu VVER (vodo-vodní energetický reaktor, anglicky Water-Water Power Reactor) jsou nejvíce využívaným typem jaderných reaktorů pocházející ze skupiny tlakovodních reaktorů typu PWR (anglicky Pressurized Water Reactor). Vývoj reaktoru typu VVER byl zahájen v Sovětském svazu v 60. letech dvacátého století, jeho modernizované verze se ale používají ve světě dodnes. Funkční poloha celého reaktoru je orientována na výšku, aktivní zóna reaktoru je v dolní části tlakové nádoby a zaujímá válcový tvar. V této nádobě se pod vysokým tlakem nachází tzv. lehká voda, která slouží jednak jako moderátor a zároveň i jako chladivo. Díky vysokému tlaku vody zde nedochází k varu. V této bakalářské práci se zaměřuji především na typy reaktorů VVER 440 a VVER 1000, pro které je návrh tohoto přípravku určen [7].



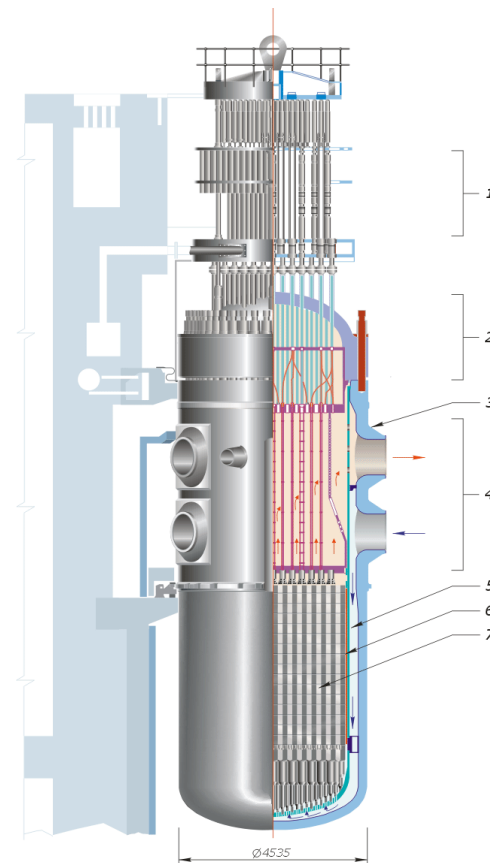
Obrázek 3 – Ilustrace řezu reaktoru typu VVER [8]

Reaktor **VVER 440/V-213** (Obrázek 4) je momentálně nejmodernější vývojový typ VVER 440 a nástupce typu VVER 440/V-230, oproti kterému má výrazně vyšší bezpečnostní koncepci, odpovídající světovým bezpečnostním standardům. Dalším typem je reaktor **VVER 1000/V-320** (Obrázek 5), což je nástupce prototypu VVER 1000/V-187. Společnost ŠKODA JS, a.s. po téměř čtyřicetileté práci na projektu PWR vyrobila 21 jaderných reaktorů typu VVER 440/V-213 a 3 jaderné reaktory VVER 1000/V-320. Firma se v současné době zaměřuje převážně na modernizaci a servis komponent jako jsou:

- pohony řídicích tyčí
- utahováky svorníků pro přírubové spoje
- hermetické kabelové průchodky
- termočlánky
- komponenty čerstvého paliva
- těsnění přírubových spojů
- kanály měření neutronového toku
- zařízení pro likvidaci čidel vnitroreaktorového měření [7].



Obrázek 4 – Ilustrace řezu reaktoru typu VVER 440 [9]



Obrázek 5 – Ilustrace reaktoru typu VVER 1000 [10]

Rekonstrukce jaderných zařízení a jejich modernizace se provádí především za účelem zvýšení efektivity provozu a tím i zlepšení ekonomičnosti provozu jaderné elektrárny. Současnou největší zakázkou z oblasti modernizace je výměna řídicího systému a kontroly řízení pro jadernou elektrárnu Dukovany. Cílem tohoto projektu by mělo být prodloužení plánované životnosti elektrárny, včetně udržení ekonomičnosti a bezpečnosti provozu až do roku 2025 [11].

## 2.3 Zkoušení svarových spojů

Přípravek, který vznikl v rámci této práce, slouží především k tlakové a těsnostní zkoušce svaru, vytvořeném ve spoji původní a nové části nátrubku na víku reaktoru.

### 2.3.1 Rozdělení vad svarů

- Povrchové – na povrchu svaru (líc, rub, nebo kořen svaru)
- Vnitřní – pod povrchem, nejsou viditelné [12]

### 2.3.2 Kontroly svarů

- Nedestruktivní – nedochází k porušení svaru
- Destruktivní – porušení svaru, například rozlomením [12]

Nejrozšířenější skupina zkoušení svarových spojů jsou nedestruktivní zkoušky. Výrobky se po provedení těchto zkoušek dají dále používat. Těmito zkouškami nelze ověřit vlastnosti svaru jako např. pevnost, odolnost proti dynamickému cyklickému namáhání atd. Vlastnosti,



které takto nelze vyzkoušet, se buď zohlední ve výpočtu, nebo se zjistí destruktivními zkouškami na zkušebních výrobcích [12].

### 2.3.3 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky jsou jedna z oblastí defektoskopie, spočívající ve zjištění kvality svaru, technické způsobilosti a bezpečnosti. Tyto zkoušky odhalují vnější, ale i vnitřní vady svaru jako jsou např. trhliny, dutiny, vměstky, studené spoje atd. nedestruktivní zkoušky pro zjištění vnitřních vad se provádí dvěma základními způsoby – prozářením a ultrazvukem [12].

**Ultrazvuková zkouška** spočívá v principu odrazu vln na rozhraní dvou prostředí s odlišnými vlastnostmi. Prostředím se šíří mechanické vlnění určitou rychlostí. Pokud se toto prostředí náhle změní (vada ve svaru) změní se i poměry v šíření vlnění na rozhraní těchto prostředí. Zdrojem tohoto vlnění jsou ultrazvukové zkušební sondy s elektroakustickým měničem. Vlnění se změněným charakterem se snímá přijímačem, který mění mechanické vlnění na elektrický signál [12].

**Rentgenová zkouška**, zvaná také jako zkouška prozářením je nejstarší metoda nedestruktivních zkoušek. Metoda je založena na principu pohlcování ionizačního elektromagnetického záření, v kontrolovaném svaru a zviditelnění prošlého záření vhodným způsobem. V místě, kde se vada nachází, je záření pohlcováno méně, a na detektoru se objeví jako tmavší místo. Jako elektromagnetické záření se pro kovové materiály obvykle používá rentgenové záření (RTG) nebo záření gama [12].

Přípravek, který vznikl v rámci této bakalářské práce, byl navržen ke kontrole svarového spoje, po opravě nátrubku víka reaktoru. Tento svarový spoj se nejdříve kontroluje nedestruktivní zkouškou, za pomoci rentgenu nebo ultrazvuku. Po této zkoušce následuje tlaková zkouška celého nátrubku, která je realizována pomocí tlakovacího média (vody) prostřednictvím tohoto přípravku [12].

Tlaková zkouška nebo také zkouška těsnosti patří do skupiny nedestruktivních zkoušek. Používá se především pro zjišťování těsnosti spojů u tlakových nádob a potrubních systémů. Zkouška se provádí většinou tlakem kapaliny (nejčastěji vody) nebo plynu, postupným zvyšováním tlaku v tělese až na předepsanou hodnotu. Zkouška může být v případě plynu podtlaková nebo přetlaková.

### 2.3.4 Průběh tlakové zkoušky

Tlaková zkouška začíná zatěsněním přípravku ve zkoušeném nátrubku ukotvením šrouby v přírubové oblasti a řádným dotažením v jeho spodní části. Následně je do přípravku přiváděna voda pomocí armatur, které jsou našroubované v přírubě přípravku. Po dosažení požadovaného tlaku se uzavře přívod vody a celá sestava se při statickém působení tlaku vody požadovanou dobu (cca 60 minut) pouze kontroluje pro případný pokles tlaku.

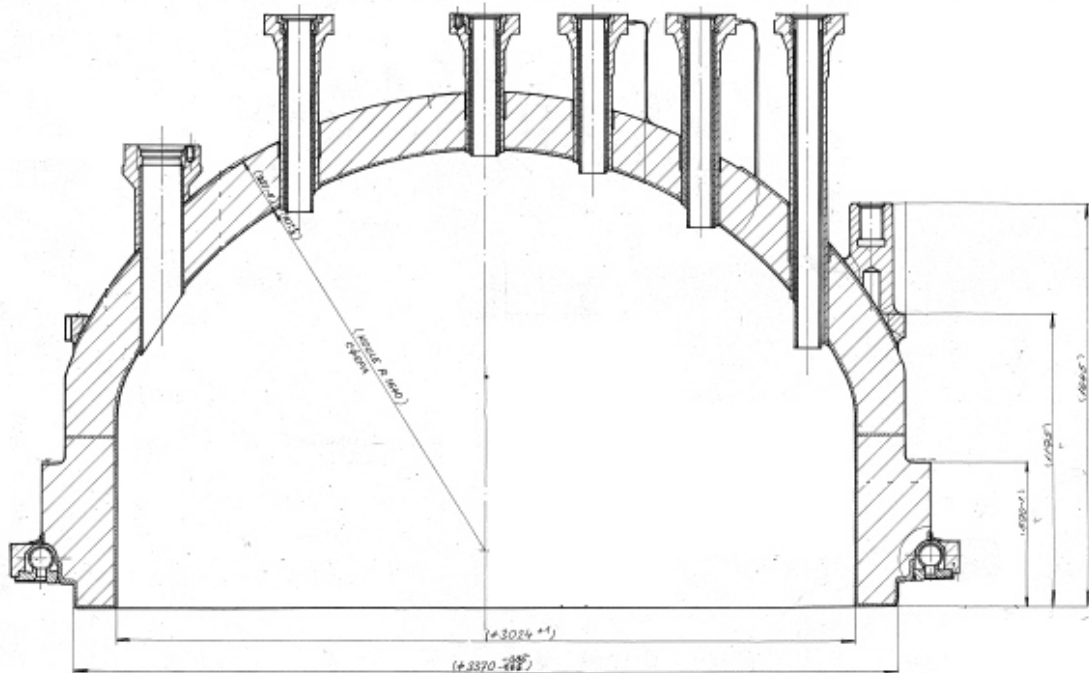
V tomto případě bude tlak během zkoušky dosahovat maximálně 24,5 MPa pro nátrubek reaktoru typu VVER 1000, a 19,12 MPa pro nátrubek reaktoru typu VVER 440. Teplota média během zkoušky dosáhne maximálně 60 °C. Vzhledem k tomu, že zkouška je typická pouze pro tyto typy nátrubků reaktoru a podléhá pouze vnitřní podnikové normě, hodnoty tlaku a teploty vody byly určeny na základě výpočtů provedených společností ŠKODA JS, a.s. Parametry jako přesná doba trvání zkoušky nebo tolerance poklesu tlaku nebyly určeny. [12].

### 3 Praktická část

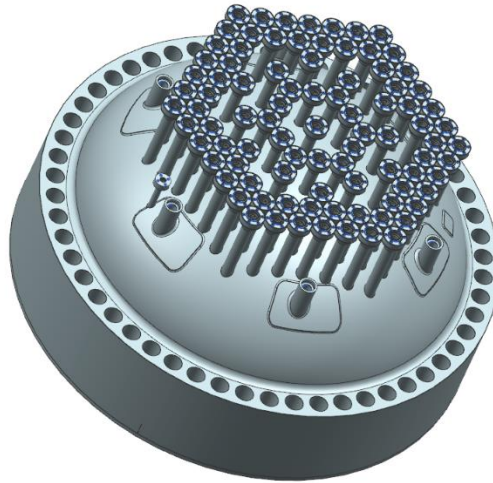
Úkolem je navrhnout trubicovitý přípravek, kterým lze provést hydraulickou tlakovou zkoušku opraveného nátrubku. Přípravek musí být navržen tak, aby je bylo možné použít pro dva typy nátrubků ze dvou typů reaktorů. Dále musí být návrh proveden tak, aby přípravek odolal požadovanému tlaku (24,5 MPa pro VVER 1000 a 19,12 MPa pro VVER 440) hydraulické tlakové zkoušky, a dostatečně těsnil tlakovací médium, kterým bude voda. Teplota vody při zkoušce dosahuje 60 °C. Koncepce nesmí být příliš složitá a přípravek by neměl sestávat z příliš velkého počtu součástí, popřípadě by nemělo docházet k přílišnému vzájemnému pohybu součástí před vložením přípravku do nátrubku.

Přípravek se bude upevňovat na nátrubky, které jsou součástí vík reaktorů VVER 440 a VVER 1000, za normálního provozu v nich proudí kyselina boritá ( $H_3BO_3$ ). Počty nátrubků se liší podle typu reaktoru. Oprava jednotlivých nátrubků probíhá oddělením poškozené části nátrubku, při zjištění vady. Nátrubky jsou vyrobeny z uhlíkové oceli a do reaktorových vík jsou nalisovány. Rozměry a tvar nátrubků se také liší podle typu reaktoru, pro oba typy však zůstává stejná tolerance vnitřního průměru H8, který je bez dalších tvarových změn a osazení.

