

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba jaderně energetických zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VVER1000 – Modernizace přírubových spojů v oblasti zátky pohonu LKP-M

Autor: **Bc. Pavel FRYAUF**
Vedoucí práce: **Ing. Jan Zdebor, CSc.**
Konzultanti: **Ing. Jiří Pedál**
 Ing. Pavel Macák, Ph.D.

Akademický rok 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel FRYAUF**
Osobní číslo: **S11N0036P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba jaderně energetických zařízení**
Název tématu: **VVER1000 - Modernizace přírubových spojů v oblasti zátky pohonu LKP-M**
Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V konstrukci pohonu LKP-M jsou v oblasti zátky dva přírubové spoje, jejichž obsluha během odstávky reaktoru přímo ovlivňuje dobu odstávky (kritická cesta).

Účelem práce je navrhnout nové konstrukční řešení obou přírubových spojů s cílem sdružení do jednoho spoje s ohledem na jeho jednoduchost a robustnost.

Součástí práce bude i posouzení nové koncepce konstrukčního provedení čidla ukazatele polohy, které by umožňovalo demontáž čidla z pohonu LKP-M bez nutnosti odtlakování primárního okruhu reaktoru.

Máte za úkol:

1. Provést analýzu stávajícího řešení obou uzlů ve Škoda JS, definici cílových požadavků modernizace.
2. Vypracovat návrhy variant modernizovaného provedení spojů se zaměřením na materiálový a konstrukční návrh.
3. Provést technicko-ekonomické zhodnocení (výběr konstrukčního řešení).
4. Provést výpočet pevnosti přírubového spoje.
5. Závěr - shrnutí výsledků.

Rozsah grafických prací: 1 - 2 výkresy A2
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70 stran A4
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

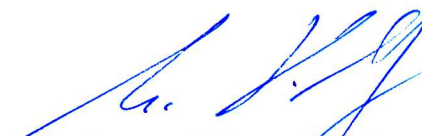
- Bečvář J. a kol.: Jaderné elektrárny, SNTL Praha, 1981
- Lamarsh J. R., Baratta A. J.: Introduction to Nuclear Engineering, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, 2001
- Rusjakov V. G. a kol.: Uplotnitelnyje ustrojstva razjemnyh sojediněnij oborudovanija reaktornych ustanovok VVER, Akademkniga, Moskva, RF, 2004
- Technická dokumentace LKP-M, ŠKODA JS a.s.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Zdebor, CSc.**
ŠKODA JS a.s., Plzeň
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Pedál**
ŠKODA JS a.s., Plzeň
Ostatní konzultanti: **Ing. Pavel Macák, Ph.D.**
ŠKODA JS a.s., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **5. listopadu 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Jiří Polanský, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 1. listopadu 2012

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 :

.....

podpis autora

Poděkování

- Ing. Janu Zdeborovi, CSc. za vedení diplomové práce.
- Ing. Jiřímu Pedálovi za užitečné rady při návrhu konstrukčních variant a ochotný přístup při poskytování informací.
- Ing. Pavlu Macákovi, Ph.D. za rady poskytnuté k pevnostnímu výpočtu.
- RNDr. Josefu Voldřichovi, CSc. za pomoc s pevnostním výpočtem a množstvím rad k práci s programem ANSYS.
- Mým rodičům a blízkým za podporu během studií.

Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě autorské smlouvy a se souhlasem Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Fryauf	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	2302T041-0 „Stavba jaderně energetických zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení Ing. Zdebor , CSc.	Jméno Jan	
PRACOVIŠTĚ	ŠKODA JS a.s., Plzeň		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	VVER1000 – Modernizace přírubových spojů v oblasti zátky pohonu LKP-M		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN

CELKEM	80	TEXTOVÁ ČÁST	65	GRAFICKÁ ČÁST	15
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Cílem této diplomové práce je navrhnout nové konstrukční řešení přírubových spojů v oblasti zátky lineárního krokového pohonu pro jaderný reaktor typu VVER-1000. Na začátku práce je popsán princip a způsoby řízení jaderných reaktorů. Dále je uveden popis současného provedení lineárního krokového pohonu pro reaktor VVER-1000 od společnosti ŠKODA JS a.s. . V praktické části práce jsou uvedeny návrhy nového konstrukčního řešení. Pro vybranou variantu je proveden výpočet základních rozměrů. Také je provedeno vyhodnocení kategorií napětí (σ)₁ a (σ)₂ dle normy NTD A.S.I. . Většina uvedených informací byla získána z odborné literatury a technické dokumentace společnosti ŠKODA JS a.s. .</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	lineární krokový pohon, řídicí tyče, pevnostní výpočet, kontrolní výpočet, jaderný reaktor, lehkovodní reaktor, konstrukční návrh

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Fryauf	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	2302T041-0 „Nuclear Power Equipment Design“		
SUPERVISOR	Surname Ing. Zdebor , CSc.	Name Jan	
INSTITUTION	ŠKODA JS a.s., Plzeň		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	VVER1000 - Modernization of flanged joints in the drive plugs of LKP-M		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Design of Power Machines and Equipment	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES

TOTALLY	80	TEXT PART	65	GRAPHICAL PART	15
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The purpose of this thesis is to devise a new design of flanged joints in plug area of linear stepper drive for nuclear reactor type VVER-1000. At the beginning of this thesis are described principles and methods of controlling nuclear reactors. Furthermore is described the execution of the current version of linear stepper drive for VVER-1000 reactor developed by company ŠKODA JS a.s. . In the practical part of the thesis are presented proposals for a new design solutions. For the selected option is executed calculation of basic dimensions. The evaluation of stress categories $(\sigma)_1$ and $(\sigma)_2$ is also executed in accordance to the NTD A.S.I. standard. Most of the information was obtained from literature and technical documentation of company ŠKODA JS as .</p>
KEY WORDS	linear stepper drive, control rods, strength calculation, control calculation, nuclear reactor, light water reactor, engineering design

Obsah

Obsah	5
Přehled použit zkratk, symbolů a značení	7
1 Úvod	10
2 Regulace jaderného reaktoru.....	11
2.1 Jaderný reaktor jako regulovaný objekt.....	11
2.2 Způsoby regulace a kompenzace reaktorů	12
2.2.1 Řídící tyče	12
2.2.2 Změna vlastností moderátoru	14
2.2.3 Vyhořívající jedy (absorbátory)	15
2.3 Koncepční provedení řídicích tyčí	16
2.3.1 Absorpční části řídicích tyčí.....	16
2.3.2 Pohony řídicích tyčí	18
3 Pohon LKP-M pro VVER-1000.....	23
3.1 Konstrukční provedení sestavných částí pohonu	23
3.1.1 Pouzdro pohonu.....	24
3.1.2 Blok elektromagnetů	24
3.1.3 Blok zdvihání	25
3.1.4 Závěsná tyč.....	25
3.1.5 Ukazatel polohy.....	26
3.2 Popis činnosti pohonu LKP-M.....	27
3.3 Analýza přírubových spojů v oblasti zátky pohonu	29
3.3.1 Spoj pouzdra a zátky pohonu	30
3.3.2 Spoj zátky pohonu a příruby ukazatele polohy	31
3.3.3 Cílové požadavky modernizace.....	32
3.4 Posouzení nové koncepce provedení čidla ukazatele polohy	33
4 Konstrukční návrhy variant	34
4.1 Varianta 1	34
4.2 Varianta 2	35
4.3 Varianta 3	36
5 Výběr konstrukční varianty.....	38
6 Pevnostní výpočet zvolené varianty.....	40
6.1 Výchozí parametry pro výpočet.....	40
6.1.1 Materiály a dovozená napětí	40
6.1.2 Zkušební tlak	42
6.2 Návrh základních rozměrů	42
6.2.1 Válcová část pouzdra pohonu	42
6.2.1.1 Nezeslabená stěna.....	42
6.2.1.2 Stěna zeslabená vybráním pro uchycení bloku zdvihání.....	44
6.2.1.3 Stěna zeslabená zápichem pro pero bandáže	45
6.2.2 Určení sil ve šroubech	46
6.2.2.1 Návrh průměru šroubů bajonetu	47
6.2.2.2 Výpočet utahovacího momentu šroubů bajonetu	47
6.2.3 Kontrola pera bandáže.....	48
6.2.4 Kontrola rozměrů bajonetu.....	50
6.2.4.1 Výpočet listu bajonetu	50
6.2.4.2 Kontrola ozubů bajonetu	51
6.2.5 Výpočet tloušťky víka ukazatele polohy.....	52

6.2.6	Kontrola šroubů bandáže.....	53
6.2.7	Kontrola dosednutí styčných ploch ve spoji.....	54
6.3	Kontrolní výpočet	55
6.3.1	Výpočtový model	55
6.3.2	Okrajové podmínky	57
6.3.3	Vyhodnocení kategorií napětí	58
7	Popis detailů konstrukčního řešení	59
7.1	Konstrukční řešení	59
7.1.1	Pojištění proti povolení a pootočení.....	59
7.1.2	Prvky umožňující montáž.....	60
7.2	Výrobní postup.....	60
8	Závěr	61
	Zdroje informací	62
	Literatura.....	62
	Dokumenty v elektronické podobě	63
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	65
	Seznam příloh.....	65

Přehled použit zkratek, symbolů a značení

veličina	rozměr	název
a	mm	šířka dělicího řezu bandáže
b	mm	efektivní šířka těsnění, výška pera bandáže, výška ozubu bajonetu
c	mm	celkový přídavek k tloušťce stěny
c ₁₁	mm	přídavek tloušťce stěny, vyrovnávající výrobní minusové tolerance tloušťky stěny
c ₂	mm	přídavek tloušťce stěny, vyrovnávající zmenšení tloušťky stěny vlivem všech druhů eroze a koroze
d _s	mm	nejmenší průměr dířku svorníku
d ₀	mm	jmenovitý průměr šroubů
d ₃	mm	malý průměr závitu
f	-	součinitel tření
h	mm	výška deformované části
h _f	mm	výpočtová výška listu příruby
m	-	součinitel těsnění
n _m	-	součinitel bezpečnosti vůči pevnosti v tahu
n _{0,2}	-	součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu
p	MPa	výpočtový tlak
p _h	MPa	zkušební tlak
p _{tl,z}	MPa	tlak při tlakové zkoušce na pevnost
p _o	MPa	styčný tlak
q _o	MPa	měrný tlak na těsnění při utažení svorníků
s	mm	jmenovitá tloušťka stěny
s _p	mm	hloubka ozubů bajonetu
s _R	mm	výpočtová tloušťka stěny
s ₁	mm	šířka stěny bajonetu
s _{1R}	mm	tloušťka plochého kruhového víka
x	-	součinitel uvažující pevnost těsnění v provozních
z	-	počet svorníků
A	mm ²	plocha deformované části
D	mm	jmenovitý vnitřní průměr válcové části pláště

D_{mt}	-	výpočtový průměr těsnění
D_R	mm	průměr víka
D_{ξ}	mm	roztečný průměr šroubů bajonetu
E	MPa	modul pružnosti v tahu
F_d	N	síla nezbytná k otláčení těsnění
F_p	N	výsledné síla ve svornících od výpočtového tlaku
F_{sp}	N	síla přenášená svěrným spojem
F_o	N	utahovací síla svorníků
F_{ow}	N	osová síla vytvořená utažením svorníků
F_2	N	síla zabezpečující těsnost při provozním tlaku
F_{2h}	N	síla zabezpečující těsnost při tlakové zkoušce
M_k	Nmm	utahovací moment
N	W	výkon reaktoru
$R_{p0,2}$	MPa	zaručená hodnota smluvní meze kluzu
R_m	MPa	zaručená hodnota pevnosti v tahu
T	°C	výpočtová teplota
T_h	°C	teplota hydraulické tlakové zkoušky
X, Y	mm	výpočtové parametry pro určení výšky listu příruby podmínkách
β	-	podíl zpožděných neutronů
ζ	-	součinitel pro utažení spoje
σ	MPa	normálové napětí
σ_m	MPa	prosté membránové napětí
σ_{red}	MPa	redukované napětí
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	MPa	hlavní napětí
$(\sigma)_1$	MPa	skupina kategorií prostých membránových napětí, představující redukované napětí, určené ze složek prostých membránových napětí
$(\sigma)_2$	MPa	skupina kategorií napětí, představující redukované napětí, určené ze součtu složek prostých nebo místních membránových a prostých ohybových napětí
$(\sigma)_{RV}$	MPa	rozkmit napětí u zařízení, představující rozkmit redukovaného napětí, určeného ze součtu složek membránových, ohybových a základních teplotních napětí

$[\sigma]$	MPa	jmenovité dovolené napětí
$[\sigma]_h$	MPa	jmenovité dovolené napětí pro tlakové zkoušky
$[\sigma]_w$	MPa	jmenovité dovolené napětí pro šrouby a svorníky
τ_s	MPa	smykové napětí ve střihu
λ	$\frac{mm}{N}$	poddajnost
μ	-	součinitel bezpečnosti pro posuv svěrného spoje
ρ	-	reaktivita
φ	-	výpočtový součinitel snížení pevnosti
φ_d	-	součinitel snížení pevnosti nevyztuženým otvorem

Zkratky:

BEM	blok elektromagnetů
BWR	varný reaktor
JE	jaderná elektrárna
JR	jaderný reaktor
LKP	lineární krokový pohon
LKP/M	lineární krokový pohon modernizovaný
PEM	přidržený elektromagnet
PWR	tlakovodní reaktor
RBMK	reaktor kanálového typu
RO	regulační orgán
TEM	tažný elektromagnet
UP	ukazatel polohy
VVER	vodo-vodní energetický reaktor
ZEM	záchytný elektromagnet
ZT	závěsná tyč
p.	pozice při popisu aktuálního obrázku

Indexy:

h	hodnota je udávána pro hydrozkoušku
T	hodnota je udávána pro zvýšenou teplotu
w	značí šroub

1 Úvod

Lidská společnost se během uplynulých dvou století výrazně změnila. Elektrická energie během tohoto procesu bezesporu hrála významnou roli. V dnešní době si již život bez elektřiny lze jen těžko představit. Pro budoucí rozvoj společnosti je nutné zajistit dostatečné množství energie, a to především té elektrické. Základním požadavkem na výrobu elektrické energie je její dostatečné množství. Aby to nebylo tak jednoduché, musí být dodávána spolehlivě a v požadovaném čase. Dalšími kritérii jsou minimální výrobní náklady a vliv na životní prostředí. Mnohé země světa vypracovaly různé strategie na splnění těchto požadavků. V zemích Evropské unie se jedná o zkombinování výroby elektrické energie z více druhů zdrojů. Bohužel je určen předepsaný podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, který nebere v potaz možnosti jednotlivých zemí z geografického hlediska. Tato politická (z)vůle vedla k špatně nastavené dotační politice vůči rádoby „ekologickým“ zdrojům energie a k deformaci trhu s elektrickou energií. Ač je to pro mnohé lidi těžko pochopitelné, vliv jednotlivých zdrojů energie na životní prostředí je nutné hodnotit komplexně, ne pouze ve fázi výroby elektřiny. Příkladem mohou být solární panely. Na jejich výrobu je zapotřebí velké množství energie a přírodních surovin. Obsahují množství těžkých kovů a způsob jejich likvidace v průmyslovém měřítku není stále ještě uspokojivě dořešen. Jaderná energetika, byť často proklamovaná jako neekologický zdroj, je jedním z nešetrnějších způsobů výroby elektřiny. Je potřebná její podpora a další vývoj technologií. U jaderných elektráren provozovaných v současné době je žádoucí zvyšování bezpečnostních standardů a zlepšování celkové efektivity výroby elektrické energie.

Cílem této práce je právě zvýšení efektivity, respektive zkrácení času odstávek při výměně jaderného paliva v reaktoru. K řízení reaktoru typu VVER-1000 jsou používány lineární krokové pohony. V jejich horní části se nalézají dva přírubové spoje. Jejich obsluha přímo ovlivňuje dobu odstávky. Úkolem diplomové práce je navržení nového konstrukčního řešení obou přírubových spojů. Cílem je vytvoření jednoho jednoduchého a robustního spoje. Vysoký důraz bude kladen na rozebiratelnost a rychlost montáže spoje během běžných odstávek reaktoru na výměnu paliva. Manipulace s daným spojem se provádí u všech 61 pohonů, jimiž jsou reaktory typu VVER-1000 vybaveny. Při daném rozsahu prováděných činností je i malé urychlení vítané.

Začátek práce je věnován jadernému reaktoru jako regulovanému objektu. Jsou uvedeny a popsány možné způsoby regulace, důraz je kladen především na konstrukční provedení řídicích tyčí. Dále je uveden popis lineárního krokového pohonu vyráběného ve společnosti ŠKODA JS a.s.. Řešené přírubové spoje jsou detailně popsány. V textu následuje podrobné definování cílů pro nové konstrukční řešení a popis jednotlivých variant. Je proveden základní výpočet zvolené varianty, včetně části kontrolního výpočtu na statickou pevnost dle NTD A.S.I. . Závěr práce je věnován popisu detailů navrženého konstrukčního řešení.

2 Regulace jaderného reaktoru

2.1 Jaderný reaktor jako regulovaný objekt

Jaderný reaktor je specifické zařízení odlišující se od ostatních určitými zvláštnostmi. Ty výrazně ovlivňují požadavky na jeho řízení, spolehlivost a bezpečnost. Je to dáno i tím, že jakákoli porucha na jaderném zařízení je veřejností vnímána velice kriticky a možné následky vážnější havárie mohou ovlivnit široké okolí elektrárny na dlouhá desetiletí.

Jaderný reaktor oproti většině energetických strojů, které přeměňují jeden druh energie na jiný, nelze v případě potřeby okamžitě zastavit přerušením přívodu primárního zdroje energie. Důvodem je, že primární energie je v reaktoru uložena ve formě paliva na víceletý provoz a průběžně se nepřivádí. Toto samozřejmě neplatí u reaktorů, kde je palivo průběžně měněno za provozu, například reaktory typu „Pebble Bed“ (i zde je ovšem určitá zásoba paliva). „Snížení výkonu jaderného reaktoru (tj. snížení rychlosti přeměny jaderné energie obsažené v jaderném palivu) je možné jen změnou neutronové bilance probíhající štěpné reakce.“ [4, přednáška 1] To zajišťují systémy kontroly a řízení pro regulaci reaktoru. Z toho důvodu je nutná spolehlivost a rychlost tohoto systému. Možné způsoby ovlivňování neutronové bilance, respektive reaktivity jsou uvedeny v podkapitole 2.2 . U reaktorů s kampaňovou výměnou paliva (část paliva je z jaderném reaktoru po určitém čase vyjmuta a nahrazena novým, čerstvým palivem) dochází během výměny k velkému vnosu reaktivity do aktivní zóny. Nově vnesená reaktivita se vlivem štěpení jednotlivých jader uranu nebo plutonia během chodu reaktoru pomalu snižuje. Její úbytek je tedy během celé kampaně nutné kompenzovat. Ve chvíli, kdy už není možné do reaktoru přivést další kladnou reaktivitu, tedy vykompenzovat snižování počtu jader štěpného materiálu v aktivní zóně, je nutné přistoupit k další výměně paliva.

Další neobvyklostí je vztah mezi řízenou veličinou, tedy výkonem reaktoru N a řídicí veličinou, kterou je reaktivita ρ . U většiny řízených objektů odpovídá nulové hodnotě vstupu i nulová hodnota výstupu, kdežto u jaderného reaktoru odpovídá nulové reaktivitě ustálený výkon N nastavené velikosti. „Je-li na vstupu reaktivita $\rho > 0$, byť konstantní, výkon N trvale (exponenciálně) stoupá, je-li $\rho < 0$, výkon jaderného reaktoru trvale klesá. Je tedy patrné, že regulace výkonu jaderného reaktoru se provádí malými odchylkami reaktivity ρ kolem její ustálené hodnoty, která se rovná nule.“ [4, p. 1] Toto nám umožňuje zvládnout regulaci výkonu jaderného reaktoru v obrovském rozsahu hodnot (až 12 řádů u běžných JR). Nároky na regulační orgány jsou obdobné ať se jedná o regulaci na úrovni výkonu ve watech nebo kilowatech. Takto veliký rozsah řízených výkonů ovšem přináší velmi vysoké nároky na prostředky měření výkonu, respektive neutronového toku, neboť i malé zvýšení reaktivity může vést k výraznému, byť pomalému vzrůstu výkonu.

2.2 Způsoby regulace a kompenzace reaktorů

„Řízení výkonu jaderného reaktoru se provádí změnou reaktivity jeho aktivní zóny. U energetických tepelných reaktorů se na ni působí těmito hlavními způsoby:

- pohybem absorbátoru v aktivní zóně nebo reflektoru;
- pohybem paliva, moderátoru nebo reflektoru;
- změnou fyzikálních vlastností moderátoru, např. změnou jeho teploty, moderačních vlastností (posuv spektra) nebo absorpčních vlastností (přidávání rozpustných absorbátorů).“ [1, s. 307]

U různých typů reaktorů je možné používání pouze těch způsobů změny reaktivity, které jsou fyzikálně možné. Z výhodou se také využívá kombinace jednotlivých způsobů. Mezi základní požadavky na systémy regulace a ochrany reaktoru patří:

- možnost rychlé změny reaktivity potřebné k řízení výkonu reaktoru;
- kompenzace zásoby reaktivity na vyhořívání paliva v průběhu provozu;
- rychlost uvolňování reaktivity nesmí způsobit nekontrolovaný rozběh reaktoru;
- zabezpečení podkritičnosti u odstaveného reaktoru;
- schopnost spolehlivě a bezpečně odstavit reaktor ve všech projektových stavech, včetně projektových havárií, a posléze ho udržet v podkritickém horkém stavu libovolně dlouho.

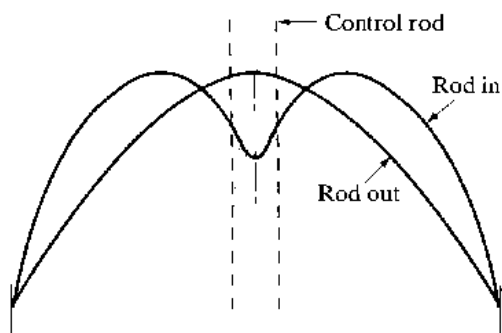
„Obecně můžeme říci, že systém ochrany a regulace reaktoru musí zajišťovat spolehlivé řízení a rychlé zastavení štěpné řetězové reakce pomocí minimálně dvou nezávislých systémů, z nichž každý musí být schopen uvést reaktor z libovolného provozního stavu do stavu podkritického a udržovat jej v tomto stavu při pracovní teplotě chladiva.“ [3, s. 32]
Dále v textu budou zmíněny způsoby regulace pro tepelné reaktory, a to především typu PWR (VVER).

2.2.1 Řídící tyče

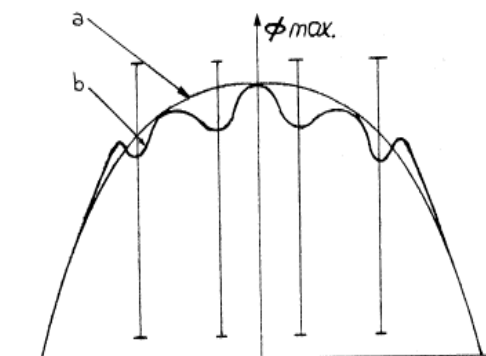
Jedná se o základní systém ovládní reaktivity. Ve své podstatě jde o absorbátory vysouvající se nebo zasouvající se do aktivní zóny reaktoru. Větším zasunutím řídicí tyče (absorbátoru) do aktivní zóny reaktoru s reaktivitou $\rho=0$ způsobíme, že se zvýší počet neutronů zachycených absorbátorem. Dochází ke snížení počtu neutronů v dalších neutronových generacích a tím i k postupnému snižování výkonu. Naopak vysutím řídicí tyče dojde ke snížení počtu pohlcovaných neutronů a k postupnému zvyšování výkonu reaktoru. Jako absorbátorů se prakticky může využít těchto prvků: gadolinium, samarium, europium, bór (přírodní nebo obohacený izotop B10), kadmium, hafnium a stříbro.

V praxi nejsou velké energetické reaktory ovládány pouze jednou řídicí tyčí, jak je naznačeno v popisu funkce tyčí, ale nalézá se jich tam celá řada. Fyzikálně by přítomnost jedné silně absorbující tyče vedla k nežádoucí deformaci neutronového toku v aktivní zóně,

respektive k nerovnoměrnému vývinu tepla. To je naznačeno na obrázku 1. Rovnoměrnější rozložení vytvořené větším počtem řídicích tyčí je naznačeno na obrázku 2 křivkou b.



Obr. 1 Deformace neutronového toku jednou silně absorbující tyčí [2, s. 309]



Obr. 2 Deformace neutronového toku větším počtem absorpčních tyčí [VI]

Z hlediska bezpečnosti je nepřijatelné, aby bezpečnost zajišťoval jediný řídicí orgán, který by v případě poruchy nebyl schopen zajistit bezpečné odstavení reaktoru. Také je vhodné zmínit, že všechny řídicí tyče nejsou určeny k bezprostřední regulaci, ale dle jejich funkce můžeme řídicí tyče rozdělit následovně:

- regulační;
- kompenzační;
- havarijní;
- vyrovnávací;
- zónové.

Regulační tyče slouží k provozní regulaci výkonu. Pro tento účel není nutné, aby tyče měly v sobě vázanou velkou reaktivitu. To by vedlo i k nutnosti vyšší přesnosti přestavování regulačních orgánů. „Maximální reaktivita, blokována orgánem automatické regulace, nemá přestoupit hodnotu $0,8\beta$ (kde β je podíl zpožděných neutronů). Charakteristická hodnota reaktivity, kterou blokují regulační orgány automatické regulace, jsou tedy zlomky procenta, tj. 0,3 až 0,5 %. Průměrná rychlost uvolňování reaktivity pro tyč automatické regulace bývá v rozmezí $0,02$ až $0,002 \text{ s}^{-1}$.“ [1, s. 308]

Kompenzační tyče mají za úkol kompenzovat postupné vyhořívání paliva v jaderném reaktoru. Tento proces je pomalý, a proto i nároky na rychlost přestavování kompenzačních tyčí jsou zhruba o dva řády nižší oproti tyčím regulačním. Naopak velikost vázané reaktivity těmito orgány může být velká a je silně závislá na způsobu výměny paliva. U průběžné výměny paliva je třeba kompenzovat pouze reaktivitu nově vkládaných palivových článků, neboť přebytečná reaktivita starších článků se postupně vyhoříváním snižuje. U kampaňové výměny paliva je nutné kompenzovat veškerou přebytečnou počáteční reaktivitu u celé vsázky mnohdy určené na několikaletý provoz reaktoru (např. u malých reaktorů určených k pohonu plavidel).