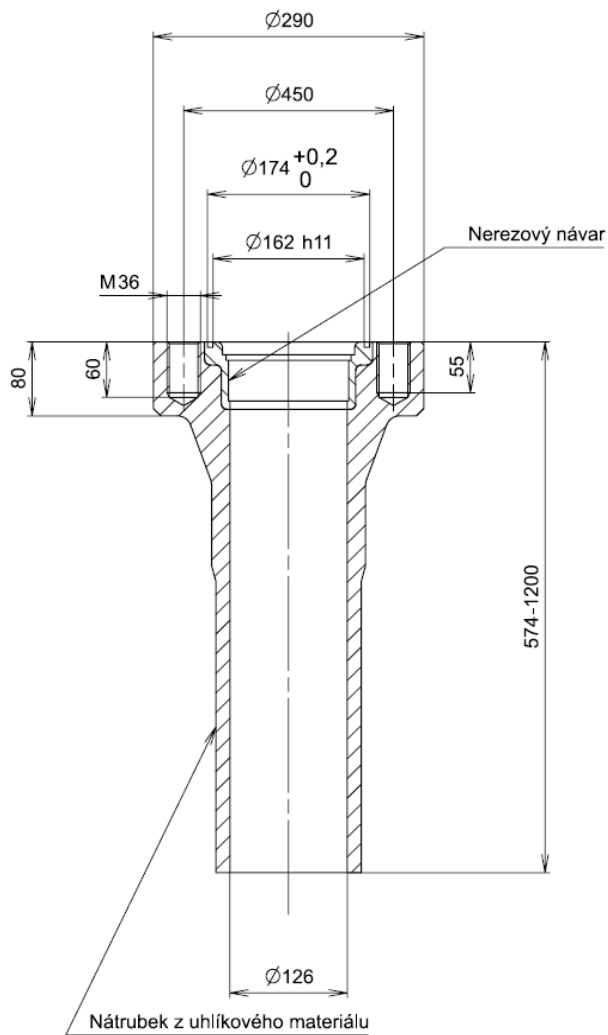
Víka reaktorových nádob (VVER 440 a VVER 1000) se nachází na vrchních stranách těchto nádob. Mají tvar kulové úseče a jsou z nich vyvedeny nátrubky, které se v případě potřeby opravují. Víka obou typů reaktorů obsahují desítky nátrubků, které jsou do vík nalisovány tak, že u většiny z nich jejich spodní hrana kopíruje tvar vnitřní stěny víka. Z toho důvodu nebylo možné navrhnout přípravek tak, aby utěsnil nátrubky na jejich spodní stěně.



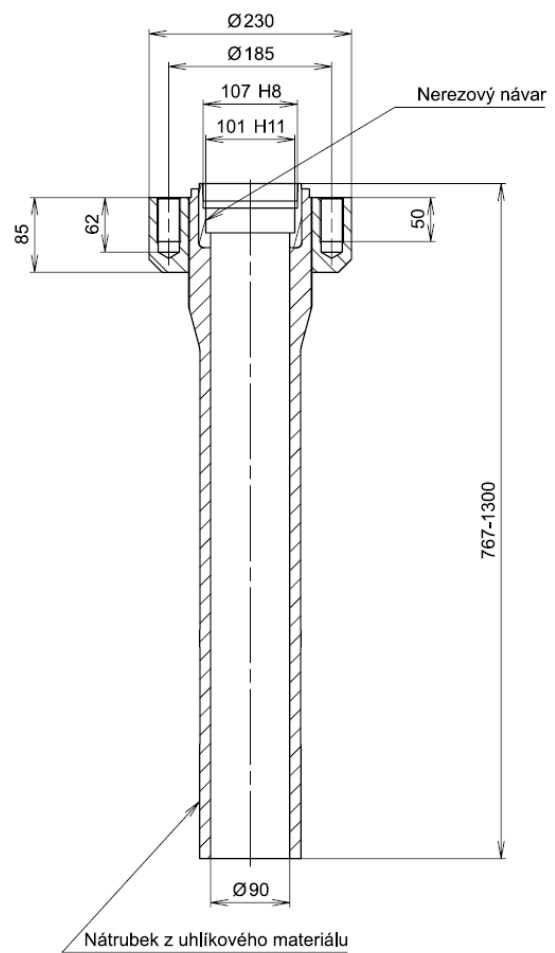
Obrázek 6 – Výkres sestavy reaktorového víka a nátrubků (VVER 440) [archiv ŠKODA JS a.s.]



Obrázek 7 – Reaktorové víko s nátrubky (VVER 1000) [archiv ŠKODA JS a.s.]



Obrázek 8 – Výkres nátrubku VVER 440  
[archiv ŠKODA JS a.s.]



Obrázek 9 – Výkres nátrubku VVER 1000  
[archiv ŠKODA JS a.s.]

## Požadavky na přípravek

- dostatečná tuhost a těsnost
- univerzálnost (použití pro dva typy reaktorů)
- nízká hmotnost
- snadná smontovatelnost a rozebíratelnost
- malý počet jednotlivých dílů přípravku
- malé rozměry
- snadná manipulovatelnost

Tento přípravek by měl být navržen jako **univerzální**, jelikož je určen pro dva různé typy reaktorů (VVER 440 a VVER 1000). Každý typ je charakteristický svým vnitřním průměrem nátrubku. Těmto průměrům se musí přípravek přizpůsobit, nejlépe za použití vyměnitelných částí, a bez nutnosti použití dvou různých přípravků.

Pro zajištění **tuhosti** musí být konstrukce přípravku co nejmasivnější a zároveň se tuhost musí optimalizovat tak, aby bylo dosaženo co nejnižší **hmotnosti**. Kvůli vysokému tlaku média, jímž bude tlaková zkouška prováděna, je nutné, aby měla příruba dostatečnou tloušťku, a co možná nejvíce eliminovala deformaci přípravku.

Důležitá je snadná **smontovatelnost a rozebíratelnost**. Proto by měl být přípravek složen z co **nejmenšího počtu jednotlivých součástí**. Tyto součásti by se měly jako celek usazovat na zkoušené místo již sestavené dohromady, tak, aby se žádná část nemohla uvolnit a vniknout do samotného reaktoru. Z tohoto důvodu by měla být zajištěna i **snadná manipulace**.

### 3.1 Design

Z konstrukce přírubových částí víka reaktoru vyplývá, že přípravek by měl mít trubkový tvar. S ohledem na existující součást, je vhodné konstruovat horní část přípravku jako **přírubu**. Přípravek se musí do zkoušeného nátrubku snadno vložit, aby nevznikaly oděrky nebo se případně nepoškodily obě součásti. Zároveň nesmí vzniknout příliš velká mezera mezi plochou, která bude zajišťovat utěsnění přípravku a stěnou nátrubku, protože by přípravek netěsnil. Naopak kdyby byla mezera příliš malá, může se stát, že se přípravek při nesprávném vkládání nebo vyjímání zasekne a nepůjde vyndat nebo bez defektu vložit do nátrubku. Těmto problémům by mohlo předejít navržení vedení přípravku.

Celý přípravek musí být dostatečně dlouhý, aby překryl co největší možnou oblast, ve které proběhne oprava. Zároveň by však měl být navržený tak, aby k jeho natlakování nebylo nutné velké množství vody. Z tohoto důvodu by měla být středová část tělesa přípravku ve tvaru trubice co největšího průměru, aby prostor mezi stěnou nátrubku a touto trubicí byl co nejmenší. Tato trubice musí mít dostatečnou tloušťku stěny, která musí být optimalizována s ohledem na nízkou hmotnost. Nesmí se zapomenout na fakt, že s narůstající délkou trubice musí narůstat také tloušťka stěny. Skrze tuto trubicovou část bude procházet těleso opatřené závitem, kterým bude celý přípravek stahován a tím zatěsněn.

Nejkomplikovanější oblast návrhu je zatěsnění ve spodní části. Přípravek zde musí těsnit kolmo na válcovou stěnu nátrubku. Těsnění v nátrubku by bylo, vzhledem k deformaci, vhodné vyrobit z pryže. Pryžové těsnění musí mít speciální tvar, který se bude správně deformovat po stlačení z obou stran ve směru osy přípravku. Tato deformace však nesmí být příliš velká, aby nedošlo k destrukci těsnění.

## 3.2 Variantní řešení

Podle předpokladů zmíněných výše, jsem vypracoval tři konstrukční varianty, které jsem dále konzultoval a upravoval podle požadavků. Návrh těchto variant byl vytvořen s ohledem na prostorové a zástavbové parametry nátrubků. Vzhledem k tomu, že příruby jsou napevno integrovány do reaktorového víka, musí být s přípravkem možno snadno manipulovat.

### 3.2.1 Varianta 1

V této variantě jsem uvažoval dva různé přípravky, vzhledem k tomu, že se nátrubky obou typů reaktorů tvarově a rozměrově liší. Nátrubky reaktoru VVER 440 mají větší průměr a jsou kratší, zatímco nátrubky VVER 1000 jsou naopak delší s větším vnitřním průměrem. Oba typy nátrubků mají stejný počet děr pro šrouby v přírubové části, ale liší se jejich rozteč a průměry. Navržené přípravky se přišroubují k určeným nátrubkům pomocí přírubových částí na těchto přípravech. Přírubová část je u obou přípravků odstupňována osazením, které kopíruje, nebo navazuje na tvar příslušného nátrubku. Princip zatěsnění nátrubku je pro oba přípravky stejný a liší se pouze rozměry spodní části, kde je stlačováno těsnění.

Stlačení tohoto těsnění v podobě nenormalizované hydraulické manžety ve tvaru „Y“, zajistí dva proti sobě ležící ocelové talíře tvořící těsnící plochy, mezi kterými se bude nacházet těsnění. Horní těsnící plocha je tvořena tělesem přípravku, a je opatřena nákrůžkem na jeho vnějším okraji. Spodní těsnící plocha je samostatná součást, která je přitlačována spodní plochou částí šroubu s osazením. Těsnící element se musí deformovat směrem ven k vnitřní stěně nátrubku. Tato deformace je způsobena utahováním středového tělesa s vhodně zvoleným závitem a stoupáním závitu. Tento šroub se neotáčí a je utahován maticí uloženou na horní ploše tělesa přípravku.

Vzhledem k tomu, že tlakovací médium bude voda, jsem v horní části oba přípravky opatřil otvory s trubkovým závitem, pro přívod tlakovacího média, odvodu vzduchu a měření tlaku. V případě, že by byl odvod vzduchu a měřící systém na tlakovací soustavě, se musí tyto otvory zaslepit. Otvory pro vstup tlakovací soustavy jsou rozmístěny kolem středové díry, ve které je umístěno šroubové těleso pro utahování hydraulické manžety. Vrchní část přípravku bude opatřena maticí pro utahování a zatěsnění přípravku, kterou bude tento šroub procházet.

Těsnění přípravků mimo hydraulické manžety obstarávají v každém z přípravků O-kroužky, které se nachází v přírubových částech přípravků. O-kroužky jsou stlačovány radiálně nebo axiálně (podle typu nátrubku).

### 3.2.2 Varianta 2



Obrázek 10 – Varianta 2 – Univerzální TĚLESO PŘÍPRAVKU

Volba dvou samostatných přípravků nesplňuje jednu ze základních podmínek univerzálnosti použití. Proto jsem přípravek přepracoval tak, aby mohl být použit jeden základní kus. Jako druhou variantu jsem tedy navrhl přípravek, který má společné pouze základní těleso přípravku, a pro změnu rozměrů na požadované hodnoty se pouze doplní o součásti, které tyto změny umožňují (Obrázek 10).

Aby mohlo být toto tělo přípravku použito pro oba typy reaktorů (VVER 440 a VVER 1000) musela být vrchní příruba opatřena dvěma sadami děr, pro oba typy reaktorů. Pro typ VVER 1000 bude přípravek fungovat bez dalších přírubových součástí, ale pro typ VVER 440 je nutné vložit mezi přírubu tělesa přípravku a nátrubek přírubovou vložku. Tato vložka obsahuje pouze 6 otvorů pro typ VVER 440 a ostatní díry z typu VVER 1000 v tělese zaslepuje.

Spodní přítlačný díl jsem také musel přepracovat, a změnit jeho tvar, z důvodu vložení vyměnitelné vložky pro oba typy reaktorů. Pro typ VVER 1000 přípravek sestává pouze z těla, středového šroubového tělesa a vložky, která je vložena do spodní části mezi šroub a těsnící manžetu (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

Přípravek pro typ VVER 440 je složitější o přírubovou vložku a o dvě spodní vložky, které jsou vloženy nad a pod těsnící manžetu. Tyto vložky jsou opřené o tělo přípravku a o dosedací plochu na šroubové části (viz Obrázek 12).

Oba typy reaktorů mají předepsanou stejnou toleranci vnitřní díry nátrubku, takže těsnící manžety mohou být stejné, jen s jiným rozměrem. Těsnění mimo hydraulickou manžetu obstarává soustava O-kroužků na dosedacích plochách.

Hlavní těsnění mezi přípravkem a nátrubkem, které těsní nátrubek na jeho vnitřní válcové ploše, jsem realizoval stejně jako v minulé variantě v podobě kruhové manžety nestandardního tvaru. Manžeta musí být zatěsněna a zafixována na místě ještě před začátkem plnění přípravku vodou. Deformace manžety nastane po jejím stlačení mezi tělem přípravku a spodní vložkou (pro VVER 1000) nebo mezi spodní a vrchní vložkou (pro VVER 440).



Obrázek 11 – Varianta 2 – Sestava přípravků  
pro nátrubky VVER 1000



Obrázek 12 – Varianta 2 – Sestava přípravků  
pro nátrubky VVER 440

### 3.2.3 Varianta 3

Horní přírubová část přípravku z předešlé varianty je v pořádku a splňuje požadované parametry a podmínky. Tento přírubový spoj jsem tedy zachoval podle předchozího návrhu pro oba typy reaktorových nátrubků. Úpravu přípravku však bylo nutné provést ve spodní části, kde měla tlakovací prostor zatěsnit hydraulická manžeta. Tato manžeta by se po utažení přípravku v nátrubku příliš deformovala a hrozilo by její mechanické poškození.

Princip zatěsnění manžety jsem tedy změnil tak, aby se hydraulická manžeta nasouvala na kuželovou plochu. Na tuto plochu manžetu nasouvá šroubové těleso s dosedací plochou, která je pro každou variantu přípravku na jiné součásti. Pro nátrubek reaktoru VVER 1000 je dosedací plocha přímo na šroubovém tělese, které se bude utahovat maticí, umístěnou na horní čelní ploše přípravku, a tím se bude nasouvat manžeta na kužel na tělese přípravku. Pro nátrubek reaktoru VVER 440 je princip zatěsnění stejný, ale je nutné do přípravku vložit těsnící a přítlačnou vložku. Manžeta je tedy nasazena na kuželovou plochu na těsnící vložce, kam ji bude nasouvat dosedací plocha na přítlačné vložce. Nasazením na kužel bude manžeta stlačována axiálně i radiálně a zatěsnění tak bude probíhat v obou směrech.

Jako tento těsnící prvek pro oba typy přípravku jsem použil klasické hydraulické manžety, jejichž rozměry jsem zvolil podle průměrů nátrubků VVER 440 a VVER 1000. Jednotlivé součásti se v přípravku nesmí otáčet, aby se nezničil povrch manžety a zároveň nesmí být tyto součásti volné, aby se nemohly volně pohybovat. Radiálnímu pohybu šroubového tělesa je v průchozím přípravku zamezeno těsným perem. Proti otáčení a pohybu těsnící a přítlačné vložky jsou tyto součásti opatřeny metrickým závitem na svých stykových válcových plochách.

Radiální síla působící na šroubovou část vlivem utahování není nijak velká, proto není třeba těsné pero kontrolovat proti otlacení. Přípravek je díky těmto vloženým součástem univerzální pro použití, jak na nátrubku reaktoru VVER 440, tak na nátrubku reaktoru VVER 1000. Díky závitům, kterými jsou tyto součásti opatřeny, je přípravek kompaktní, vložky se nemohou samovolně pohybovat a snadno se zavádí do nátrubku. Mezi jednotlivými vložkami musí být O-kroužky na utěsnění ploch, které se nachází nad zónou utěsněnou hydraulickou manžetou.

Matice pro utahování přípravku a tím jeho zatěsnění, je uložena v horní části přípravku, na čelní ploše, stejně jako v předchozí verzi. Změna oproti původní variantě spočívá v uložení matice. Kvůli snadnějšímu utažení, jsem matici usadil na ložiskovou klec s válečky axiálního ložiska. Kvůli velice nízkému počtu otáček, a relativně malé axiální síle působící na toto ložisko, není nutné počítat trvanlivost ložiska.

### 3.3 Výběr varianty

Na základě všech požadavků na přípravek, se z navržených variant jako nejvhodnější a možné konečné řešení se ukázala **varianta 3**, která nejlépe splňuje všechny vstupní požadavky. Takto navržený přípravek disponuje pro konečné řešení všemi potřebnými vlastnostmi, jako je dostatečné zatěsnění nátrubku, snadná manipulace, snadná smontovatelnost a rozebíratelnost. Pro splnění požadavku na chemickou odolnost přípravku a pro zamezení kontaminace vnitřku reaktoru jsem zvolil materiál ČSN 17 240 – nerezová ocel. Pro tuto zvolenou variantu jsem provedl pevnostní analýzu pomocí metody konečných prvků.

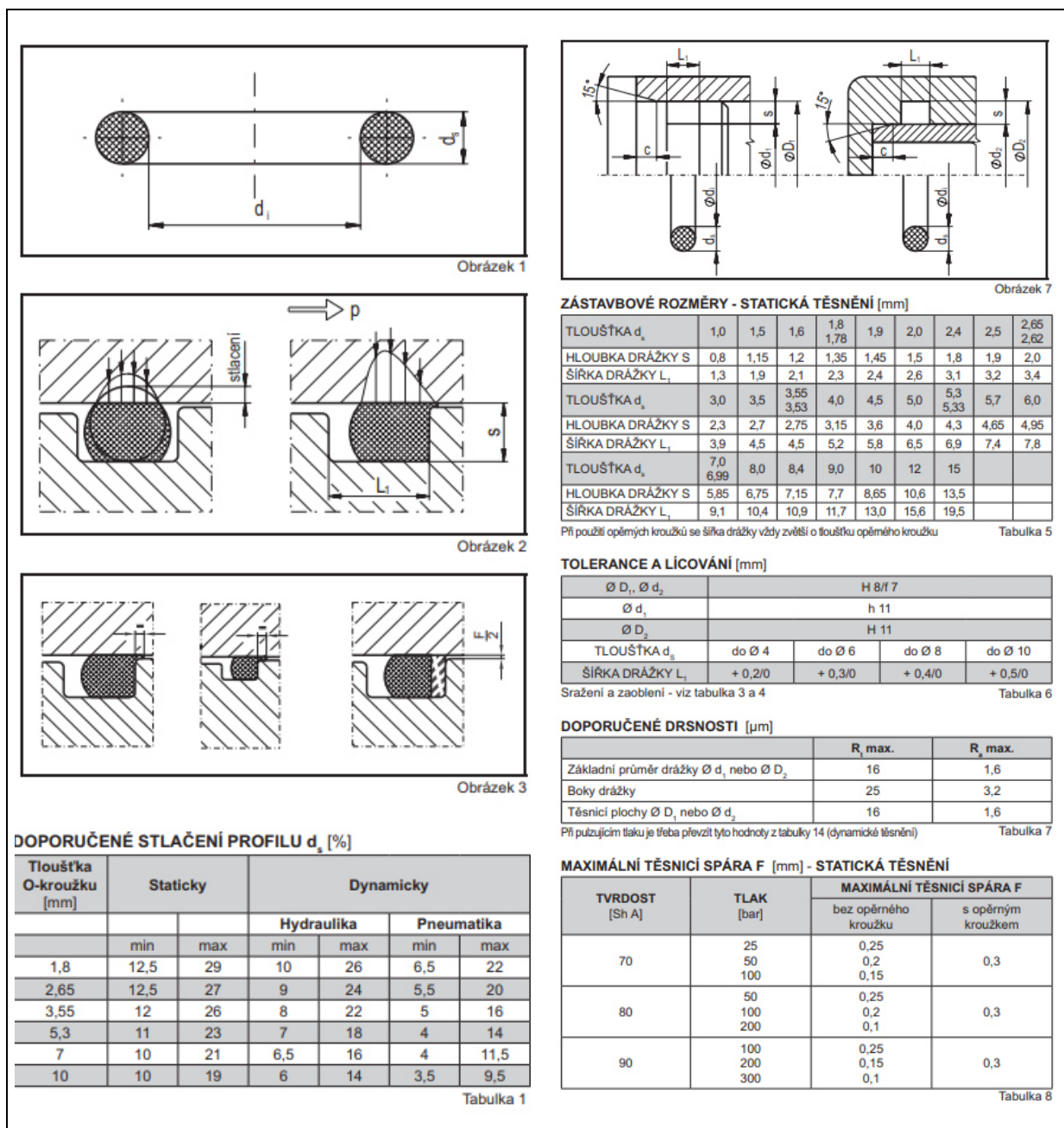
### 3.4 Zatěsnění přípravku

O sekundární zatěsnění celého přípravku pro oba typy nátrubků se starají O-kroužky. Pro nátrubek reaktoru **VVER 1000** je použit pouze jeden O-kroužek v horní části přípravku, mezi přírubou přípravku a nátrubkem, o vnitřním průměru 135,9 mm a průřezem o průměru 2,5 mm, který je stlačován radiálně. Zatímco pro nátrubek typu **VVER 440** jsou použity dva O-kroužky o stejném průřezu o průměru 2,5 mm. Vrchní O-kroužek zůstává stejný, jako pro typ VVER 1000. Spodní O-kroužek má vnitřní průměr 56 mm. Vrchní O-kroužek těsní stejně jako v případě VVER 1000 horní části přípravku, tentokrát mezi přírubovou vložkou a přírubou přípravku. Druhý je ve spodní části, mezi těsnicí vložkou a přípravkem. O-kroužek pro typ VVER 440 ve spodní části je stlačován axiálně [13].

#### O-kroužky

Jelikož na materiál O-kroužků nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky ohledně chemické odolnosti a působí na ně pouze statický tlak, zvolil jsem jako materiál těchto O-kroužků NBR 80 (nitrilová pryž s tvrdostí 80 ShA podle DIN 3770) [13]. Velikost O-kroužků, tvar a rozměry drážek jsem volil podle zadaných parametrů, jako jsou např. maximální dosažený tlak při tlakové zkoušce a rozměry nátrubků, z tabulek v katalogovém listu společnosti Hennlich s.r.o. (viz Obrázek 13) [14].





Obrázek 13 – Náhled obrázků a tabulek pro volbu o-kroužků [14]

Zvolené O-kroužky:

- O-kroužek 135×2,5 NBR80
- O-kroužek 56×2,5 NBR80 [13].

Těsnící manžety jsem volil z katalogu hydraulických těsnících manžet společnosti Rubena a.s. Podle rozměrů nátrubků reaktorů VVER 440 a VVER 1000 jsem zvolil tyto hydraulické těsnící manžety. Materiál těsnících manžet je AU95 – polyuretan s tvrdostí 95 ShA [15, 16].

Zvolené manžety:

- Manžeta 70×85×12,5/11,5 AU95-DIN MA28
- Manžeta 100×120×16/15 AU95-DIN MA39 [15].

### 3.5 MKP analýza

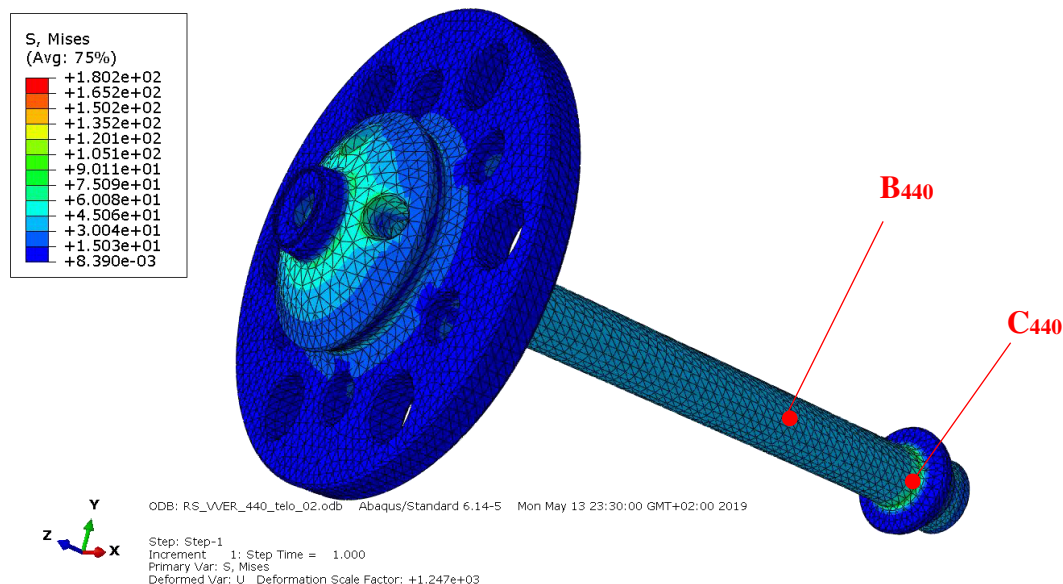
Jelikož je konstrukční návrh všech navržených součástí geometricky složitý, zvolil jsem pro pevnostní výpočet dílů a jejich následnou kontrolu MKP analýzu. Numerické řešení jsem provedl pomocí softwaru Abaqus 6.14-5. Simuloval jsem nejprve zvlášť zatížení tlakem pro jednotlivá těla přípravku a poté jsem simuloval deformaci zatěsněné manžety.

#### 3.5.1 Tlakování tělesa přípravku

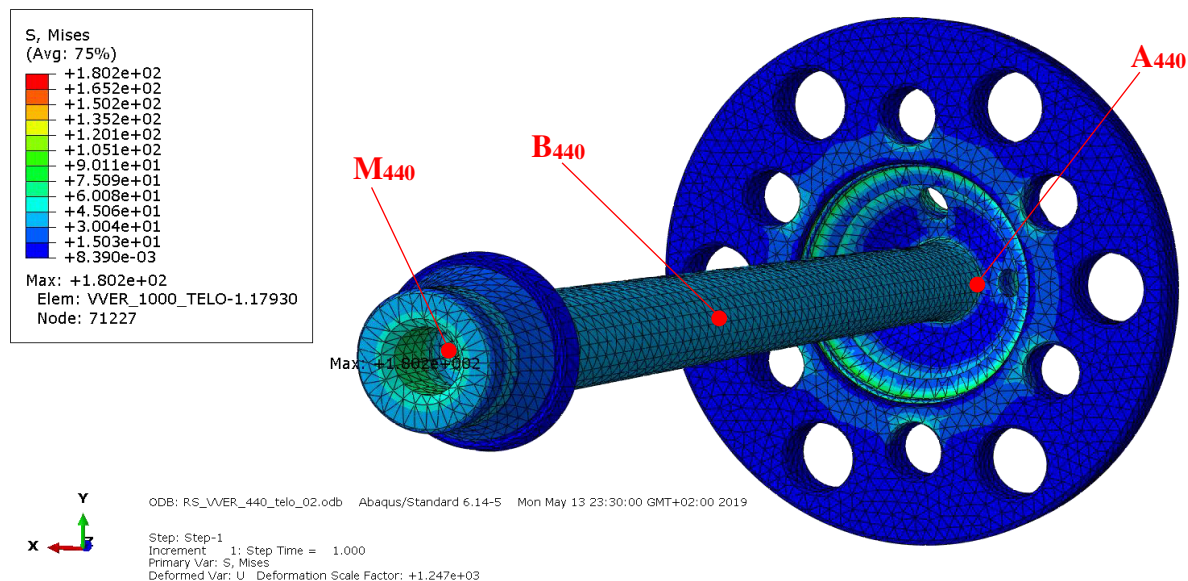
V této kapitole je popsána MKP analýza tlakového zatížení tělesa přípravku. Těleso je modelováno a simulováno pro obě verze přípravku stejně, jen se liší maximální tlak, který musí unést a plochy, na které tlak působí. Pro těleso přípravku pro reaktor VVER 440 je maximální hydrostatický tlak  $p_{\max} = 19,12 \text{ MPa}$ , zatímco pro reaktor VVER 1000 je maximální tlak  $p_{\max} = 25 \text{ MPa}$ .

Nejprve jsem zvolil okrajovou podmínku. V tomto případě jsem pevně zajistil (proti posunu i rotaci) spodní přírubovou plochu (vychází ze sestavení – pevně spojeno s nátrubkem). Takto vetknutou součást jsem poté zatížil předepsaným tlakem.