Havarijní tyče se používají k rychlému zastavení reaktoru. Jedná se o bezpečnostní prvek, a proto je snaha jejich pohyb zajistit bez přívodu vnější energie. U velkých energetických reaktorů se využívá volného pádu, pokud je to možné. V případě, že nelze zaručit polohu reaktoru (např. jaderné ponorky), nebo jsou havarijní tyče do aktivní zóny zasouvány zesponu, je využíváno nuceného zasouvání pomocí akumulace energie. Lze využívat vstřelování pomocí pružin nebo zasouvání písty, které jsou napájeny z tlakových akumulátorů. Velikost reaktivity vázané havarijními tyčemi musí být taková, aby uvedla reaktor do podkritického stavu za všech projektových okolností. Rychlost zasouvání havarijních tyčí musí být vysoká. Je to dáno snahou co nejrychleji reaktor zastavit a vyhnout se stavu, kdy by uvolněná reaktivita provázející pokles výkonu mohla způsobit dodatečně jeho opětovný růst. Za zmínku stojí skutečnost, že odezva reaktoru je dána jak velikostí vnesené záporné reaktivity havarijních tyčí, tak i rychlostí jejího vnosu. Reaktor tedy po pádu tyčí reaguje rychlým snížením výkonu následovaným jeho exponenciálním poklesem.

Vyrovnávací a zónové tyče se využívají u velkých aktivních zón. Úkolem vyrovnávacích tyčí je zrovnoměnit neutronový tok a tím i výkon jednotlivých kazet či palivových kanálů po poloměru reaktoru. U velkých reaktorů hrozí nebezpečí vzniku prostorových oscilací koncentrace xenonu. Ten vzniká jako štěpný produkt během provozu reaktoru. Jeho vysoký účinný průřez ovlivňuje neutronovou bilanci aktivní zóny. Změny koncentrace xenonu ovlivňují střednědobou kinetiku reaktoru s časovou konstantou zhruba 10 hodin. Úkolem zónových tyčí je možné xenonové oscilace potlačovat.

2.2.2 Změna vlastností moderátoru

Jedná se o poměrně výhodný způsob ovlivňování reaktivity a existuje několik důvodů pro jeho použití. Způsob ovlivňování moderačních schopností moderátoru se u různých typů reaktorů liší. Změny moderačních vlastností se může také využít pro havarijní odstavení reaktoru. U těžkovodních reaktorů se může například moderátor z aktivní zóny vypustit a tím se řízená štěpná reakce zastaví. Tlakovodní a varné reaktory využívají vstřikování rozpustného absorbátoru do aktivní zóny.

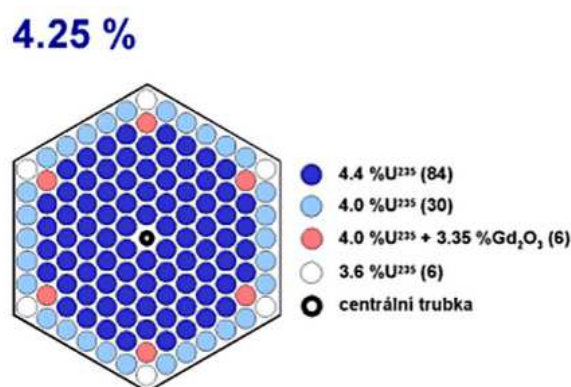
Fyzikální vlastnosti moderátoru můžeme měnit změnou jeho teploty, složení nebo absorpčních vlastností. U reaktorů těžkou vodou moderovaných s odděleným chladičem můžeme využít možnost změny teploty moderátoru úpravou intenzity jeho chlazení, popřípadě lze moderační schopnost upravit naředěním lehkou vodou, tento způsob je ovšem neekonomický. Varné reaktory lze regulovat pomocí změny hmotnostního průtoku chladiča, které zároveň složí jako moderátor. Pokud se průtok sníží, dochází k růstu poměrného množství parních bublin v chladiču. Tím se snižuje poměr jader moderátoru k jádrům uranu, a jelikož se jedná o soustavu podmoderovanou, dochází ke snížení kvality moderace a zvýšenému měrnému záchytu neutronů v konstrukčních materiálech. To vede k následnému poklesu reaktivity.

Tlakovodní reaktory využívají přidávání rozpustného absorbátoru do chladiva. Klasickým příkladem je využívání kyseliny borité (H_3BO_3). Koncentrace kyseliny borité ovlivňuje především koeficient využití tepelných neutronů. Výhodou rozpustných absorbátorů je, že jejich koncentrace je rovnoměrná v celém objemu aktivní zóny a nedochází tak k deformaci neutronového toku. Změnou koncentrace měníme reaktivitu vázanou v rozpustném absorbátoru. To nám umožňuje snížit počet kompenzačních tyčí v reaktoru. Vzhledem k vysokým nákladům na regulační tyče a jejich hnací mechanismy to vede ke snížení investičních nákladů. Zvýšenou koncentrací rozpustných absorbátorů lze zaručeně zajistit i minimální žádanou hodnotu podkritičnosti za odstávky. Koncentraci absorbátoru lze měnit v průběhu provozu tzv. vodovýměnou.

2.2.3 Vyhořívající jedy (absorbátory)

Jedná se o izotopy materiálů s vysokou absorpcí tepelných neutronů, které po absorbování neutronu přejdou na izotopy s naopak výrazně nižší absorpcí. Tohoto efektu se využívá u moderních paliv. Vyhořívající absorbátory u čerstvého paliva zvyšují hodnotu podkritičnosti při přepravě a skladování, což zvyšuje bezpečnost. Primárním cílem ovšem je kompenzace velké vnášené reaktivity čerstvým palivem do aktivní zóny. Použití vyhořívajícího absorbátoru snižuje nároky na kompenzaci úbytku reaktivity během provozu reaktoru i při zvýšení povoleného vyhoření jaderného paliva. Vyhořívající absorbátory jsou přímo přimíchávány do paliva a jsou tak součástí palivových kazet. Zpočátku má absorbátor vysokou absorpci neutronů, ale tím jeho koncentrace klesá a účinnost se snižuje. Toto umožňuje přechod na víceletý palivový cyklus (např. u JE Dukovany z tříletého na pětiletý) díky možnosti využití hlubšího vyhoření paliva. Je to výhodné z důvodu nutnosti výměny menšího počtu palivových kazet. To snižuje jak pořizovací náklady na nové palivo, tak i následné požadavky na skladování vyhořelého paliva snížením jeho množství. Vede i k částečnému urychlení běžných odstávek, protože z reaktoru je vyváženo méně kazet.

V současné době se na českých jaderných elektrárnách využívají palivové kazety, kde je část paliva obohacena gadoliniem, které je právě vyhořívajícím absorbátorem. Příklad takové kazety je znázorněn na obrázku 3, kde je kazeta pro JE Dukovany s průměrným obohacením uranu U^{235} na 4,25 %.



Obr. 3 Palivová kazeta pro VVER-440 s vyhořívajícími absorbátory [II]

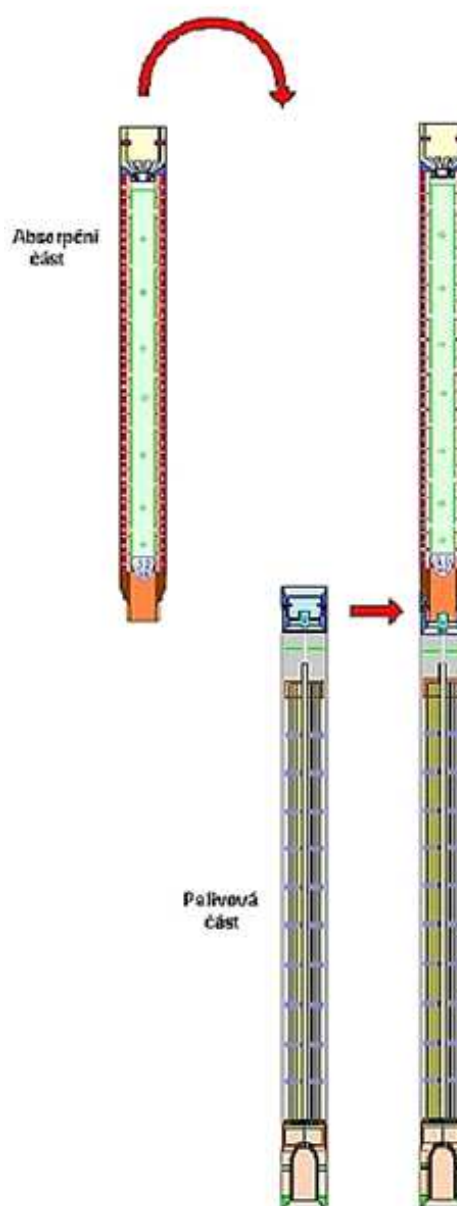
2.3 Koncepční provedení řídicích tyčí

2.3.1 Absorpční části řídicích tyčí

Absorpční část řídicí tyče je pracovní částí pro ovlivňování reaktivity v reaktoru. Podle jejich požadované funkce (regulační, kompenzační, zónové, vyrovnávací) se může složení a množství absorpčních prvků měnit, čímž se mění i vázaná reaktivita. Tvar absorpční části je závislý na konstrukčním řešení reaktoru. Dokonce i stejné typy reaktorů (ve smyslu fyzikálním) mohou mít odlišné tvary absorpčních částí. Nyní budou uvedena pouze některá vybraná řešení uspořádání.

Absorpční tyče tvaru palivové kazety

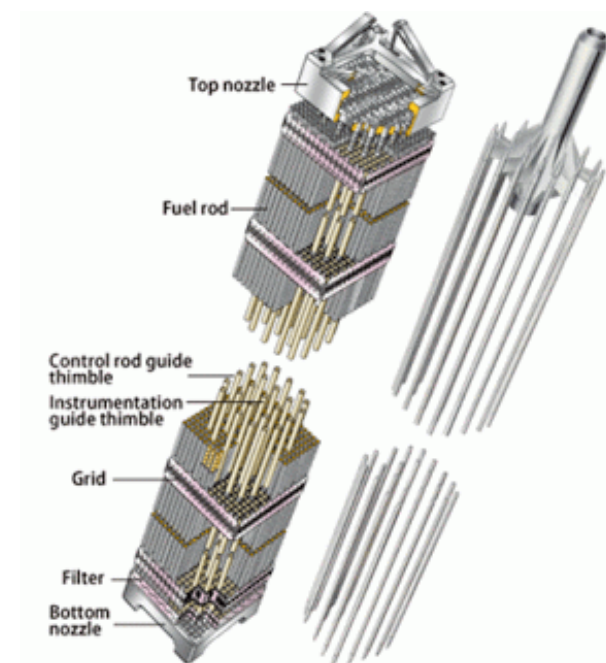
Celkové uspořádání absorpční části je koncepčně vyřešeno tak, že zaujímá celý profil jedné palivové kazety. To by ovšem způsobovalo velké nerovnoměrnosti neutronového toku jak při zasunutí, tak i vysunutí řídicí tyče (velký volný prostor). Tento problém je částečně řešen připojením části regulační kazety s palivem ke spodku části absorpční. Jedná se o tandemové uspořádání používané například u reaktorů VVER-440. Toto řešení je naznačeno na obrázku vpravo. Samotná regulace tak probíhá jednak zasouváním (vysouváním) absorbátoru a zároveň vysouváním (zasouváním) paliva do aktivní zóny. Můžeme tedy říci, že tento systém kombinuje dva možné způsoby regulace reaktivity. Jedná se absorpci neutronů a dále o vnos vázané reaktivity v palivu. Základní předpoklad pro možnost volného pádu v případě signálu havarijní ochrany je dokonale zachován. Nevýhodou zůstávají výrazné deformace neutronového toku v místě částečného zasunutí řídicích tyčí a vysoká hmotnost. Dále také nutnost prostoru o délce palivové tyče jak nad, tak i pod aktivní zónou reaktoru.



Obr. 4 Tandemové uspořádání regulační kazety [I]

Svazkové absorpční tyče

Jedná se o řešení, kdy je určitý počet malých válcových tyčí spojen na jednom konci, tzv. hlavici svazku, jak je patrné na obrázku 5. Absorpční pruty připojené k jedné hlavici se pohybují ve vodících trubičkách, k nimž jsou přivařeny distanční mřížky příslušné palivové kazety. Vodící trubičky jsou umístěny v místech vynechaných palivových proutků. Při plně vysunutém regulačním orgánu setrvává konec absorpčních prutů ve vodících trubičkách. Tímto řešením se vyhneme nutnosti navádění proutků do trubiček za provozu. Hlavice se skládá z náboje pro připevnění k pohybovému zařízení pohonu řídicí tyče a potřebného počtu žeber, ke kterým se připevňují absorpční proutky. V dolní části vodících trubiček je pomocí soustavy otvorů a lokálního zúžení vytvořen hydraulický tlumič sloužící ke zpomalení pohybu při havarijním pádu tyčí. Svazkové absorpční tyče byly zpočátku používány u západních typů reaktorů. Posléze toto řešení bylo použito i u reaktorů ruské provenience, přičemž docházelo i ke zdokonalování daného systému. Příkladem může být pružné uchycení absorpčních proutků v hlavici, které je znázorněno na obrázku 6. Tento způsob uchycení snižuje rázy, které vznikají například při havarijním pádu tyčí nebo i samotném pohybu pomocí lineárních krokových pohonů. Svazkové absorpční tyče jsou používány i u reaktorů typu VVER-1000. Jejich nespornou výhodou je nízká hmotnost. Ta snižuje namáhání pohonných jednotek a umožňuje využití již zmíněných lineárních krokových pohonů. Díky využití většího počtu absorpčních elementů s nízkou váhou vázané reaktivity dochází i k menším deformacím neutronového toku.