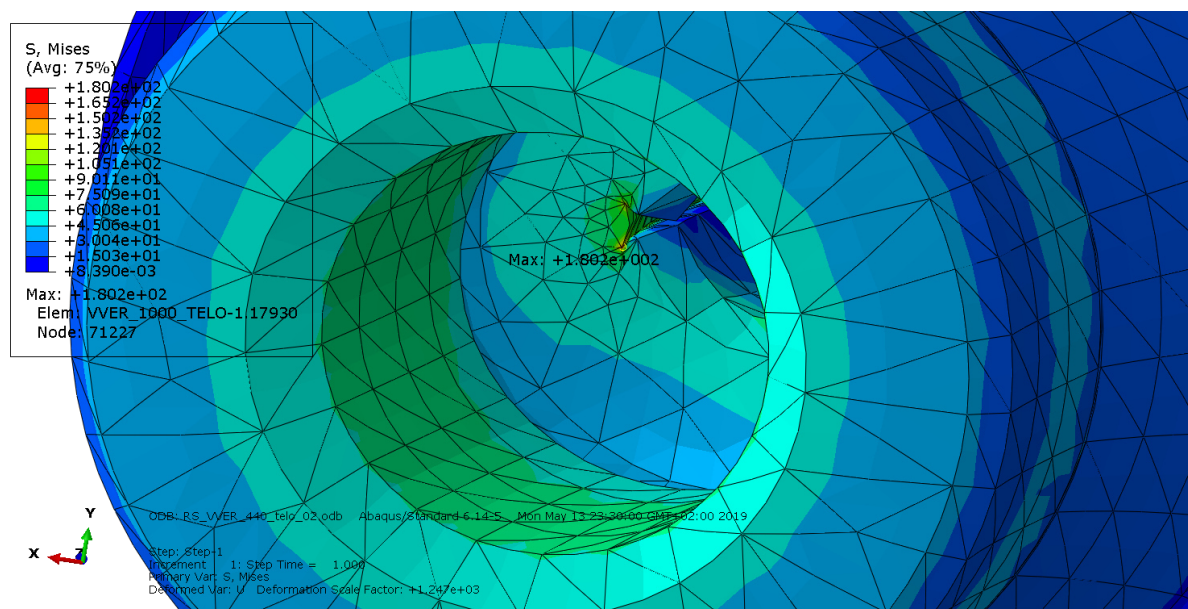
#### Těleso přípravku VVER 440



Obrázek 14 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – normálové napětí – náhled 1



Obrázek 15 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – normálové napětí – náhled 2



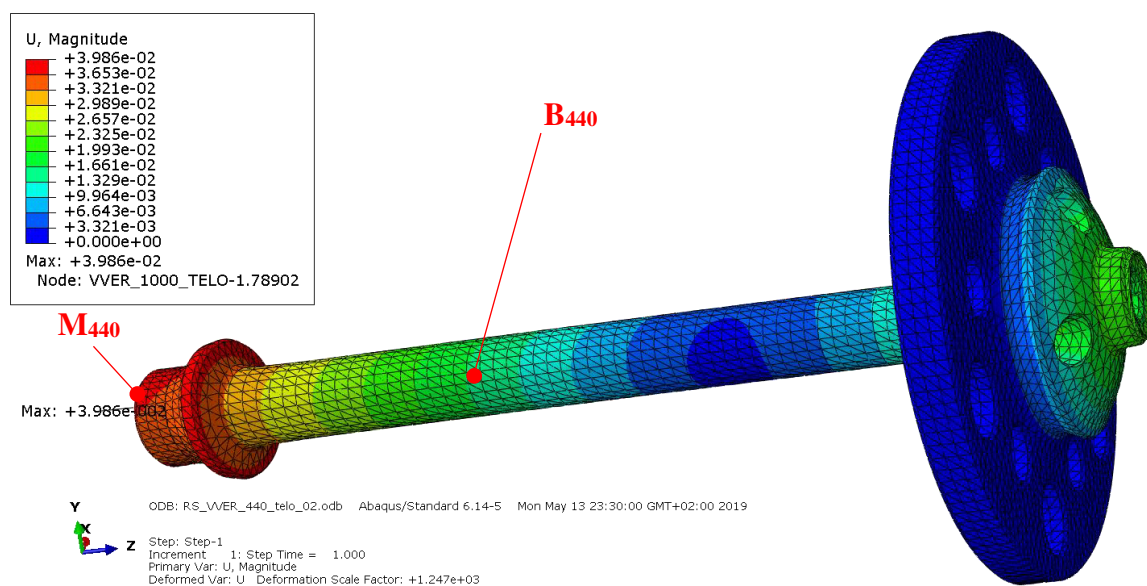
Obrázek 16 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – normálové napětí – detailní náhled polohy maxima

Z MKP analýzy jsem získal průběh a hodnoty napětí v celé součásti. Maximální normálové napětí je  $S_{\max 440} = 180,2$  MPa, tuto hodnotu nalezneme pouze v jednom bodě (viz Obrázek 16). Tato napěťová špička je způsobena drážkou pro pero, které zde funguje jako vrub. Z barevné mapy na obrázcích výše (viz Obrázek 14 a Obrázek 15) je zřejmé, že napětí je z velké části tělesa v modrých barvách, což je podle legendy interval od 0,0084 MPa do 50 MPa. Tento interval je velmi rozsáhlý, proto jsem zvolil body, které by dle mého názoru mohly být kritické (body jsou znázorněny na obrázcích výše – A, B, C a maximum M). V těchto zvolených bodech jsem vypsál hodnoty dosaženého napětí (viz Tabulka 1).

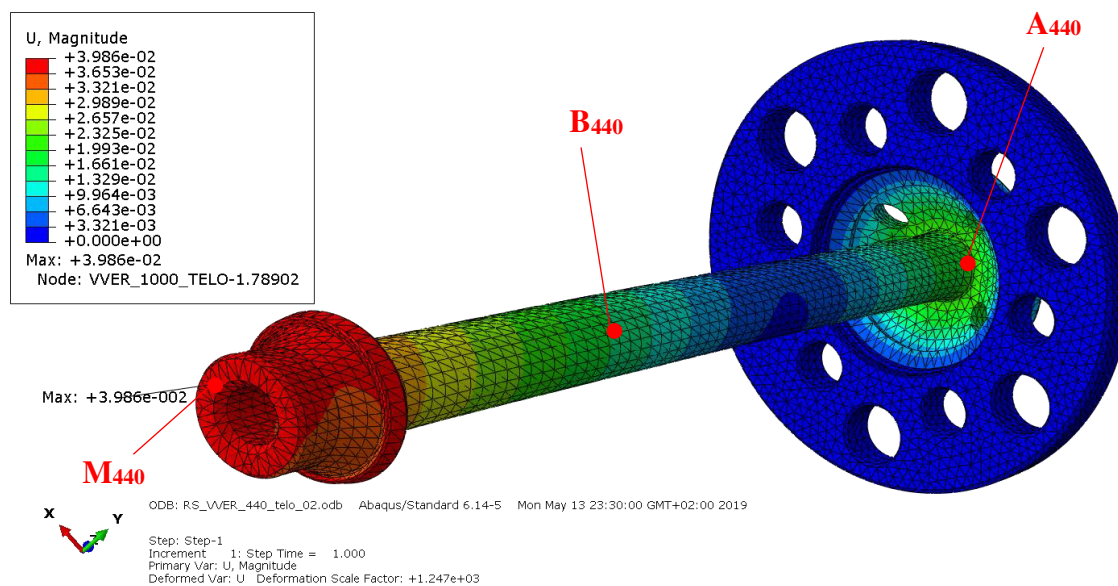
Tabulka 1 – VVER 440 – Hodnoty napětí ve vybraných bodech

Hodnoty napětí ve vybraných bodech	
M440 – Maximum	$S_{\max 440} = 180,2 \text{ MPa}$
A440 – zaoblení uvnitř osazení přírubové části	$S_{A440} = 43,6 \text{ MPa}$
B440 – „uprostřed“ trubkové části	$S_{B440} = 36,3 \text{ MPa}$
C440 – zaoblení v dolní osazené části	$S_{C440} = 35,4 \text{ MPa}$

Z tabulky (Tabulka 1) je patrné, že maximum je více než 4× větší než hodnoty napětí v kontrolovaných bodech.



Obrázek 17 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – posunutí – náhled 1



Obrázek 18 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – posunutí – náhled 2

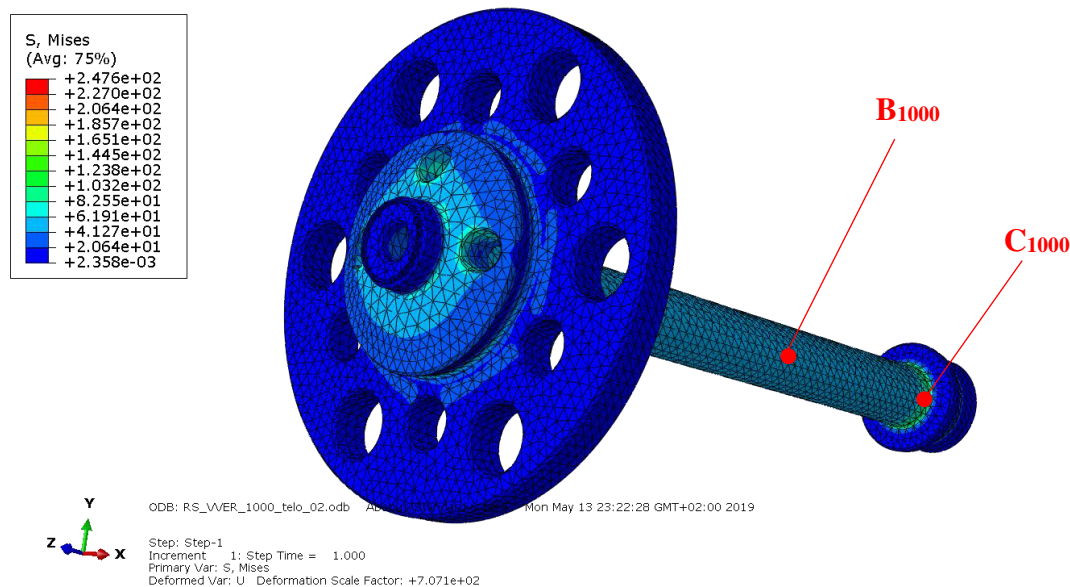
Kromě napětí jsem nechal vykreslit i průběhy a hodnoty posunutí (viz Obrázek 17 a Obrázek 18). V tomto případě je maximální posunutí  $u_{\max440} = 0,03986$  mm. Toto maximum se nachází v dolní části tělesa přípravku, na konci osazení. Nicméně, zajímavá je hodnota posunutí ve směru osy z v bodě A, který se nachází uvnitř osazení přírubové části přípravku – to zejména pro kontrolu maximálního vyboření a tudíž deformace, která by mohla způsobit nepřesnosti bránící utažení nebo utěsnění přípravku. Další zkoumaný bod je téměř „uprostřed“ trubkové části (stejný bod B jako u napětí). Zde nás ovšem zajímá posunutí ve směru osy x, tedy, jak se trubková část zdeformuje dovnitř. Zda tlak, který působí vně, neovlivní lineární vedení zajištěné těsným perem, popřípadě dokonce nezpůsobí zborcení vnitřní stěny těla přípravku. Pokud by k tomuto meznímu stavu došlo, nebylo by možno pokračovat v tlakování. Pro tyto body jsem opět vypsals hodnoty posunutí v jednotlivých směrech do tabulky níže (viz Tabulka 2).

Tabulka 2 – VVER 440 – Hodnoty posunutí ve vybraných bodech

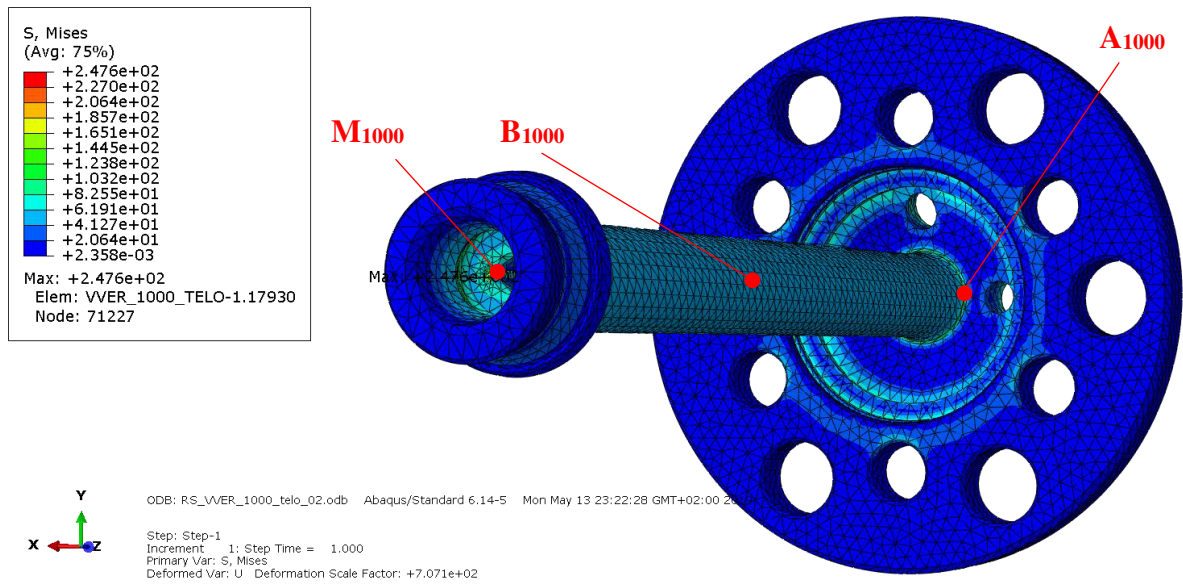
Hodnoty posunutí ve vybraných bodech	
<b>M440</b> – Maximum	$u_{\max440} = 0,03986$ mm
<b>A440</b> – zaoblení uvnitř osazení přírubové části	$u_{A440} = u_{z440} = 0,02045$ mm
<b>B440</b> – „uprostřed“ trubkové části	$u_{B440} = u_{x440} = -0,00089$ mm

Z této tabulky je evidentní, že posunutí bodě A ve směru osy z, je téměř poloviční oproti maximální hodnotě. A posunutí bodě B v ose x je o dva řády menší než maximum. Z toho lze usuzovat, že posunutí způsobené tlakem, neovlivní funkčnost přípravku.