Obr. 5 Svazkové absorpční tyče [IV]

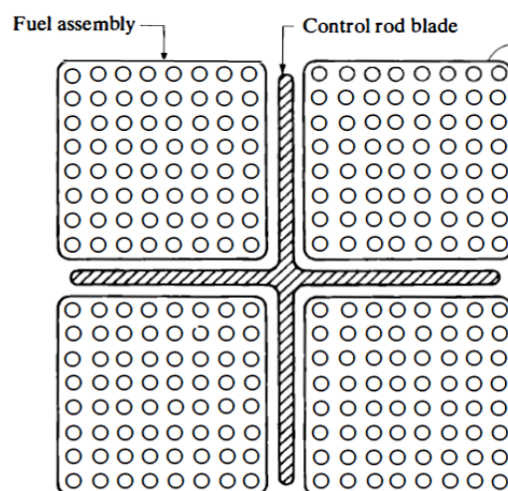


Obr. 6 Odpružené uchycení palivových proutků firmy OKB GIDROPRESS [I]

Absorpční tyče zasouvané mezi palivové články

Do této kategorie můžeme zahrnout řídicí tyče zasouvané do mezer mezi palivové kazety při těsném uspořádání mříže palivových elementů (varné reaktory) nebo i válcové tyče zasouvané do kanálů mezi mříží palivových článků s vlnou mříží. Druhý příklad je typickým řešením u reaktorů moderovaných grafitem nebo těžkou vodou.

U varných reaktorů se čtvercovou mříží se u absorpční části řídicí tyče využívá tvar dvou překřížených čepelí. To je znázorněno na obrázku 7. Pokud jsou použity šestihhrané kazety, má absorpční část tvar písmene Y. Čepele mohou být vyrobeny jako plný materiál pohlcující neutrony nebo jako duté obsahující práškový karbid bóru (B_4C). U varných reaktorů jsou pohony řídicích tyčí z důvodu složitých vestaveb pod víkem reaktoru umístěny ve spodní části tlakové nádoby.



Obr. 7 Tvar řídicích tyčí u varných reaktorů [2, s. 357]

2.3.2 Pohony řídicích tyčí

Pohonem řídicích tyčí můžeme nazývat celek složený z pohonného mechanismu a hnací jednotky. Úkolem celku je zajištění řízeného pohybu absorpční části řídicí tyče, který je nutný pro správnou funkci regulace reaktoru. Pohony musí splňovat celou řadu jak obecných, tak provozních a bezpečnostních požadavků. Některé z nich jsou:

- dostatečný pracovní zdvih;
- vyloučení samočinného vysouvání regulačního orgánu z aktivní zóny;
- zajištění věrohodné informace o poloze regulačního orgánu i po výpadku napájení;
- dodržování požadované rychlosti pohybu;
- schopnost přesného dosažení požadované polohy;
- spolehlivé spojení absorpční části s regulačním orgánem;
- zajištění těsnosti primárního okruhu v místech připojení regulačního orgánu;
- spolehlivost a rychlost reakce při vzniku signálu havarijní ochrany;
- pojištění proti vysunutí regulačního orgánu v případě ztráty hermetičnosti pohonu.

Existují různé koncepce řešení pohonů, jednotlivá řešení mají své pro a proti. Pohonné mechanismy lze umístit vně i uvnitř tlakového prostoru reaktoru. Umístění vně přináší vhodnější podmínky pro samotný pohon a jeho možnou údržbu. Nutností ovšem je spolehlivé těsnění členu, který pohon propojuje s absorpční částí. Bezpečnější zajištění hermetičnosti umožňuje vnitřní umístění pohonu. Ten se ovšem musí vyrovnat s prostředím chladicího média a špatným mazáním.

Mezi základní typy regulačních mechanismů patří :

- elektromagnetické;
- elektromechanické;
- hydraulické;
- pneumatické.

Vybrané principy budou popsány převážně na reálném provedení.

Elektromagnetické pohony

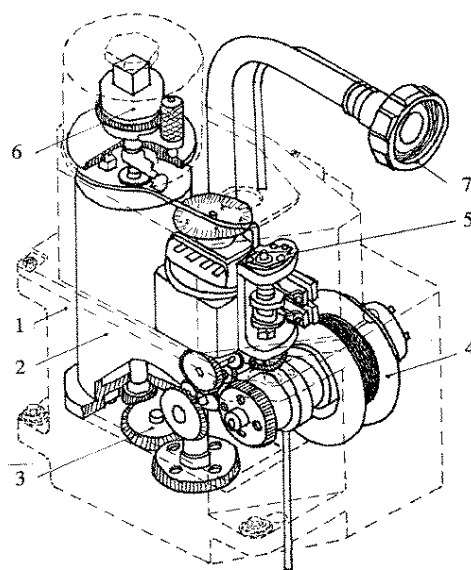
Jedná se o lineární krokové pohony. Pohyb je zajišťován mechanickými prvky, které jsou ovládány pomocí magnetického toku. Zabírají relativně malý prostor a mají jednoduchou konstrukci bez převodů. Tření mezi prvky uvnitř pohonu je minimální. Mezi nevýhody můžeme zahrnout menší tažnou sílu a možnost pohybu pouze po krocích, jež jsou dány konstrukcí. Převážně se využívají u tlakovodních reaktorů napříč všemi výrobci. Používají se i u reaktoru VVER-1000 či AP 1000. Funkce lineárního krokového pohonu vyráběného ve společnosti ŠKODA JS bude popsána společně s konstrukcí v následující kapitole.

Elektromechanické pohony

U těchto pohonů dochází k transformaci rotačního pohybu hnacího motoru na pohyb posuvný pomocí pohybového mechanismu. Z něj je následně tento pohyb převeden na absorpční část. Během transformace pohybu může být zajišťována požadovaná rychlost a tažná síla pomocí převodů. Změna druhu pohybu je vykonávána uvedenými kinematickými dvojicemi.

Lanko navíjené na buben

Jedná se o systém používaný u ruských reaktorů RBMK (lehkou vodou chlazený, grafitem moderovaný reaktor) kanálového typu. Pohon je ukázán na obrázku 8. Zpočátku se na buben opravdu navíjelo lanko, u modernější verze tohoto pohonu je používána ocelová páska z důvodu vyšší životnosti. K pohánění se používá stejnosměrný motor (pozice 2 na obrázku) napájený pomocí konektoru (p. 7). K motoru je připevněna elektromagnetická spojka. Přes převodovku (p. 3) je pohyb přenášen na buben (p. 4).

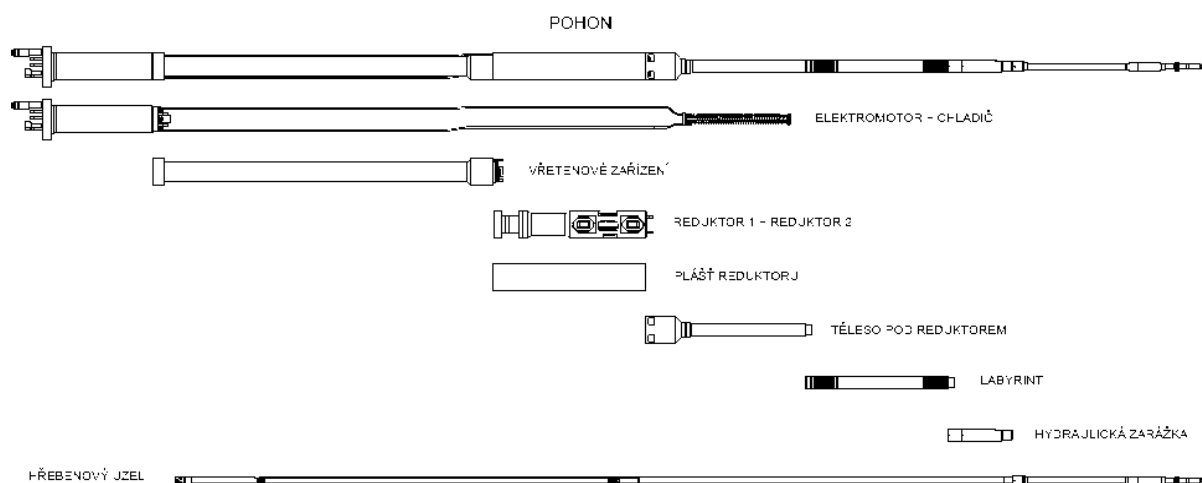


Obr. 8 Pohon regulačních tyčí reaktorů typu RBMK [V]

Snímání polohy je vyřešeno pomocí selsynu (p. 5). Pohon umožňuje i manuální ovládání (p. 6). Kontrola napjatosti lanka je prováděna pomocí mikropsínačů. Nevýhodou je prodlužování lana a tím pádem složité určování pozice regulačního orgánu.

Hřebenová tyč s pastorkem

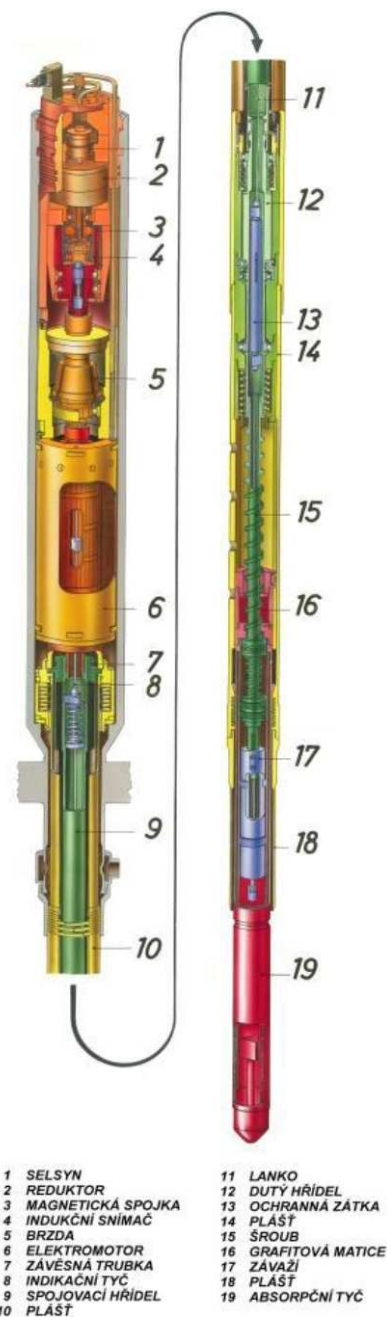
Tento princip je použit u novějšího provedení reaktoru VVER-440. Na obrázku 9 je pohon používaný u reaktoru VVER-440/V-213. Tento typ je poháněn synchronním reakčním motorem. K motoru je připevněno vřetenové zařízení s dutým vřetenem přenášející rotační pohyb mezi motorem a reduktorem. Jeho součástí je i odstředivý regulátor otáček zpomalující pád v havarijním režimu. V reduktoru nejprve dochází k převedení rotačního pohybu mimo osu pohonu a dále pomocí kuželového soukolí na pastorek. Otáčení rotačních částí je zajištěno pomocí valivých ložisek z nerezavějící oceli. Pod reduktorem se nachází těleso, v němž je umístěn chladič. Ten je pomocí dvou drážek v místě motoru a následně trubiček napájen chladicí vodou. Chladič zajišťuje požadovanou provozní teplotu pro reduktor. Stator motoru je chlazen vodou procházející v drážkách kolem něj. Dále se v pohonu nachází labyrint zabraňující volné cirkulaci vody s vyšší teplotou do prostoru pohonu. Nakonec je k pohonu připojena hydraulická záračka. Ta by v případě vzniku netěsnosti zablokovala válcovou tyč hřebenového uzlu pomocí kuliček zaklíněných mezi tyč a kuželové pouzdro. Kuličky jsou do záběru tlačeny pomocí pístu, na který by působil tlakový gradient způsobený netěsností. Sledování polohy regulačního orgánu je prováděno pomocí snímače polohy umístěného na horní přírubě motoru. Snímač polohy funguje na principu zvýšení úrovně výstupního signálu indukčních cívek v případě, že se v jejich blízkosti vyskytne kovové jádro. Pohyb jádra je zajištěn pohybovým šroubem připojeným přes zubovou spojku přímo k rotoru motoru pohonu.



Obr. 9...Hlavní části pohonu reaktoru VVER-440/V-213 [I]

Dvojice šroub a matice.