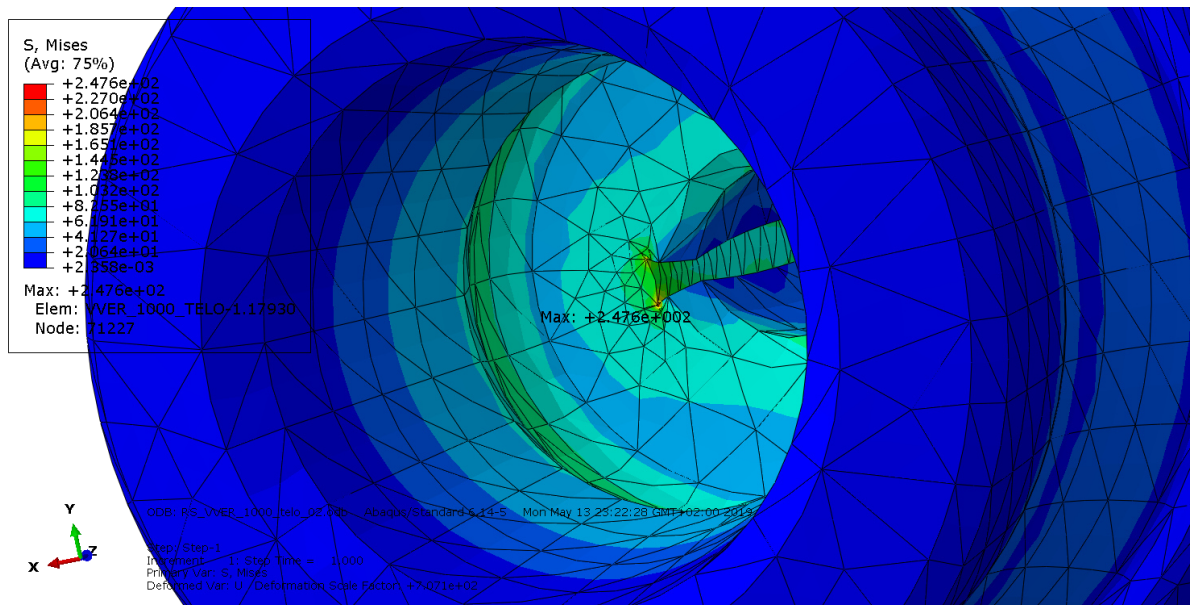
### Těleso přípravku VVER 1000



Obrázek 19 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – normálové napětí – náhled 1



Obrázek 20 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – normálové napětí – náhled 2

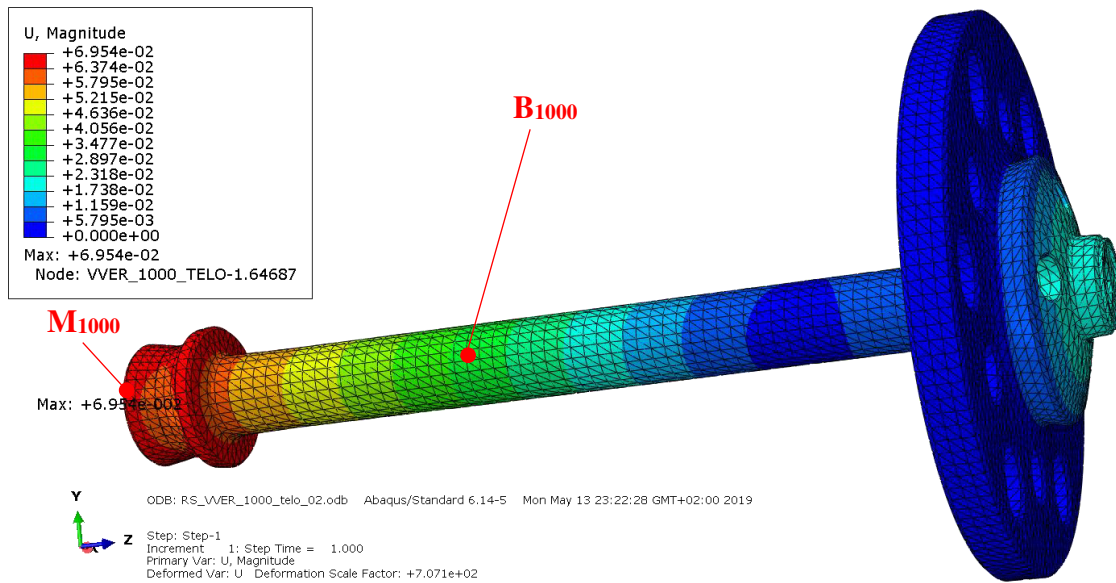


Obrázek 21 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – normálové napětí – detailní náhled polohy maxima

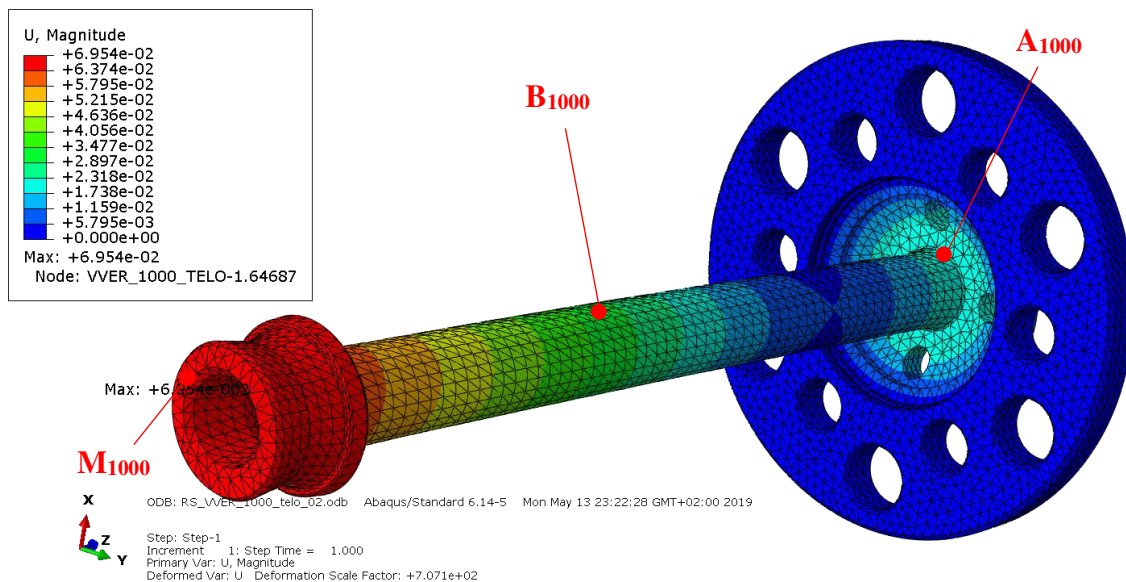
Stejnou simulaci jsem provedl i pro druhou variantu přípravku, pro VVER 1000 (Obrázek 19 a Obrázek 20). Zde je tlak vyšší, konkrétně 24,5 MPa. Z tohoto tlakového zatížení bylo maximální normálové napětí  $S_{\max 1000} = 247,6$  MPa. Taktéž, jako u předchozí simulace, se toto maximální napětí objevuje pouze v jednom bodě – v místě drážky pro těsné pero (viz Obrázek 21). Podobně vypadá i mapa průběhu napětí, taktéž se zde pohybujeme v modrých barvách, od tmavé do světlé – jenž reprezentují rozpětí od 0,0024 MPa do 85 MPa. V tabulce níže (viz Tabulka 3) jsou opět vypsány hodnoty napětí pro vybrané body.

Tabulka 3 – VVER 1000 – Hodnoty napětí ve vybraných bodech

Hodnoty napětí ve vybraných bodech	
<b>M<sub>1000</sub></b> – Maximum	$S_{\max 1000} = 247,6 \text{ MPa}$
<b>A<sub>1000</sub></b> – zaoblení uvnitř osazení přírbové části	$S_{A1000} = 77,2 \text{ MPa}$
<b>B<sub>1000</sub></b> – „uprostřed“ trubkové části	$S_{B1000} = 53,7 \text{ MPa}$
<b>C<sub>1000</sub></b> – zaoblení v dolní osazené části	$S_{C1000} = 46,9 \text{ MPa}$



Obrázek 22 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – posunutí – náhled 1



Obrázek 23 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – posunutí – náhled 2

Maximální posunutí je v tomto případě  $u_{\max 1000} = 0,06954$  mm a nachází se taktéž na konci dolního osazení (viz Obrázek 22 a Obrázek 23). Hodnoty posunutí pro vybrané body jsou shrnuty v tabulce níže (viz Tabulka 4).

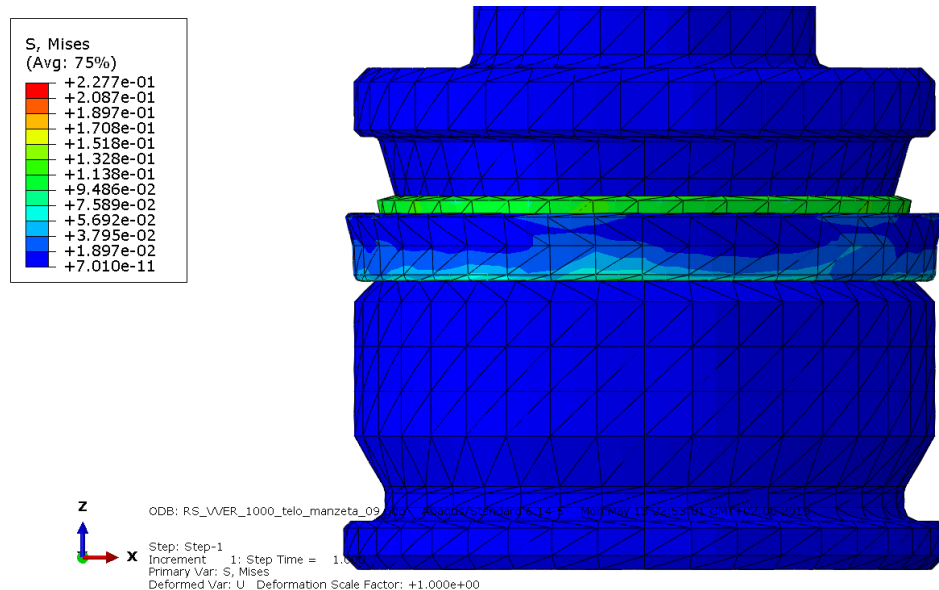
Tabulka 4 – VVER 1000 – Hodnoty posunutí ve vybraných bodech

Hodnoty posunutí ve vybraných bodech	
<b>M<sub>1000</sub></b> – maximum	$u_{\max 1000} = 0,06954$ mm
<b>A<sub>1000</sub></b> – zaoblení uvnitř osazení přírubové části	$u_{A1000} = u_{z1000} = 0,02115$ mm
<b>B<sub>1000</sub></b> – „uprostřed“ trubkové části	$u_{B1000} = u_{x1000} = -0,00078$ mm

Pokud porovnáme hodnoty mezi sebou, vidíme, že posunutí bodu A (osazení v přírubové části) ve směru osy z je 3× menší než maximum, které se nachází v dolní části. A posunutí, lépe řečeno, stlačení způsobené deformací trubkové části je v řádech deseti tisícín milimetru. Z těchto hodnot usuzují, že ani zatížení tlakem 24,5 MPa nezpůsobí zásadní nepřesnosti a tím pádem neovlivní funkčnost přípravku.

### 3.5.2 Simulace dotažení manžety

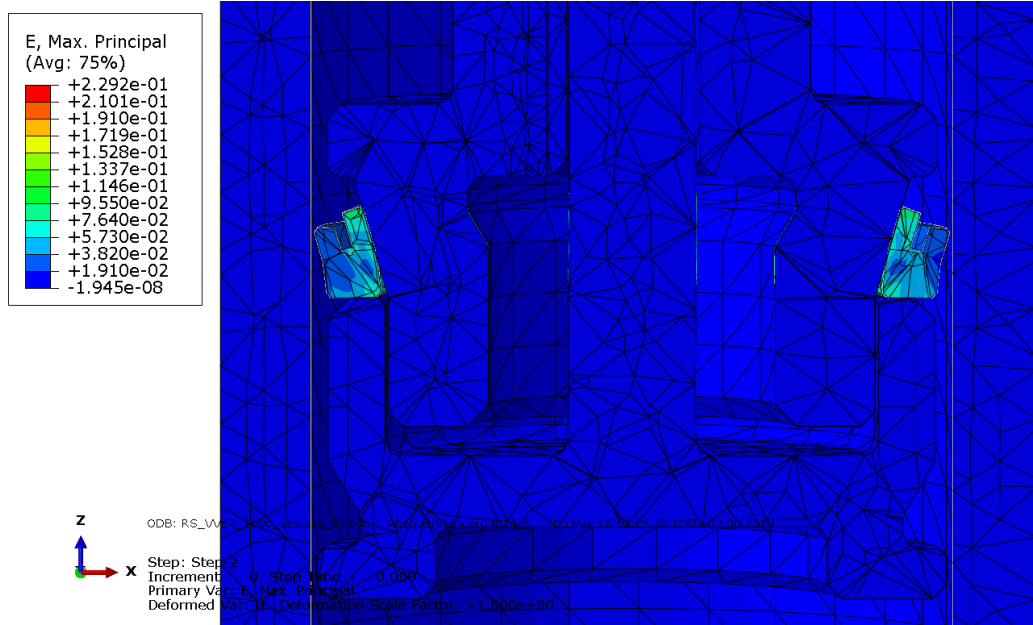
Další simulaci jsem provedl pro ověření správného rozevření zvolené manžety. Taktéž mi simulace slouží ke kontrole napětí v manžetě.



Obrázek 24 – SESTAVENÍ TĚLO PŘÍPRAVKU, MANŽETA, ŠROUB – simulace dotažení manžety – normálové napětí (VVER 1000)

Z obrázku výše (Obrázek 24), na kterém je hydraulická manžeta po zdeformování, je zřejmé, že maximální napětí v manžetě, vyvolané natlačením na kuželovou část těla přípravku, je 0,23 MPa. Z tohoto zjištění soudím, že zvolená manžeta je pro mé použití vyhovující.





Obrázek 25 – SESTAVENÍ TĚLO PŘÍPRAVKU, MANŽETA, ŠROUB – simulace dotažení manžety v řezu – poměrná deformace (VVER 1000)

Pro znázornění deformace těsnící manžety, simulaci dotažení a kontrolu, zda se manžeta deformuje správně, jsem rovněž použil metodu konečných prvků.

Z obrázku (Obrázek 25) je patrné, že deformace manžety v rozmezí 3–9 %. Dále je zřejmé, že délka kuželové plochy je dostatečně velká pro deformaci manžety k zajištění těsnosti. Tvar manžety navíc umožňuje dodatečné zatěsnění tlakem vody při samotné tlakové zkoušce, kdy voda tlačí zevnitř na manžetu a více ji rozevívá. Tyto vlastnosti jsou shodné pro oba typy přípravků (pro VVER 1000 a pro VVER 440).