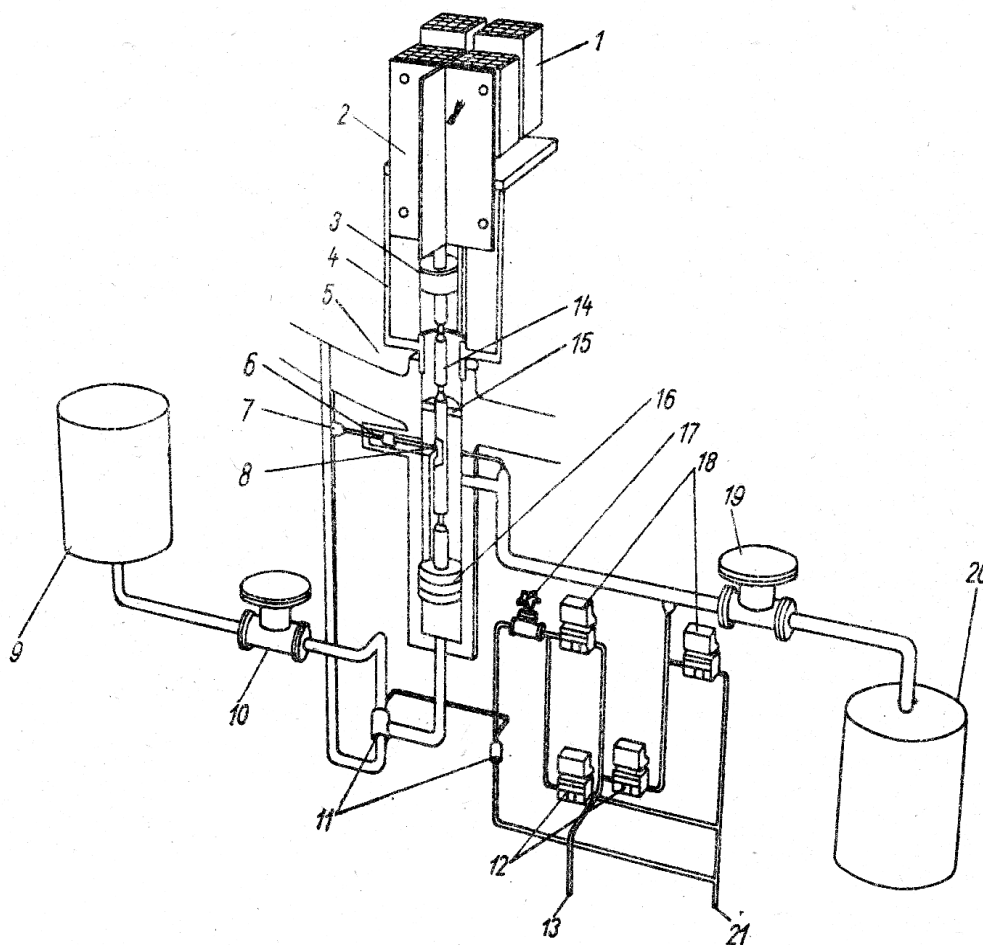
V tomto případě může rotační pohyb vykonávat jak šroub tak i matice s tím, že posouvající se člen je aretován proti otáčení. Vlivem tření dochází ke značnému opotřebení. „Používá se buď dvojice materiálů s dobrými kluznými vlastnostmi (např. grafit-ocel), nebo dvojice s valivým třením pomocí obíhajících kuliček.“ [1, 3. 313] Dvojice šroubu a kuličkové matice bylo využito u starších provedení reaktorů VVER-440. U 1. československé jaderné elektrárny A1 byla použita grafitová matice poháněná pomocí pohybového šroubu z nerezavějící oceli. Pohon je vyobrazen na obrázku 10. K pohánění byl použit synchronní reaktivní motor s možností asynchronního spouštění. Umožňoval plynulé řízení otáčet pomocí změny napájecího napětí. K jeho chlazení se používal kysličník uhličitý. Sledování polohy absorpční části řídicí tyče bylo řešeno použitím selsynu.



Obr. 10 Pohon řídicí tyče elektrárny A1 [I]

Hydraulické pohony

Ve své podstatě se jedná o hydraulické servopohony. Tyto typy pohonů se používají u varných reaktorů. Z důvodu složitých vestaveb pod víkem varného reaktoru jsou pohony umístěny na spodku tlakové nádoby. Schématické provedení je znázorněno na obrázku 11. Tlakovým médiem pro ovládání servopohonu je stlačené a přefiltrované chladivo reaktoru, které má vyšší tlak než je tlak provozní uvnitř reaktoru. Při zasouvání absorpční části řídicí tyče do reaktoru jsou ventily zdvihání (p.18) otevřeny. Ovládací medium může z přívodu (p.13) proudit pod píst a voda nalézající se nad pístem do výpusti (p. 21). Po provedení pohybu o požadovanou výšku jsou ventily zdvihání opět zavřeny a píst (p.16) stojí v dané poloze (tento popis není úplně přesný, neboť pro stání v předepsané poloze je nutné zajistit malý přívod ovládacího média z důvodu netěsností pístu). Při vysouvání proces probíhá obdobně, pouze se otevírají ventily pro posuv dolů (p. 12). Při signálu havarijní ochrany jsou otevřeny havarijní ventily (p. 10 a 19). Tlaková voda se z hydroakumulátoru (p. 9) natlačí pod píst a voda z prostoru nad pístem je vypouštěna do nádrže vypouštění při havárii (p. 20).



Obr. 11 Schéma hydraulického pohonu řídicích tyčí varného reaktoru [1, s. 318]

3 Pohon LKP-M pro VVER-1000

V této kapitole bude popsán modernizovaný lineární krokový pohon M2 s ukazatelem polohy UP-2 pro reaktory typu VVER-1000. Jedná se o výkonný člen systému ochrany a řízení reaktoru. Svoji konstrukcí má za úkol ve vztahu k regulačnímu orgánu (RO) zajišťovat tyto funkce:

- přemísťovat RO do zadané polohy;
- udržovat RO v zadané poloze;
- indikovat polohu RO;
- zajistit pád RO v případě signálu havarijní ochrany;
- zamezit samovolnému vysouvání RO z aktivní zóny při porušení těsnosti pohonu.

Části pohonu, které mohou přijít do styku s chladivem primárního okruhu, jsou konstruovány pro následující parametry vody:

- teplota 20 - 350°C
- absolutní tlak 0,098 – 17,65 MPa
- absolutní tlak při tlakové zkoušce 24,5 MPa po dobu 10 minut;
- absolutní tlak při těsnostní zkoušce 19,6 MPa.

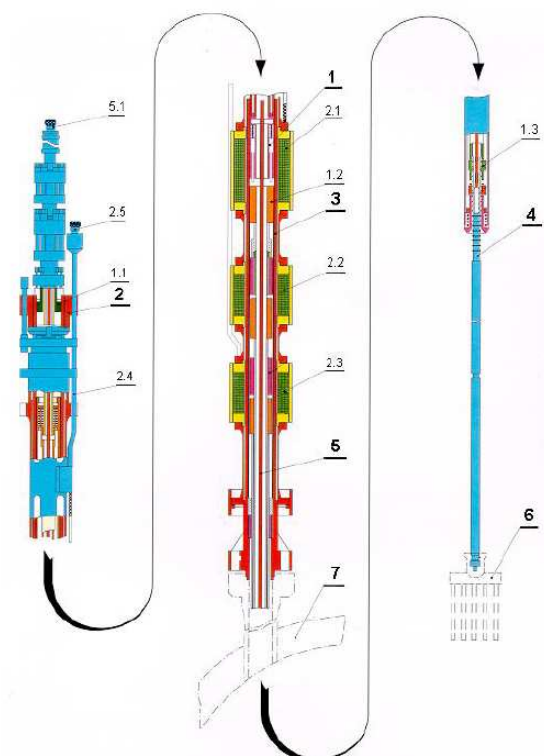
Celková konstrukce pohonu je složitá a popis všech částí by byl dlouhý. Z toho důvodu budou v následující podkapitole popsány pouze jednotlivé celky pohonu.

3.1 Konstrukční provedení sestavných částí pohonu

Na obrázku vpravo je vyobrazen lineární krokový pohon. Mezi hlavní části pohonu patří:

- pouzdro pohonu (p. 3);
- blok elektromagnetů (p. 2);
- blok zdvínání (p. 1);
- závěsná tyč (p. 4);
- ukazatel polohy (p. 5).

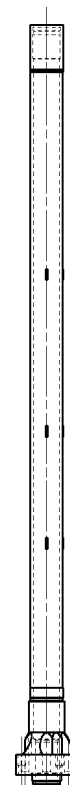
K závěsné tyči je připojena absorpční část (p. 6) řídicí tyče. Samotný pohon je umístěn nad reaktorem na nátrubku víka reaktoru.



Obr. 12 LKP-M ŠKODA [I]

3.1.1 Pouzdro pohonu

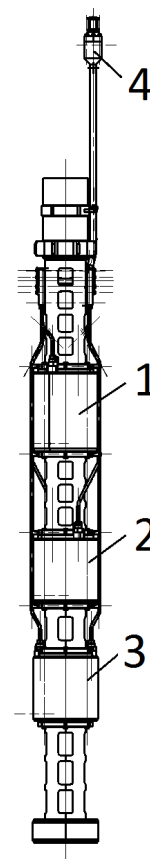
Jedná se o nosný prvek celého pohonu. Jeho tvar je patrný z obrázku 13. Upevňuje se k němu blok zdvýchání (vnitřní část pohonu) a blok elektromagnetů (vnější část pohonu). Zabezpečuje hermetičnost primárního okruhu v prostoru nad víkem reaktoru. K nátrubku víka reaktoru je pouzdro přichyceno pomocí šesti svorníků M 27 a těsněno dvojicí těsnění z expandovaného grafitu. Vnější průměr příruby je 228 mm. Pouzdro pohonu je svařeno ze dvou částí. Svar se nachází nad osazením pro vystředění bloku elektromagnetů. Vrchní část pohonu je těsněna zátkou pohonu a niklovým těsněním. Tento spoj bude podrobně popsán v oddíle 3.3.1. Střední část pohonu tvoří trubka o vnějším průměru 120 mm s vývrtem 97 mm. K ní jsou přivařeny distanční destičky o tloušťce 1 mm. Ty slouží k centrování bloku elektromagnetů. Maximální vnější průměr na horní části pouzdra pohonu, přes kterou se přetahuje blok elektromagnetů, je 123,5 mm.



Obr 13
Pouzdro pohonu

3.1.2 Blok elektromagnetů

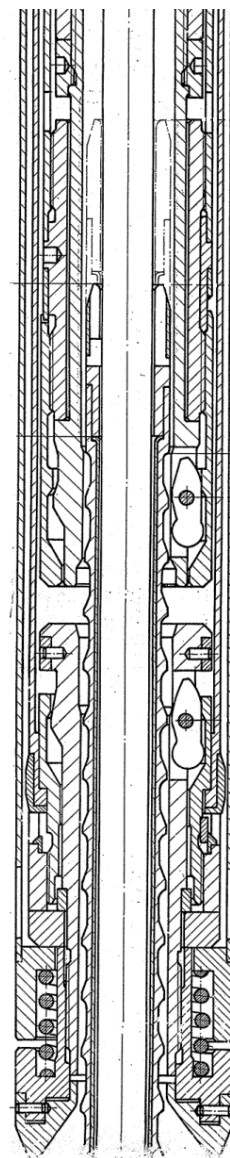
Blok elektromagnetů (obrázek 14) je navlečen na pouzdro pohonu. Skládá se ze tří elektromagnetů, horní je tažný (p. 1), střední záchytný (p. 2) a dolní přídržný (p. 3). Elektromagnety jsou mezi sebou propojeny kovovými mezikusy pomocí šroubů zašroubovaných do těla elektromagnetů a jsou napájeny přes konektor (p. 4). Kably jsou vedeny v trubkách, které jsou stejně jako elektromagnety hermeticky utěsněny. Úkolem elektromagnetů je zajištění tažné síly na kotvy mechanismu bloku zdvýchání, respektive energie k pohybu závěsné tyče s regulačním orgánem. Tento proces je realizován pomocí elektromagnetického pole, které působí na kotvu bloku zdvýchání v blízkosti elektromagnetu. Na horním díle bloku elektromagnetů je vytvořen opěrný prstěnek. Ten slouží k omezení pohybu pohonu vůči hornímu bloku reaktoru v případě seismické události.



Obr. 14 Blok
elektromagnetů

3.1.3 Blok zdvihání

Jedná se o mechanickou část pohonu, která zajišťuje posuvný pohyb závěsné tyče, její setrvání v zadané poloze a havarijní pád. V případě netěsnosti pohonu zaručuje zablokování pohybu závěsné tyče vzhůru. Blok zdvihání je zavěšen uvnitř pouzdra pohonu pomocí trubky pružinového závěsu a zátky pohonu. Pružinový závěs tlumí rázy vytvářené chodem pohonu. Pro případ nadměrného rozkmitání je závěs vybaven dorazy. Součástí bloku zdvihání je trojice kotev a dvě skupiny západek (jejich detail je na obrázku 15). Kotvy jsou propojeny se západkami pomocí trubkových táhel, nosičů západek a zavíracích pouzder západek. Horní dvě kotvy ovládají vrchní západky. Vybuzením záchytného elektromagnetu dojde k sevření tažných západek k závěsné tyči, při vybuzení tažného elektromagnetu jsou tažné západky vytaženy vzhůru o velikost kroku (20 mm). Přídržný elektromagnet ovládá spodní západky. Při jeho vybuzení dojde jak k sevření závěsné tyče přídržnými západkami, tak i k jejich následnému nadzdvihnutí o 3 mm. Přímočarý pohyb závěsné tyče je vytvářen zavíráním, zdviháním a otevíráním západek v určitém pořadí. Princip funkce pohonu bude popsán v podkapitole 3.2 .



Obr. 15 Detail západek bloku zdvihání [14]

3.1.4 Závěsná tyč

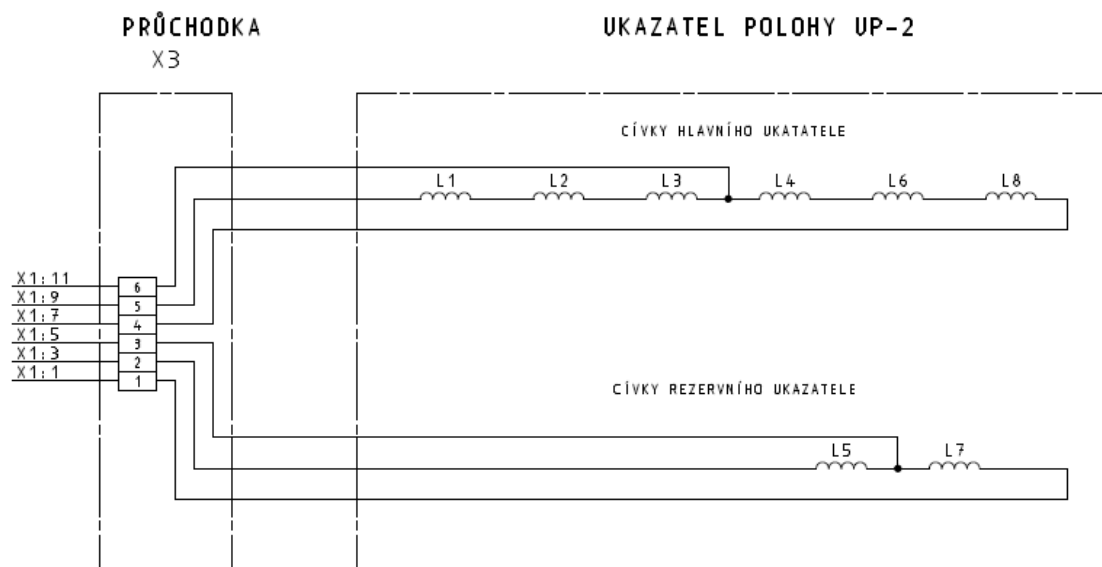
Závěsná tyč přenáší pohyb vytvořený v bloku zdvihání na absorpční část řídicí tyče. Je prostrčena skrze blok zdvihání, prochází blokem ochranných trub v reaktoru a pomocí bajonetového závěsu je spojena s hlavicí klastru. V horní části závěsné tyče jsou vytvořena vybrání po 20 mm (délka kroku pohonu), do kterých zapadají západky bloku zdvihání (viz obrázek 15). Uvnitř horní části je též bočník, jehož polohu dokáží snímat cívky ukazatele polohy. V dolní části závěsné tyče je pružinový tlumič rázů, již zmíněný bajonet a táhlo s pojišťovacím trnem. Ten slouží jako pojistka proti pootočení bajonetu závěsné tyče a následnému odpojení klastru. V horní části závěsné tyče a táhla jsou drážky pro klíče, jimiž se ovládá bajonet. Drážky v závěsné tyči slouží i pro její vyjímání z pohonu.

3.1.5 Ukazatel polohy

Ukazatel polohy slouží k nezávislému zjišťování polohy závěsné tyče. Skládá se z hlavního ukazatele polohy (6 cívek rozdělených do dvou bloků) a rezervního ukazatele polohy (dvě cívky), který slouží k indikaci dolní koncové polohy. Zapojení cívek je ukázáno na obrázku 16. Cívky ukazatele polohy jsou umístěny v ochranném kanále z trubičky 18x2,5. Jejich přesná pozice je dána propojením koster cívek, na které jsou navinuty, a trubiček mezi nimi. Prostor ochranného kanálu je naplněn héliem a hermeticky uzavřen. Součástí kanálu je vrchní příruba, která se přitěsňuje k zátce pohonu. Tímto spojem je pohon uzavřen shora. Ukazatel polohy je prostrčen do pohonu. Dutá část závěsné tyče s bočником se pohybuje okolo spodní části ukazatele polohy v místech umístění cívek.

Indikace polohy závěsné tyče probíhá v celé délce pracovního zdvihu (3 500 mm) po zónách délky 350 mm. Při zdvihu závěsné tyče dochází k překrývání jednotlivých cívek ukazatele polohy bočником z magneticky měkké oceli a tím i změně jejich indukčnosti. Signál z cívek se přes hermetickou průchodku a konektor vyvádí do panelu ukazatele polohy, tam se vyhodnocuje. Signál cívek rezervního ukazatele polohy zpracovává panel dolní koncové polohy.

Přesná poloha závěsné tyče (potažmo regulačního orgánu) se po velikosti kroku (20 mm) sleduje a vyhodnocuje pomocí počítání impulsů jdoucích do ovládacích elektromagnetů. Výhodou čidla ukazatele polohy je, i přes nemožnost přesného určení polohy, nezávislost systému. Vyhodnocuje pouze nastalý fyzický stav polohy závěsné tyče. Při čítání impulsů může dojít k chybě, například vinou propadnutí tyče.



Obr. 16 Zapojení cívek ukazatele polohy [10]

3.2 Popis činnosti pohonu LKP-M

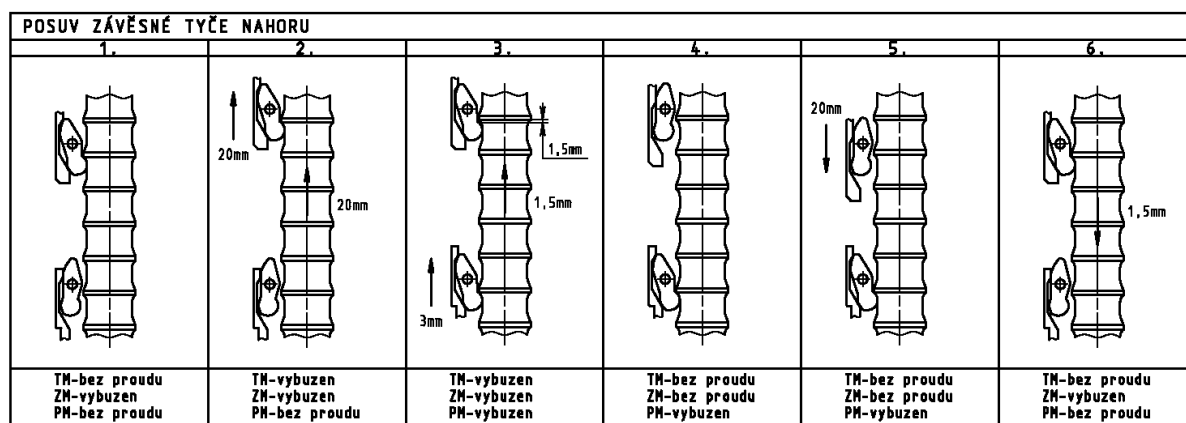
V následujícím textu bude uveden popis činnosti jednotlivých elektromagnetů a západek během činnosti pohonu v jednotlivých režimech chodu. Za výchozí stav budeme vždy považovat režim stání. V případě dějů probíhajících postupně jsou jednotlivé úkony řazeny chronologicky.

Režim stání

- závěsná tyč (ZT) visí na tažných západkách
- záchytný elektromagnet (ZEM) vybuzen proudem pro držení ZT
- tažný elektromagnet (TEM) a přídržný elektromagnet (PEM) odbuzeny
- přídržné západky otevřeny

Zvedání ZT (obrázek 17)

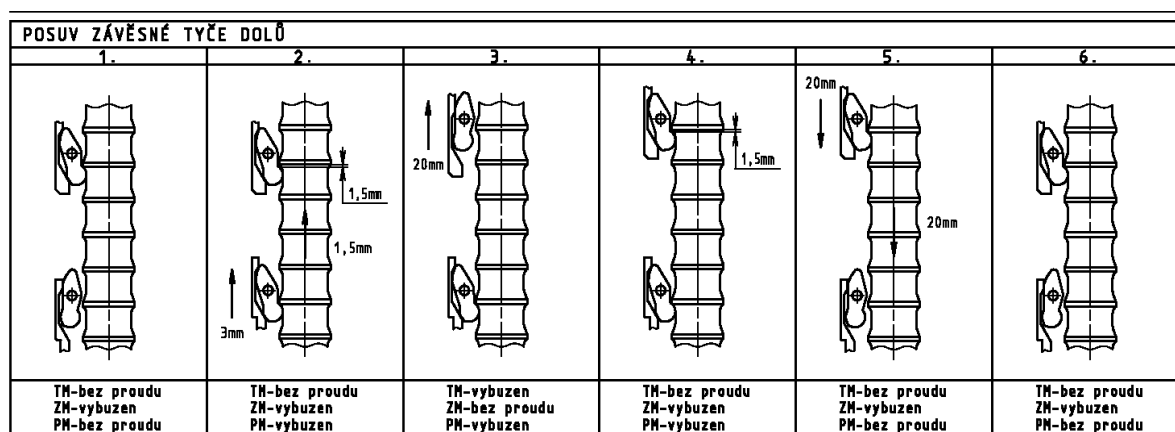
- ZEM vybuzen větším proudem
- TEM vybuzen => tažné západky spolu se ZT zdvihnuty o 20 mm
- PEM vybuzen => přídržné západky se sevrou a nadzdvihnou, tím převezmou ZT a odlehčí tažné západky
- ZEM odbuzen => tažné západky se otevrou
- TEM odbuzen => tažný systém se vrací dolů
- chvilkové vybuzení TEM => brzdění pádu tažného systému
- ZEM vybuzen větším proudem => tažné západky se sevrou
- PEM odbuzen => přídržné západky poklesnou, předají ZT tažným západkám a otevrou se
- snížení buzení ZEM na hodnotu pro stání ZT



Obr. 17 Schéma posuvu závěsné tyče nahoru [10]

Spouštění ZT (obrázek 18)

- PEM vybuzen => přídržné západky se sevřou a nadzdvihnou, tím převezmou ZT a odlehčí tažné západky
- ZEM odbuzen => tažné západky se otevřou
- TEM vybuzen => tažný systém s otevřenými západkami se nadzdvihne o 20 mm
- ZEM vybuzen => tažné západky se sevřou
- PEM odbuzen => přídržné západky poklesnou, předají ZT tažným západkám a otevřou se
- TEM odbuzen => tažný systém se pohybuje o 20 mm dolů spolu s ZT
- chvilkové vybuzení TEM => brzdění pádu tažného systému



Obr. 18 Schéma posuvu závěsné tyče dolů [10]

Další činnosti pohonu již nelze vysvětlit pouze pomocí hesel bez dodatečného komentáře, proto budou rozvedeny podrobněji.

Přechod na rezervní napájení

V případě poklesu napětí napájení systému ovládajícího pohon (panel silového řízení), dojde k jeho automatickému přepojení na stejnosměrný záložní zdroj. Dále dojde k vybuzení ZEM a PEM. Tažné i přídržné západky se sevřou a zajistí tak ZT v dané poloze. Po obnovení parametrů běžného napájení je pohon automaticky převeden zpět do režimu stání.

Havarijní pád regulačního orgánu

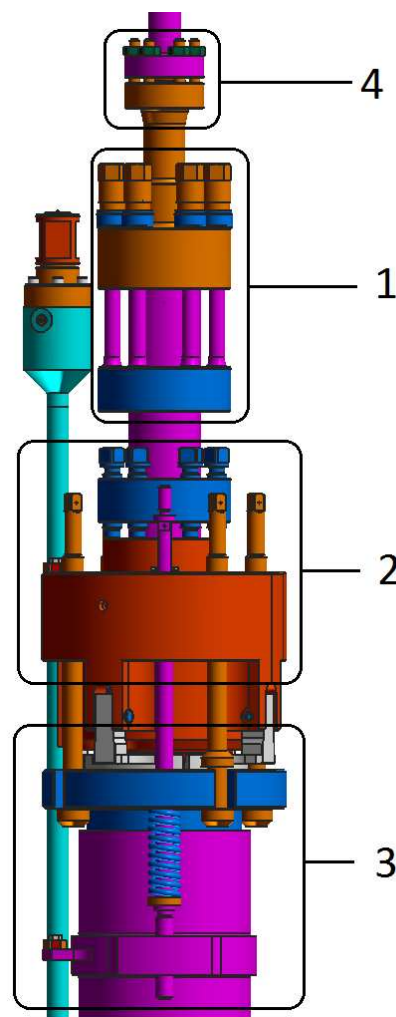
Při příchodu signálu havarijní ochrany dojde k odbuzení všech elektromagnetů. Obě skupiny západek se otevřou. ZT i s RO se mohou volně zasouvat do reaktoru díky vlastní hmotnosti.

Pojištění proti samovolnému vysunutí

V případě vzniku netěsnosti v oblasti zátky pohonu by docházelo k průtoku blokem zdvihání. Je nežádoucí, aby při tomto stavu docházelo k samovolnému vysouvání regulačního orgánu z aktivní zóny reaktoru. Tlakový spád vzniklý průtokem chladiva by způsobil sevření tažných i přídržných západek. Ty by poté zablokovaly závěsnou tyč i v případě havarijní ochrany.