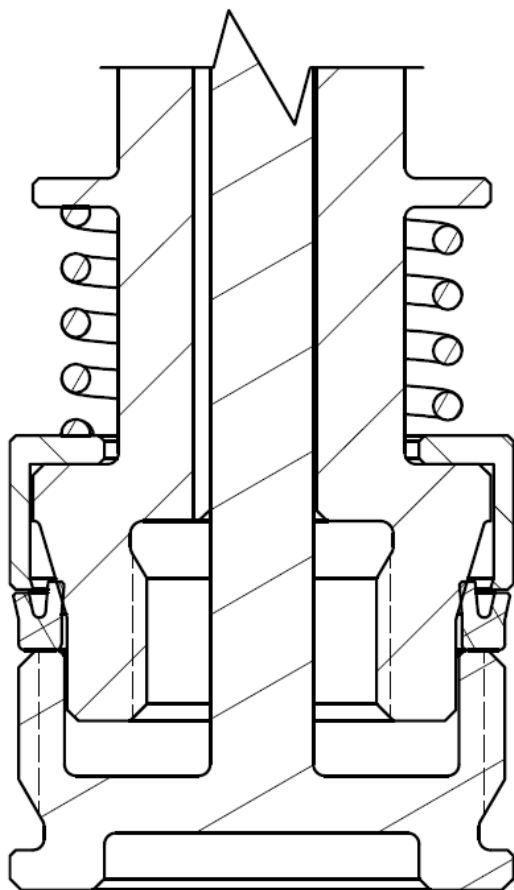
## 3.6 Řešení uvolňovacího mechanismu

### 3.6.1 Varianta 1

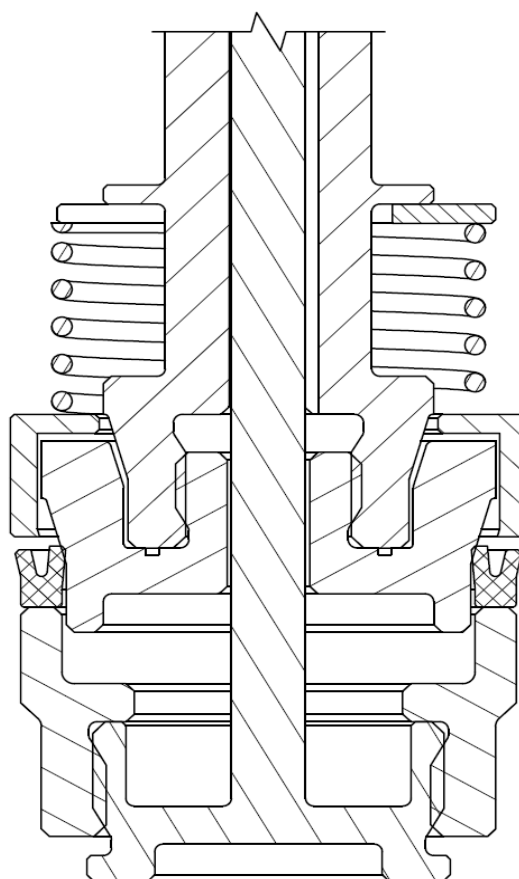
S ohledem na fakt, že utěsnění přípravku je vyřešeno stlačením těsnící manžety z deformovatelného materiálu mezi kuželovou plochu přípravku a vnitřní válcovou plochu nátrubku, mohlo by se stát, že po povolení přípravku zůstala manžeta zdeformována mezi těmito plochami a přípravek by nebylo možné vyjmout. Po utažení přípravku na místě, a provedení následné tlakové zkoušky, je nutné přípravek opět povolit včetně této manžety, aby bylo možné ho bezpečně a snadno vyndat z nátrubku.

V 1. variantě jsem uvažoval konstrukci uvolňovacího mechanismu, který by byl součástí soustavy přípravku. Po povolení přípravku by na těsnící manžetu působil shora tlak ve směru osy přípravku, proti působení síly od deformované manžety. Tento mechanismus jsem vyřešil modifikací tělesa přípravku osazením na jeho vnější válcové ploše, o které se bude opírat dosedací plocha pružiny. Pružina vyvolává sílu působící na těleso vyhazovače, které má trubkový tvar, zakončený potřebnými opěrnými plochami, kvůli správné funkci [17].

Tato varianta by však mohla být použita pouze pro přípravek určený na typ reaktorového nátrubku VVER 440 (viz Obrázek 27). Pro typ nátrubku VVER 1000 by nebylo možné takto zkonstruovaný uvolňovací mechanismus sestavit, přípravek by nesplňoval základní podmínku smontovatelnosti (viz Obrázek 26).



Obrázek 26 – náhled přípravku – varianta 1 – VVER 1000



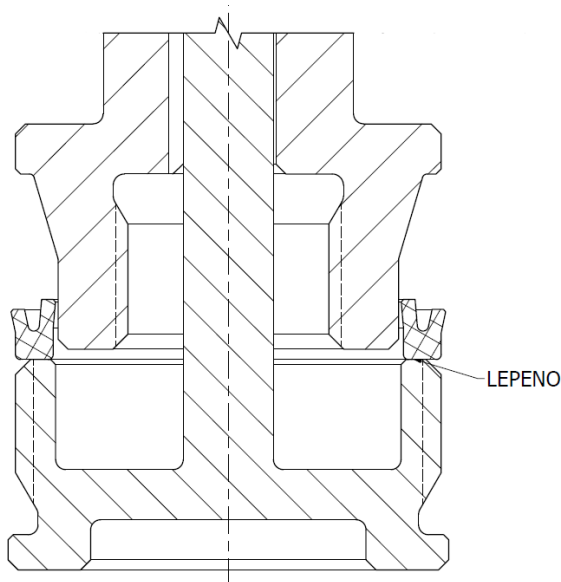
Obrázek 27 – náhled přípravku – varianta 1 – VVER 440

### 3.6.2 Varianta 2

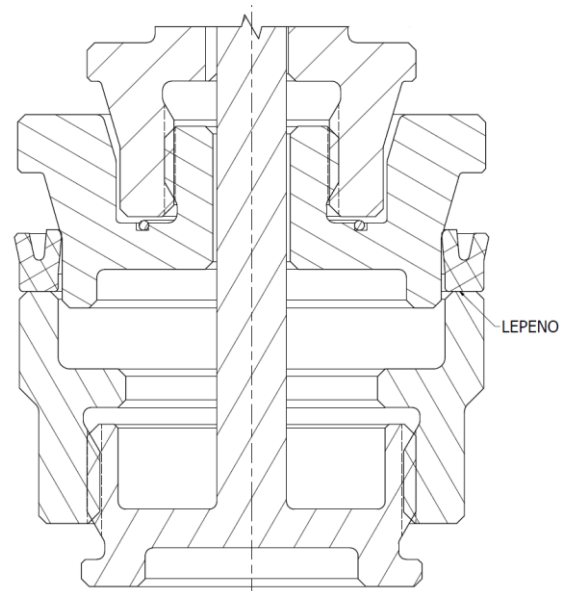
Konstrukční varianty na principu mechanického pohybu se ukázaly jako příliš složité s nutností modifikace celého přípravku. Některé konstrukční varianty by navíc omezovaly některé ze základních vlastností přípravku, jako například snadná smontovatelnost, malý počet součástí atd.

V další variantě jsem tedy uvažoval řešení, které není založeno na principu mechanického pohybu, a zvolil nejjednodušší možné řešení, které by zamezilo zaseknutí těsnící manžety mezi tělesem přípravku (těsnící vložkou) a nátrubkem.

Jako nejvhodnější varianta nakonec vyšel najevo lepený spoj, mezi spodní plochou těsnící manžety a opěrnou plochou přitlačného tělesa (záleží na typu nátrubku – viz kapitola 3.2 variantní řešení – varianta 3). Takto vytvořený lepený spoj by měl mít dostatečnou plochu k tomu, aby únosnost tohoto spoje překonala působení tření vyvolané natlačením manžety mezi kuželovou plochou těsnící části přípravku a nátrubek. Díky předchozí konstrukci celého přípravku je tento spoj realizovatelný, jelikož se žádná z těchto těsnících částí vůči sobě nepohybuje v radiálním směru, ale pouze axiálně.



Obrázek 28 – náhled přípravku –  
varianta 2 – VVER 1000



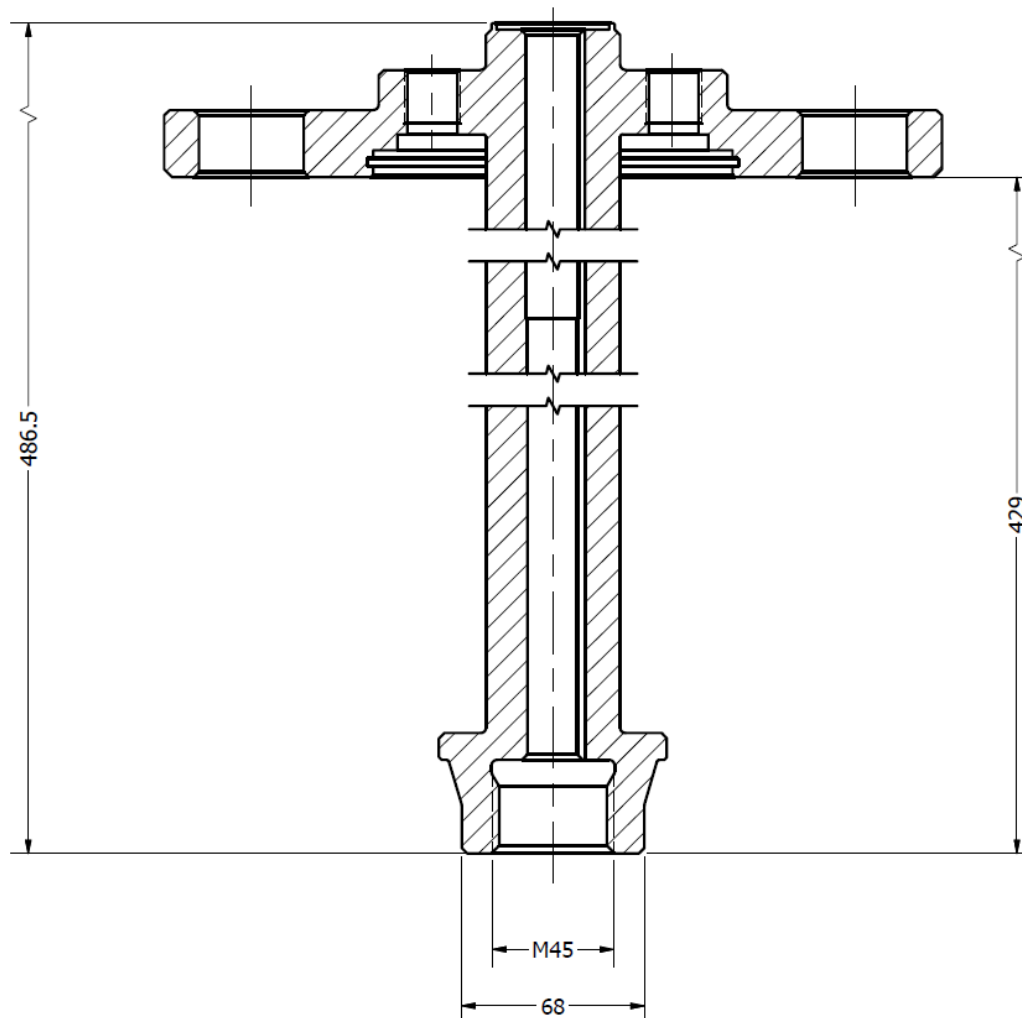
Obrázek 29 – náhled přípravku –  
varianta 2 – VVER 440

Tento lepený spoj je nutné zkompletovat před zavedením přípravku do nátrubku. Spoj je možné realizovat konvenčně používanými lepidly, určenými pro lepení pryžových materiálů.

### 3.7 Podrobný popis přípravku

#### 3.7.1 Těleso přípravku

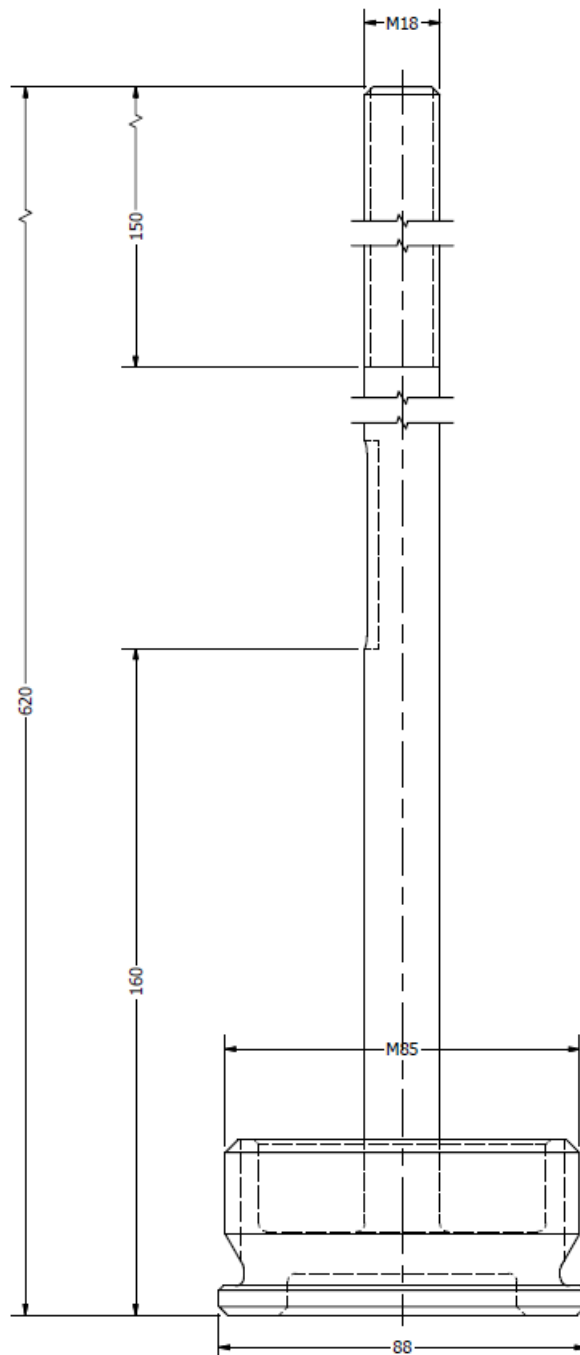
Celková délka tělesa přípravku (Obrázek 30), která činí 429 mm od spodní plochy příruby, je dostatečná na to, aby pokryla co největší možnou část vnitřní válcové plochy nejmenších nátrubků na vnějším okraji víka reaktoru. Tato délka musela být optimalizována podle typu reaktoru VVER 440, jelikož jeho nátrubky jsou kratší než u typu VVER 1000 a přípravek nesmí tuto délku, která činí v minimálním případě 574 mm přesáhnout. Těleso přípravku je v horní přírubové části opatřeno dvěma sadami děr. Na jedné roztečné kružnici se nachází 6 průchozích děr pro typ VVER 1000 a na druhé kružnici je 6 průchozích děr pro vložku potřebnou pro VVER 440. Vnitřní průměr trubice, kterou prochází šroub je opatřen drážkou pro pero. Spodní část tělesa přípravku má miskový tvar. Vnější plocha je válcová, o průměru 68 mm, na kterou navazuje 17 mm dlouhý rozšiřující se kužel o úhel 16,4 °. Vnitřní plocha této miskové části je opatřena metrickým závitem M45, pro sešroubování s vrchní těsnicí vložkou. Tato součást je vyrobena z nerezové oceli ČSN 17 240 [18].



Obrázek 30 – TĚLESO PŘÍPRAVKU – náhled výkresu

### 3.7.2 Šroub

Skrze těleso přípravku je protažen šroub (viz Obrázek 31), jehož spodní část je zakončena miskovitým tvarem s opěrnou dosedací plochou pro dotažení hlavní těsnící manžety a vnějším metrickým závitem M85 ČSN 01 4013, Na spodní straně. Na horní straně je šroub opatřen závitem M18 o délce 150 mm, což stačí k dotažení přípravku i po vložení všech vložek pro typ VVER 440. Celková délka tohoto šroubu tedy činí 620 mm. Šroub je dále opatřen drážkou pro těsné pero ve vzdálenosti 160 mm od spodního okraje šroubu. Drážka je osazena těsným perem – PERO 6e7 × 6 × 50 ČSN 02 2562. Šroub je taktéž vyroben z materiálu ČSN 17 240 (nerezová ocel) [18].

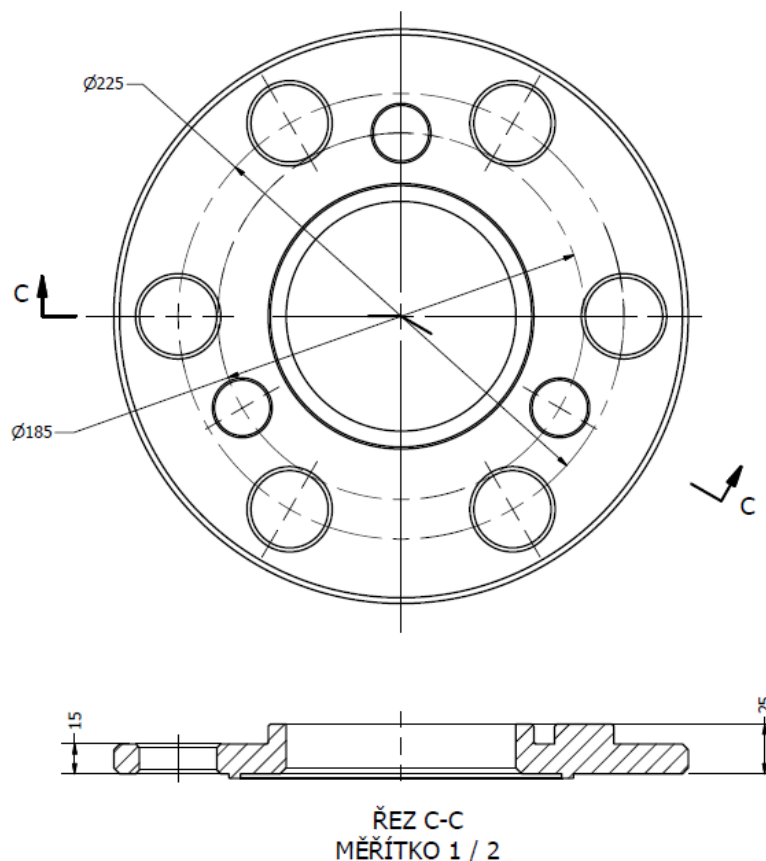


Obrázek 31 – ŠROUB – Náhled výkresu

### 3.7.3 Přířubová vložka VVER 440

Aby byl přípravek použitelný i pro nátrubky reaktoru typu VVER 440, musí do něj být přidány součásti na změnu průměru, připojovacích a zatěšňovacích rozměrů. To zajišťuje soustava vložek, které se do přípravku musí vložit pro použití na nátrubku typu VVER 440. Ve směru osy, je první od shora přířubová vložka pro VVER 440 (Obrázek 32). Tato součást se vkládá pod přírubu tělesa přípravku, a umožňuje změnu rozteče děr z průměru 185 mm na průměr 225 mm. Navíc současně zaslepuje původní díry v tělese přípravku z typu VVER 1000. Vložka je negativem ke spodnímu zahloubení příruby tělesa přípravku, a je zde odstupňované zahloubení. Na prvním stupni zahloubení obvodová válcová plocha radiálně stlačuje přířubový O-kroužek. Materiál přířubové vložky je také nerezová ocel ČSN 17 240 [18].

Pro snadnější usazení vložky do tělesa přípravku a zamezení pootočení, je vložka opatřena třemi kruhovými výstupky, které jsou rozmístěny po 120 ° na roztečné kružnici děr z typu VVER 1000, do kterých zapadají.

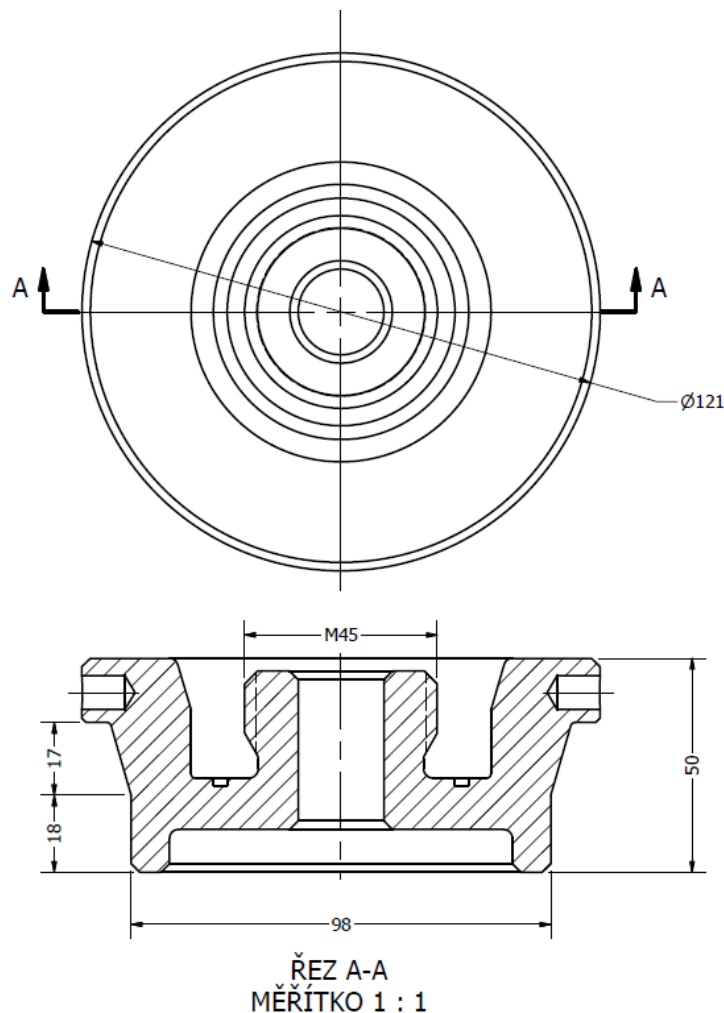


Obrázek 32 – PŘÍRUBOVÁ VLOŽKA – náhled výkresu

### 3.7.4 Těsnící vložka VVER 440

Další součástí z rozšíření přípravku pro typ nátrubku reaktoru VVER 440 je spodní těsnící kuželová vložka (Obrázek 33) o celkové výšce 50 mm. Účel této součásti je zvětšit rozměry tělesa přípravku z 68 mm na 98 mm pro natažení hydraulické manžety a vytvořit tak stejné podmínky pro utěsnění jako u typu VVER 1000. Vložka má miskový tvar, a její vnější plocha má podobný tvar jako spodní část tělesa přípravku. Vnější plocha je válcová, dlouhá 18 mm, a navazuje na ni rozšiřující se kužel pod úhlem  $16^\circ$  o délce 17 mm [18].

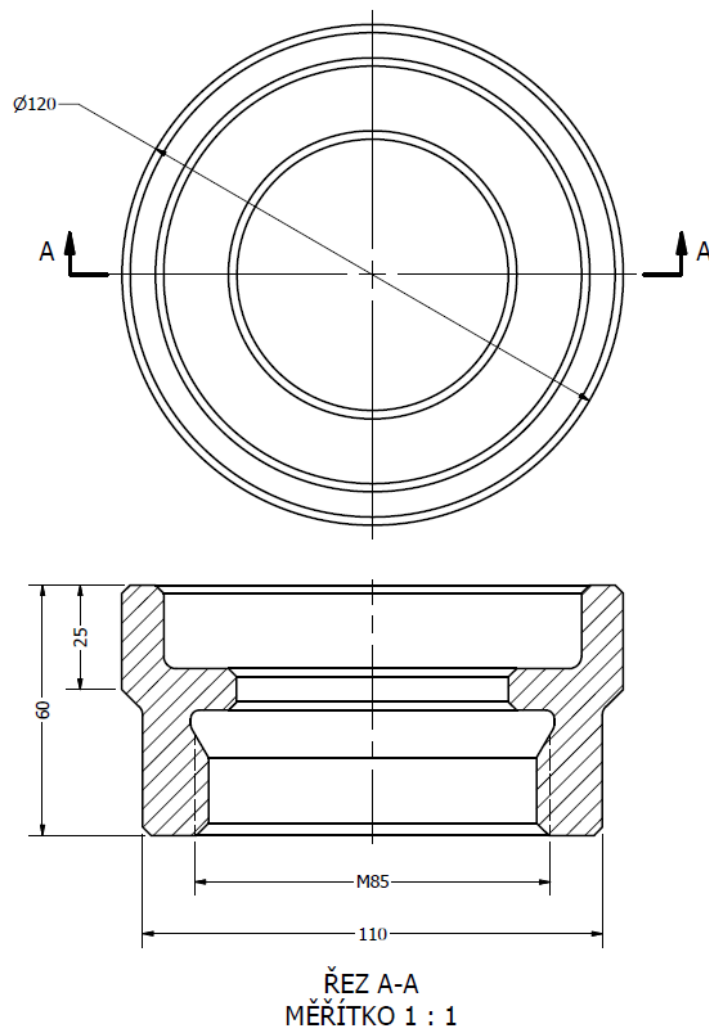
Ve středu vložky se nachází rozšířený náboj s dostatečným průměrem pro průchod šroubu, na které je vnější válcová plocha s metrickým závitem M45 ČSN 01 4013, pro sešroubování tělesa přípravku s touto vložkou. Na dně vnitřku součásti se nachází drážka pro spodní O-kroužek stlačovaný axiálně tělesem přípravku a touto vložkou. Nad vnějším kuželem je osazení, které tvoří největší rozměr vložky, o průměru 121 mm. V této válcové ploše s délkou 15 mm jsou proti sobě umístěny dva otvory pro utahování součásti do tělesa přípravku. Celá součást je průchozí, aby skrze ni mohl být protažen šroub. I pro tuto součást jsem zvolil materiál ČSN 17 240 – nerezová ocel [18].



Obrázek 33 – TĚSNÍCÍ VLOŽKA – náhled výkresu

### 3.7.5 Příkladná vložka VVER 440

Tato součást zastává stejnou funkci, jako spodní část šroubu u typu nátrubku VVER 1000, jen s většími rozměry kvůli hydraulické manžetě přípravku na typ VVER 440. Vložka má tvar redukované trubky s celkovou výškou 60 mm a největším průměrem 120 mm přecházejícím po 25 mm vzdálenosti na 110 mm (Obrázek 34). Na vnitřní válcové ploše užší části se nachází metrický závit M85 ČSN 01 4013 pro sešroubování se spodní částí šroubu. Širší část této součásti je tvarována stejně jako přítlačná plocha spodní šroubové části k nasunutí hydraulické manžety na kužel u typu nátrubku VVER 1000. Materiálem přírubové vložky je nerezová ocel ČSN 17 240 [18].

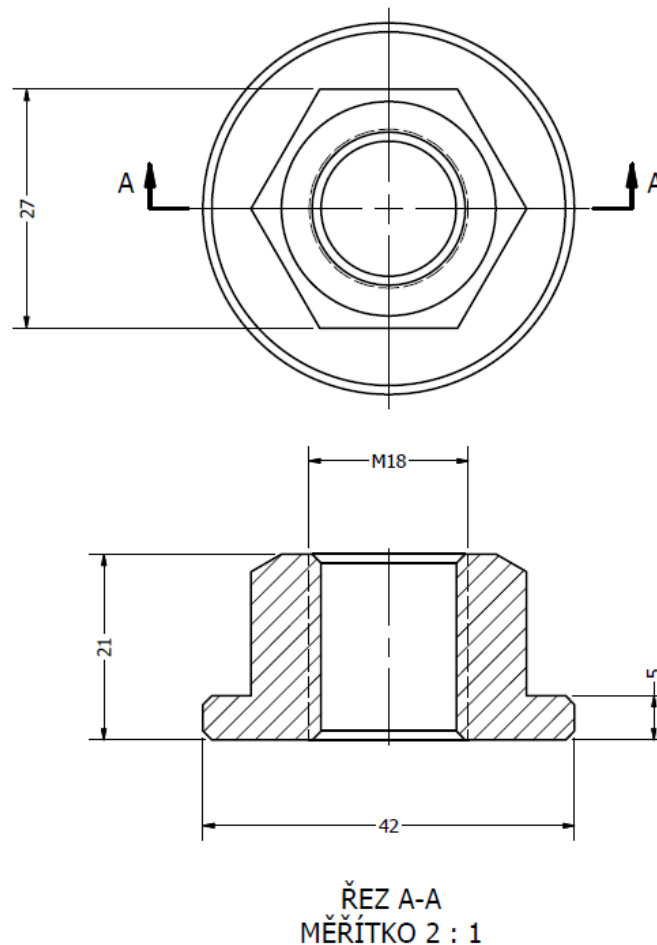


Obrázek 34 – PŘÍTLAČNÁ VLOŽKA – náhled výkresu



### 3.7.6 Matice M18

Nenormalizovaná součást, opatřená závitem M18 ČSN 01 4013, uložená na vrcholu přípravku, která slouží k utahování středového šroubu. Matice má šestiúhelníkový tvar, stejně jako normalizované matice, je však součástí kruhové podložky o průměru 42 mm a výšce 5 mm, která je usazená na axiální válečkové kleci (Obrázek 35). Výška celé matice je 21 mm a zkosení na horní ploše matice je 2 mm pod úhlem 30 °. Tato součást je vyrobena z materiálu ČSN 11 373 [18].