3.3 Analýza přírubových spojů v oblasti zátky pohonu

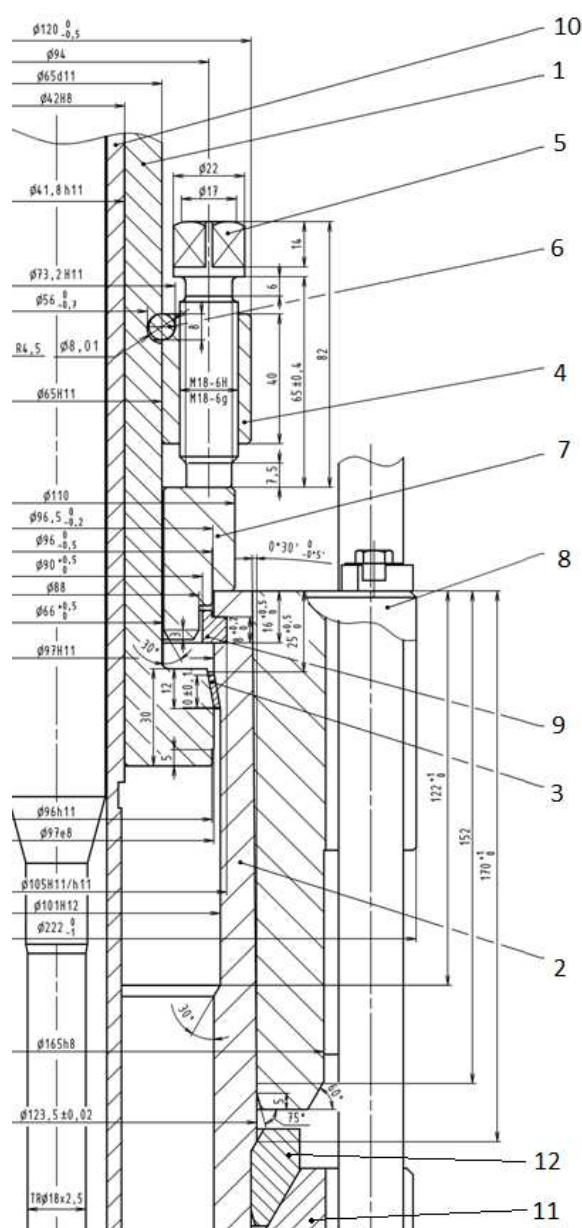
Předmětem této práce je návrh nového konstrukčního řešení přírubových spojů v oblasti zátky lineárního krokového pohonu pro reaktory VVER-1000. Zmíněná část pohonu je na obrázku vpravo (některé prvky jsou odstraněny). Jedná se o dva spoje. Jejich provedení bude podrobně popsáno samostatně. Společnou částí obou spojů je zátka pohonu. Horní spoj spojuje zátka pohonu s vrchní částí kanálu ukazatele polohy (p.1). Spodní spoj (p. 2) je vazbou mezi pouzdem a zátkou pohonu. Na obrázku je ještě vyznačeno zajištění bloku elektromagnetů (p. 3) a připojení nástavce ukazatele polohy k horní části kanálu ukazatele polohy (p. 4). Tyto dva prvky mohou být upraveny dle požadavků, ale snahou bude jejich zachování s mírnými úpravami. Z důvodu následné definice cílových požadavků na modernizaci spojů bude popsána jak konstrukce, tak i zjednodušený montážní postup. Hlavním cílem práce je vytvoření integrovaného spoje nahrazujícího spoje označené na obrázku pozicemi 1 a 2. To však musí být provedeno zároveň s důrazem na možnost rychlé demontáže čidla ukazatele polohy z pohonu během odstávek na výměnu paliva.



Obr. 19 Přírubové spoje v oblasti zátky pohonu [13]

3.3.1 Spoj pouzdra a zátky pohonu

Jedná se o komplikovaný spoj, který funguje na principu rozeprění cizího elementu mezi dvě kuželové plochy. Polovina řezu spojem je na obrázku 20. Zátka pohonu (p. 1) je rotační součást sloučená ze dvou pomyslných částí. Vrchní válcová část má $\varnothing 65$ a středový vývrt $\varnothing 42$. Vývrtem zátky prochází trubka pružinového závěsu bloku zdvínání (p. 10). Spodní část zátky je rozšířena na $\varnothing 97$. Horní hrana rozšíření je zkosena pod úhlem 10° a spolu s niklovým těsnicím kroužkem o tloušťce 2 mm (p. 3) a pouzdem pohonu tvoří funkční celek spoje. Ve vrchní části pouzdra pohonu (p. 2) je otvor $\varnothing 97$ takový, aby jím prošel konec zátky. Pak je otvor rozšířen na $\varnothing 101$, přechod mezi průměry je tvořen funkční kuželovou plochou, na kterou dosedá niklové těsnění. Síla pro vtažení a rozeprění zátky o pouzdro pohonu přes těsnění je vytvořena šesticí šroubů M18 (p.5). Šrouby jsou o zátku zapřeny pomocí kroužku (p. 4) a děleného kroužku (p. 6). Dělený kroužek je zapřen v oblém zápichu hloubky 4,5 mm. Ten je vyroben ve válcové části zátky pohonu. Síla je na pouzdro pohonu přenesena ze šroubů pomocí opěrného kroužku (p. 7). Součástí spoje je i bandáž (p.8) o vnějším $\varnothing 222$. Ta je natažena na vnější kuželové ploše pouzdra pohonu. Bandáž má za úkol zamezit deformaci pouzdra pohonu vlivem rozeprění kuželové plochy zátky. „Roztažení“ pouzdra pohonu by mělo za následek „vystřelení“ zátky pohonu, bloku zdvínání a ukazatele polohy, což je nepřijatelné. Pro případ, že by zátky pohonu byla vytlačena z funkční polohy existuje pojistka zamezující dalšímu pohybu. Tou je kroužek dělený na třetiny (p. 9). Je uložen do zápichu, který je vyroben ve zmíněném $\varnothing 97$ pouzdra pohonu. Jeho úkolem je pouze zamezení úplného „vystřelení“ vnitřních částí pohonu. Hermetičnost by byla porušena stejně. Bandáž také slouží při montáži jako nosná část čtyř kuželových elementů (p. 12),



Obr. 20 Spoj zátky a pouzdra pohonu [9]

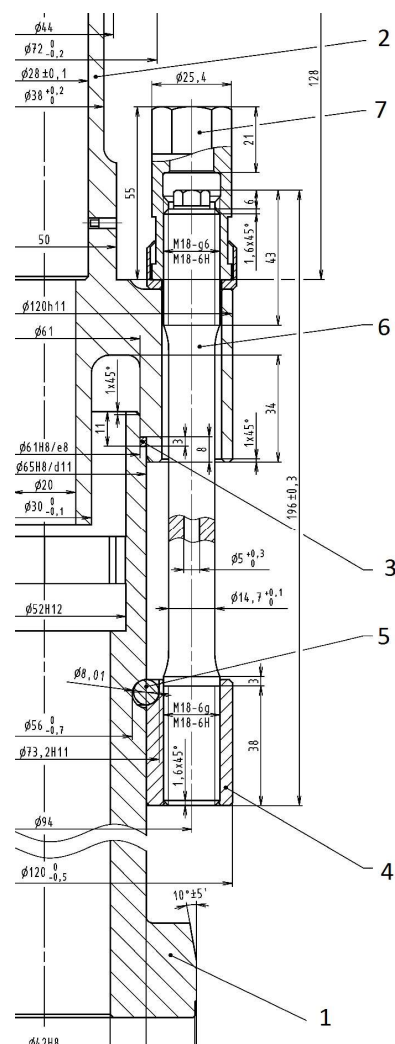
kteří blokují pouzdro bloku elektromagnetů (p. 11) proti posuvu vzhůru. Pouzdro slouží jako opěrný díl axiálního zajištění bloku elektromagnetů. Tato část přímo se spojem nesouvisí, ale bude jí při návrhu nového konstrukčního řešení nutné zohlednit.

Montáž sestavných částí pohonu na usazené pouzdro pohonu probíhá ve dvou etapách. V první dochází ke kompletaci vnějších částí pohonu. Je nasazen blok, pouzdro a bandáž elektromagnetu na pouzdro pohonu. Spojovací části těchto prvků jsou dotaženy dle předpisů. Ve druhé etapě probíhá montáž vnitřních částí pohonu. Nejprve je blok zdvihání za zátku pohonu zasunut do pouzdra pohonu. Poté je odpojen zdvihací přípravek a nasunut niklový kroužek. Je nutné ho prostrčit do vybrání pouzdra pohonu a usadit na kuželovou část zátky. Je nastrčen i opěrný kroužek a kroužek se šrouby (dva protilehlé jsou vyndány z důvodu následné montáže děleného kroužku). Poté dojde k povytažení zátky pohonu i s blokem zdvihání. Všechny kroužky jsou usazeny a zbylé dva šrouby namontovány. Následně jsou šrouby dotaženy dle předpisu. Tím je montáž tohoto přírubového spoje hotova.

3.3.2 Spoj zátky pohonu a příruby ukazatele polohy

Provedení spoje je na obrázku 21. Spoj zátky pohonu (p. 1) s přírubou ukazatele polohy (p. 2) je těsněn pomocí grafitového těsnění (p. 3). Těsnění je usazeno na vnějším osazení $\varnothing 61$. To je vytvořeno na válcovém těle zátky pohonu o $\varnothing 65$. Příruba ukazatele polohy o vnějším $\varnothing 120$ se navléká na osazenou část zátky pohonu shora při zasouvání ukazatele polohy, jehož je součástí. Silové spojení ve spoji je vytvořeno pomocí šestice svorníků M18 (p. 6) s vnitřním vývrtem $\varnothing 5$. Silový tok mezi šrouby a zátkou pohonu je uskutečněn pomocí příruby (p. 4) a děleného kroužku (p. 5) usazeného do oblého zápichu o hloubce 4,5 mm v zátku pohonu. Shora jsou na svorníky našroubovány matice s otočně zalisovanými podložkami (p. 7).

Montáž čidla ukazatele polohy se provádí na horním bloku po připojení a zajištění závěsné tyče k regulačnímu orgánu. Na zátku pohonu je nejprve nasazena příruba se svorníky (dva jsou vymontovány z důvodu následné montáže děleného kroužku). Poté jsou usazeny poloviny děleného kroužku a namontovány zbylé svorníky do příruby. Následně je na osazení zátky nasazeno grafitové těsnění a na svorníky vnější pouzdro (na obrázku není nakresleno). Poté dojde k zavedení čidla ukazatele polohy do pohonu. Následuje utažení matic jako poslední krok k utěsnění spoje.



Obr. 21 Spoj zátky pohonu a příruby ukazatele polohy [9]

3.3.3 Cílové požadavky modernizace

V tomto případě se především jedná o snahu zkrácení odstávek jaderného reaktoru a snazší montáž spodního spoje. Ačkoli jsou odstávky u velkých lehkovodních reaktorů určených pro výrobu elektrické energie nezbytné, je pochopitelnou snahou provozovatelů tento čas zkrátit na minimum. Blok během odstávky elektřinu nevyrábí a provozovatel tak přichází o zisk. Během pravidelné odstávky na výměnu paliva se kromě jiného provádí roztěsnění reaktoru a přesun horního bloku na šachtu revize. K tomu je potřebné odpojit závěsnou tyč pohonu od absorpční části a dále ji vyjmout z pohonu úplně, nebo zajistit pomocí klínů ve vysunuté poloze. Těmto úkonům ale předchází roztěsnění spoje příruby kanálu ukazatele polohy se zátkou pohonu a následné vyjmutí ukazatele polohy. Tyto operace přímo ovlivňují dobu odstávky jaderného reaktoru, a to hned dvakrát. Jednou je to při rozebírání a podruhé při zpětné montáži. Je samozřejmé, že takovýto postup je aplikován u všech 61 lineárních krokových pohonů, jimiž jsou reaktory typu VVER-1000 vybaveny. Při daném rozsahu prováděných činností je i malé urychlení jednotlivého úkonu znatelným přínosem.

V uvedeném případě šlo o každoroční záležitost danou provozem reaktoru. Dále je též nutné vykonávat revize jednotlivých zařízení. Dle provozních předpisů pro pohony musí minimálně 1x za 4 roky dojít k demontáži bloku zdvihání z pouzdra pohonu a k jeho následné kontrole. Revizi samotného pouzdra pohonu je předepsáno provádět též minimálně 1x za 4 roky. Za tímto účelem je nutné sundat blok elektromagnetů. Z provozních předpisů tedy vyplývá, že maximálně po čtyřech letech dochází ke kompletnímu rozebírání spoje pouzdra se zátkou pohonu. Jen pro připomenutí uvedu, že v tomto spoji je použito niklové těsnění sevřené mezi dvěma kuželovými plochami. Toto řešení ač funkční, je uživatelsky nepříjemné. Problematickým úkonem je právě montáž niklového těsnění na kužel zátky pohonu z důvodu špatné přístupnosti a nutnosti deformace těsnicího kroužku při montáži.

Jako další věc zmíním nutnost jednoduchosti a bezpečnosti montáže. Jak je patrné z popisu v předchozích oddílech, tak oba přírubové spoje jsou poměrně složité konstrukce. Jejich montáž zahrnuje manipulace s velkým počtem součástí, a to i poměrně malé velikosti. Práce s takovými částmi na horním bloku představuje riziko. Zapadnutí součásti do instrumentace horního bloku představuje v lepším případě zpoždění, které je dané časem nalezení a vyndání ztracené součásti. Z tohoto důvodu by mělo být konstrukční řešení jednodušší.