Obrázek 35 – MATICE M18 – náhled výkresu

### 3.7.7 Normalizované součásti

- Axiální válečková klec: ISO 104:2002 [19]
- Hydraulické manžety: 70×85×12,5/11,5 AU95-DIN MA28  
100×120×16/15 AU95-DIN MA39 [15]
- O-kroužky: 135×2,5 NBR80  
56×2,5 NBR80 [13]
- Těsné pero: 6e7×6×50 ČSN 02 2562 [18]

## 4 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo vypracování konstrukčního návrhu přípravku pro provedení lokální tlakové zkoušky částí nátrubků vík reaktorů VVER 440 a VVER 1000. Tento přípravek byl navržen pro společnost ŠKODA JS, a.s., která pomocí něj realizuje zkoušky svarů nátrubků po provedení jejich případných oprav.

Při provozu jaderných reaktorů se jejich části tímto provozem časem opotřebují, proto je při plánovaných pravidelných odstávkách nutno provést kontrolu různých částí reaktoru a při zjištění jakéhokoliv poškození se musí součásti opravit nebo vyměnit. To je případ nátrubků, kterými jsou opatřeny víka reaktorů typu VVER. Při zjištění opotřebení nebo vzniklé vady v materiálu je nutné nátrubek oddělit a navařit novou část, opatřenou přírubou v horní části. Po této opravě následuje kontrola spoje, nejprve ultrazvukovou nebo rentgenovou zkouškou, a následně se spoj zkouší při vysokém tlaku (19,12 MPa resp. 24,5 MPa).

Aby mohla být tlaková zkouška provedena, je nutné nátrubek zajistit proti úniku tlaku vody v horní přírubové části, a zároveň ve spodní válcové části, k čemuž byl navržen přípravek v této práci. Trubicovitý přípravek se vloží do zkoušeného nátrubku a připevní se pomocí šroubových spojů. Po zafixování přípravku v horní přírubové části se šroubovým tělesem procházejícím jeho středem utěsní spodní válcová část nátrubku. To je provedeno vzájemným pohybem jednotlivých součástí přípravku proti sobě, a tím dojde k navlečení vložené pryžové manžety na kuželovou plochu přípravku a k její následné deformaci.

Jelikož bylo zapotřebí provádět tlakovou zkoušku na dvou různých typech reaktorů, tj. i nátrubků, bylo výhodné navrhnout přípravek jako univerzální. Návrh jsem provedl ve třech různých variantách, z nichž jsem jako nejvhodnější vyhodnotil variantu č. 3. Tato varianta sestávala ze základního tělesa přípravku a šroubového tělesa, které byly společné pro oba typy nátrubků. Jako výchozí jsem vybral nátrubek z reaktoru VVER 1000, jelikož jsou jeho rozměry menší. Pro druhý typ reaktoru byla sestava přípravku opatřena jednotlivými vloženými elementy, které sloužily ke změně zatěsňovacích rozměrů. Pro každý typ nátrubku jsem vybral hydraulickou manžetu, která zajišťuje samotné zatěsnění. Zbytek obou sestav tvoří většinou normalizované součásti, které jsou nezbytné pro správnou funkci přípravku.

Dalším úkolem bylo provést pevnostní výpočet dílů a jejich následnou kontrolu. Jelikož je geometrie navržených součástí složitá, zvolil jsem místo konvenčního výpočtu analýzu pomocí MKP. Samotné těleso přípravku má dutý trubicovitý tvar a působí na něj vysoký hydrostatický tlak, který by ho mohl značně deformovat, proto bylo nutné kontrolovat především tuto součást. Pro těleso jsem provedl analýzu z hlediska normálového napětí a posunutí. Dále jsem provedl MKP analýzu hydraulické manžety z hlediska normálového napětí a poměrné deformace, při jejím dotažení. Zjištěné parametry, jako maximální napětí, poměrná deformace a maximální posunutí, jsem vyhodnotil jako vyhovující.

Při zatěsnění přípravku na válcové ploše nátrubku hydraulickou manžetou by se mohlo stát, že po provedení zkoušky a povolení přípravku by mohla zdeformovaná manžeta zůstat zatěsňená, a přípravek by se pak nepodařilo vyndat. Z tohoto důvodu jsem řešil dvě různé varianty uvolňovacího mechanismu. Po zhodnocení jsem zvolil druhé řešení, které je založeno na principu lepeného spoje na stykové ploše manžety a dosedací ploše přípravku.

Navržené konstrukční řešení vyhovuje všem zadaným požadavkům na výrobu, smontovatelnost a funkčnost. Přípravek prošel MKP analýzou a prokázal dostatečnou pevnost a tuhost pro použití při těchto tlakových zkouškách. Veškerá výkresová dokumentace se nachází v přílohách této práce.

## 5 Použitá literatura

- [1] Profil společnosti. *Škoda JS a. s.* [online]. Plzeň: FG Forrest, a.s, 2019 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.skoda-js.cz/cs/o-spolecnosti/profil-spolecnosti.shtml>
- [2] *ŠKODA JS a.s.* [online]. Plzeň: 2020 ŠKODA JS, 2020 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.skoda-js.cz/>
- [3] Hlavní milníky historie. *Škoda JS a. s.* [online]. Plzeň: FG Forrest, a.s, 2019 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.skoda-js.cz/cs/o-spolecnosti/hlavni-milniky-historie.shtml?fbclid=IwAR12xp1Tb5QD0HYpNN1ilmNT9IrTNWdDHqUGNOI0mvnLoAUgxDE7woMpxZo>
- [4] Škoda JS plánuje stejné tržby jako loni, tedy kolem 4,7 mld. Kč. In: *ATOM INFO.cz: Aktuálně o jádru* [online]. Atominfo.cz, 2016, 10.5.2018 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://atominfo.cz/2018/05/skoda-js-planuje-stejne-trzby-jako-loni-tedy-kolem-47-mld-kc/>
- [5] Jaderný reaktor. In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha: FG Forrest, a. s, 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k35.htm>
- [6] Jaderný reaktor: Obecná konstrukce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%BD\\_reaktor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%BD_reaktor)
- [7] Výstavba nových bloků VVER. *Škoda JS a. s.* [online]. Plzeň: FG Forrest, a.s, 2019 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.skoda-js.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/investicni-inzenyring/vystavba-novych-bloku-vver.shtml>
- [8] Model reaktora VVER. *Javys: Informačný servis* [online]. Bratislava: Simopt. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.javys.sk/sk/informacny-servis/energeticky-slovník/V/vver>
- [9] Komplet reaktoru VVER 440. In: *DOCPLAYER* [online]. 2020, 2011 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/41446958-Studium-radiacniho-poskozeni-nadoby-reaktoru-vver-440-jaderne-elektrarny-dukovany.html>
- [10] Schéma reaktoru VVER-1000. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/VVER#/media/Soubor:Wver-1000-scheme.png>
- [11] Modernizace a rekonstrukce provozovaných bloků VVER. *Škoda JS a. s.* [online]. Plzeň: FG Forrest, a.s, 2019 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.skoda-js.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/investicni-inzenyring/rekonstrukce-provozovanych-bloku-vver.shtml>
- [12] *Hodnocení kvality svarového spoje: Teoretický úvod k cvičení z předmětu Technologie I* [online]. Praha [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/105/def-kontrola-sv.pdf>. Učební text. ČVUT v Praze.
- [13] O-kroužek NBR 80 ShA 22,4x3,55 Rubena. *ProPrumysl.cz: Prodej technického sortimentu* [online]. ShopSys®, 2019 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://proprumysl.cz/o-krouzek-22-4x3-55-nbr80-rubena/>
- [14] Statická těsnění. In: *HENNLICH TĚSNĚNÍ* [online]. Litoměřice, 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: [https://tesneni.hennlich.cz/uploads/O\\_krou%C5%BEky\\_tech\\_info\\_1\\_10.pdf](https://tesneni.hennlich.cz/uploads/O_krou%C5%BEky_tech_info_1_10.pdf)

- [15] Těsnicí prvky: Výrobní podklad. In: *Těsnicí prvky* [online]. Náchod: Rubena, 2014, s. 19-27 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://eshop.rubena.cz/Files/flash/rubena-old/Tesnici-prvky\\_2015\\_CZ.pdf](https://eshop.rubena.cz/Files/flash/rubena-old/Tesnici-prvky_2015_CZ.pdf)
- [16] *Obráběná těsnění: Zakázková výroba podle požadavků zákazníka* [online]. In: © SKF Group, 2016, s. 16-29 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://www.arkov.cz/getattachment/e285083f-9bb1-4719-abd7-4665be333d7e/Obrabena-tesneni-SKF-\(CZ\)?fbclid=IwAR39tBh-xuamir2SzvHCxjMbVyT119vq-58B5UzJKQsRQEAzRKDX3qUHung](https://www.arkov.cz/getattachment/e285083f-9bb1-4719-abd7-4665be333d7e/Obrabena-tesneni-SKF-(CZ)?fbclid=IwAR39tBh-xuamir2SzvHCxjMbVyT119vq-58B5UzJKQsRQEAzRKDX3qUHung)
- [17] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části*. Praha: Computer Press, 1999. Edice strojaře. ISBN 80-722-6055-3.
- [18] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [19] *Axiální válečková ložiska* [online]. In: © SKF Group, s. 864-875 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.trioloziska.cz/fotky29559/6000-Axialni-valeckova-loziska.pdf>

## 6 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 – Historické snímky společnosti ŠKODA JS, a.s. [2] .....	12
Obrázek 2 – Šachta reaktoru EPR vyrobená pro francouzskou společnost Areva [4] .....	13
Obrázek 3 – Ilustrace řezu reaktoru typu VVER [8] .....	15
Obrázek 4 – Ilustrace řezu reaktoru typu VVER 440 [9] .....	16
Obrázek 5 – Ilustrace reaktoru typu VVER 1000 [10] .....	16
Obrázek 6 – Výkres sestavy reaktorového víka a nátrubků (VVER 440) [archiv ŠKODA JS a.s.] .....	18
Obrázek 7 – Reaktorové víko s nátrubky (VVER 1000) [archiv ŠKODA JS a.s.] .....	19
Obrázek 8 – Výkres nátrubku VVER 440 [archiv ŠKODA JS a.s.] .....	19
Obrázek 9 – Výkres nátrubku VVER 1000 [archiv ŠKODA JS a.s.] .....	19
Obrázek 10 – Varianta 2 – Univerzální TĚLESO PŘÍPRAVKU .....	22
Obrázek 11 – Varianta 2 – Sestava přípravků pro nátrubky VVER 1000 .....	23
Obrázek 12 – Varianta 2 – Sestava přípravků pro nátrubky VVER 440 .....	23
Obrázek 13 – Náhled obrázků a tabulek pro volbu o-kroužků [14] .....	25
Obrázek 14 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – normálové napětí – náhled 1 .....	26
Obrázek 15 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – normálové napětí – náhled 2 .....	27
Obrázek 16 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – normálové napětí – detailní náhled polohy maxima .....	27
Obrázek 17 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – posunutí – náhled 1 .....	28
Obrázek 18 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 440 – posunutí – náhled 2 .....	28
Obrázek 19 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – normálové napětí – náhled 1 .....	29
Obrázek 20 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – normálové napětí – náhled 2 .....	30
Obrázek 21 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – normálové napětí – detailní náhled polohy maxima .....	30
Obrázek 22 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – posunutí – náhled 1 .....	31
Obrázek 23 – TĚLESO PŘÍPRAVKU VVER 1000 – posunutí – náhled 2 .....	31
Obrázek 24 – SESTAVENÍ TĚLO PŘÍPRAVKU, MANŽETA, ŠROUB – simulace dotažení manžety – normálové napětí (VVER 1000) .....	32
Obrázek 25 – SESTAVENÍ TĚLO PŘÍPRAVKU, MANŽETA, ŠROUB – simulace dotažení manžety v řezu – poměrná deformace (VVER 1000) .....	33
Obrázek 26 – náhled přípravku – varianta 1 – VVER 1000 .....	34
Obrázek 27 – náhled přípravku – varianta 1 – VVER 440 .....	34
Obrázek 28 – náhled přípravku – varianta 2 – VVER 1000 .....	35
Obrázek 29 – náhled přípravku – varianta 2 – VVER 440 .....	35
Obrázek 30 – TĚLESO PŘÍPRAVKU – náhled výkresu .....	36

Obrázek 31 – ŠROUB – Náhled výkresu.....	37
Obrázek 32 – PŘÍRUBOVÁ VLOŽKA – náhled výkresu .....	38
Obrázek 33 – TĚSNÍCÍ VLOŽKA – náhled výkresu .....	39
Obrázek 34 – PŘÍTLAČNÁ VLOŽKA – náhled výkresu .....	40
Obrázek 35 – MATICE M18 – náhled výkresu .....	41
Tabulka 1 – VVER 440 – Hodnoty napětí ve vybraných bodech.....	28
Tabulka 2 – VVER 440 – Hodnoty posunutí ve vybraných bodech.....	29
Tabulka 3 – VVER 1000 – Hodnoty napětí ve vybraných bodech.....	31
Tabulka 4 – VVER 1000 – Hodnoty posunutí ve vybraných bodech.....	32

## 7 Seznam příloh

Výkresy sestavy:

- 001 – SESTAVA VVER 440
- 002 – SESTAVA VVER 1000

Výrobní výkresy:

- 003 – TĚLESO PŘÍPRAVKU
- 004 – PŘÍRUBOVÁ VLOŽKA VVER 440
- 005 – ŠROUBOVÉ TĚLESO
- 006 – PŘÍTLAČNÁ VLOŽKA VVER 440
- 008 – TĚSNÍCÍ VLOŽKA VVER 440
- 011 – MATICE M18