Co se týče použití materiálů, tak jaderná energetika je specifickým oborem. Přes neustálý vývoj nových materiálů je dávana přednost materiálům, které jsou ověřeny letitým provozem. Použití každého nového materiálu znamená určité riziko a nutnost ověření jednotlivých vlastností provedením velké řady testů.

Tak jako pro každý výrobek, tak i zde platí obecné požadavky na konstruovaná zařízení jako jsou bezpečnost, spolehlivost, vysoká životnost a ekonomika jak provozu, tak výroby. Na všechny tyto parametry by měl být během konstrukce kladen důraz.

Při závěrečném shrnutí požadavků budou všeobecné zásady vynechány. Uvedu pouze požadavky definované zadáním práce a cíle vycházející z rozboru konstrukce přírubových spojů.

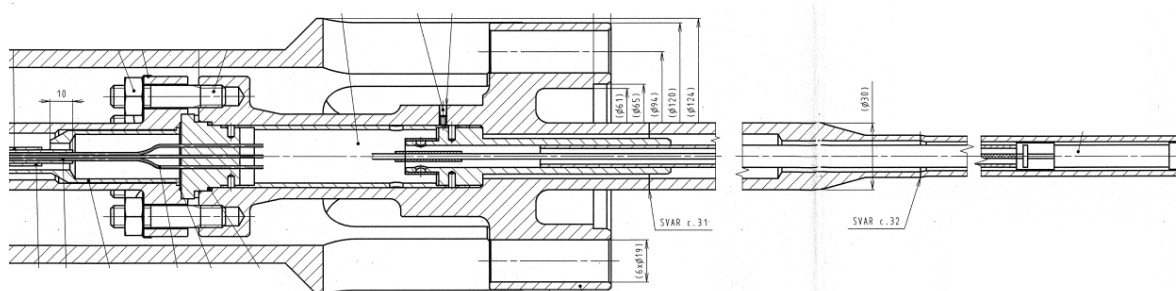
Cílové požadavky modernizace přírubových spojů v oblasti zátky LKP-M:

- sdružení spojů do jednoho;
- jednoduchost a robustnost spoje;
- zkrácení doby montáže a demontáže čidla ukazatele polohy;
- zmenšení počtu volných dílů;
- plná zaměnitelnost pohonů (dodržení vnějších rozměrů);
- plné zachování konstrukce bloku zdvínání a elektromagnetů;
- použití ověřených materiálů.

3.4 Posouzení nové koncepce provedení čidla ukazatele polohy

Současné provedení čidla ukazatele polohy (UP) je hrubě popsáno v oddíle 4.1.5 . Pro detailnější popis slouží obrázek 22. Je na něm vyobrazena část kanálu UP s přírubou. Ta se přitěsňuje k zátce pohonu. V současné době by v případě závady čidla UP muselo dojít k roztěsnění spoje příruby kanálu čidla UP a zátky pohonu. To by samozřejmě znamenalo odstavení reaktoru a roztěsnění primárního okruhu. Právě tento stav by měla řešit nová koncepce čidla.

Suchý kanál by v případě nutnosti vyjmutí cívek zůstal přitěsněn k primárnímu okruhu, čímž se vyhneme roztěsnění, ne ovšem odstavení reaktoru a snížení parametrů v primárním okruhu. Dále také není potřebné nové těsnění z expandovaného grafitu k zatěsnění zmiňovaného spoje. Jediným rozebíraným spojem by se stal přírubový spoj s kabelovou průchodkou UP na obrázku 22 vlevo. Takovéto řešení ovšem nutně vyžaduje určité úpravy. Cívky čidla ukazatele by musely být vloženy do pouzdra. To by šlo v případě potřeby ze suchého kanálu UP v reaktoru vytáhnout a nahradit novým, funkčním UP. Pro snazší zavádění pouzdra by muselo dojít k úpravě suchého kanálu. Jeho rozšířená část by musela být co nejvíce prodloužena tak, aby došlo ke snížení tření mezi pouzdrem a kanálem. Ve své podstatě se jedná o poměrně jednoduché konstrukční úpravy. Otázkou zůstává komplikovanost plnění suchého kanálu héliem a následné zkoušení těsnosti při montáži na horním bloku.



Obr. 22 Současné provedení čidla ukazatele polohy UP2 [14]

4 Konstrukční návrhy variant

Před uvedením jednotlivých konstrukčních návrhů budou zmíněny potíže, se kterými bylo nutno se vypořádat. Následující návrhy jsou pouze příklady jednotlivých vytvořených koncepcí řešení, nad kterými bylo uvažováno. Mnohé z nich ani uvedeny nebudou z důvodu zavrhnutí, nesplňovaly cílové požadavky. Již samotné zadání, ač poměrně obecné, je omezeno velkým počtem kritérií, které je třeba dodržet. Zásadním omezením rozměrů je nutnost zachování vnitřního $\varnothing 97$ a vnějšího $\varnothing 123,5$ v horní části pouzdra pohonu. Tyto rozměry jsou dány bloky zdvínání a elektromagnetů. Jak se ukázalo, velkým problémem při jakékoli konstrukci je přítomnost konektoru a přívodu napájení bloku elektromagnetů. Velká část řešení selhávala v otázce montáže právě díky těmto elementům. Celková hmotnost součástí u všech variant řešení byla menší než u původní konstrukce.

Za materiál těsnění byl zvolen expandovaný grafit. Materiál ostatních částí byl volen s ohledem na materiálové zkušenosti firmy ŠKODA JS a.s. . Dá se říci, že veškeré zvolené materiály byly prakticky ověřeny v provozu a vykazují schopnost odolávat prostředí, ve kterém pracují. Velké nároky jsou kladeny především na horní část pouzdra pohonu. Jelikož se jedná v podstatě o nejvyšší místo v reaktoru, tak zde hrozí nebezpečí vodíkové křehkosti. Také pevnostní nároky jsou zde vysoké, a to z důvodu vytvoření spoje s omezenými rozměry.

Všechny varianty používají shodného provedení integrace přírubových spojů do jednoho jako u varianty 1. Z tohoto důvodu bude systém popsán pouze jednou. Odlišné je provedení navrhovaného spoje vně pouzdra pohonu. Axiální pojištění bloku elektromagnetů je v základním návrhu řešeno pomocí samostatného spoje.

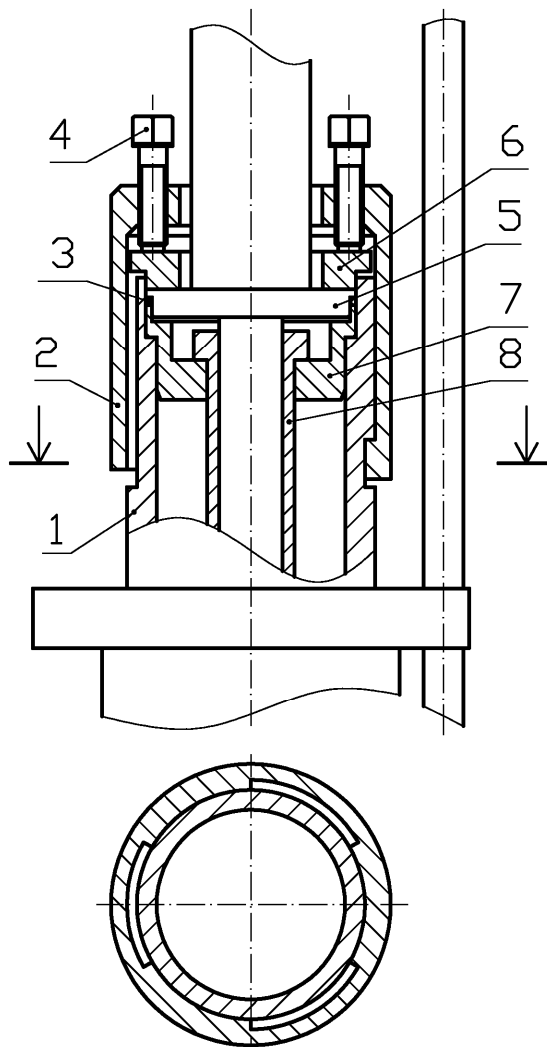
U popisu jednotlivých variant bude vždy uveden schématický obrázek vypovídající o principu funkce. Nejsou v něm zobrazeny veškeré části nalézající se v pohonu. Pro vysvětlení samotného konstrukčního řešení spoje je to neúčelné.

4.1 Varianta 1

Zjednodušený návrh této koncepce je na obrázku 23. Ve své podstatě se jedná o bajonetový zámek. Ozuby bajonetu jsou vytvořeny přímo ve stěně pouzdra pohonu (p. 1). Samotný bajonet (p. 2) je na pouzdru pohonu navlečen a ozuby jsou do sebe zaklesnuty pootočením bajonetu o 60° . Pružinový závěs bloku zdvínání je přes nosnou trubku (p. 8) a osazený kroužek (p. 7) zavěšen v pouzdru pohonu. Grafitové těsnění (p. 3) je stlačováno pomocí příruby (víka) kanálu ukazatele polohy (p. 5). Příruba je přitlačována pomocí přitlačného kroužku (p. 6). Ten roznáší silové působení od šroubů v bajonetu (p. 4) a zamezuje tak deformacím a otlacení příruby ukazatele polohy. Tento element lze za předpokladu dostatečné tloušťky příruby (víka) ukazatele polohy vynechat. Průměr otvoru v bajonetu a opěrném kroužku je dimenzován tak, aby šel převléknout přes přírubový spoj

zatěsňující kanál ukazatele polohy. V osazeném kroužku nebo v nosné trubce by byl vytvořen element nutný k montáži bloku zdvínání.

Montáž pohonu by probíhala dle dalšího popisu. Na pouzdro pohonu by byl navlečen blok elektromagnetů spolu s pouzdem. Pouzdro by bylo následně například zapřeno o dělený kroužek vložený do drážky vytvořené na pouzdru pohonu a mohlo by tak přes šrouby a pružiny zamezit axiálnímu posuvu bloku elektromagnetů shodným způsobem jako u původní varianty. Tím by byla montáž vnějších částí pohonu ukončena. Blok zdvínání by se do pouzdra pouze přes osazený kroužek zavěsil bez jakéhokoli dalšího zajišťování. Po transportu horního bloku na reaktor a připojení závěsné tyče k regulačnímu orgánu (samozřejmě i po mnoha dalších činnostech, jež ovšem pro tento popis nemá význam uvádět) by došlo k montáži čidla ukazatele polohy. Nejprve by bylo vloženo grafitové těsnění do pouzdra pohonu na osazený kroužek, popřípadě na další osazení vytvořené v trubce pouzdra pohonu. Následně kompletní suchý kanál čidla ukazatele polohy i s navlečeným bajonetem a opěrným kroužkem by byl zasunut do pohonu. Při zasouvání je potřebné kontrolovat, zda se bajonet nevzpříčí o konektor bloku elektromagnetů. Po usazení čidla polohy a opěrného kroužku by došlo k nasunutí a pootočení bajonetu. Následovalo by dotažení šroubů a tím i utěsnění spoje. Po připojení konektoru ukazatele polohy by byl pohon připraven k činnosti.



Obr. 23 Schématický
obrázek varianty 1

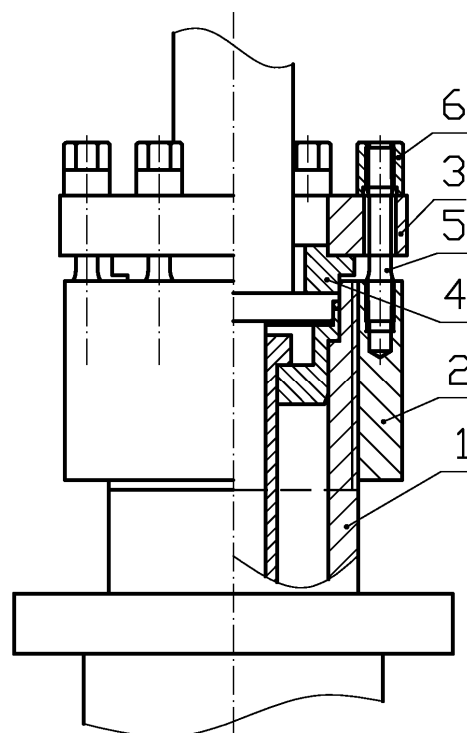
4.2 Varianta 2

Nákres tohoto řešení je na obrázku 24. Tato varianta počítá s řešením spojení mezi pouzdem pohonu (p. 1) a závitovou přírubou (p. 2) pomocí závitu. Ten je vytvořen přímo na vnějším povrchu pouzdra pohonu a vnitřním povrchu příruby. V přírubě jsou zašroubovány svorníky (p. 5). Uťahovací síla ve spoji je vyvozována pomocí matic (p. 6). Ty jsou našroubovány na svornících a tlačí přes volnou přírubu (p. 5) a opěrný kroužek (p. 4) na víko ukazatele polohy. Rozměry dvou posledních součástí tlačících na víko ukazatele polohy musí

být dimenzovány tak, aby šly přetáhnout přes přírubový spoj kabelové průchodky. Tyto dva elementy nelze sloučit z důvodu nedostatečného prostoru mezi kanálem ukazatele polohy a konektorem pro napájení bloku elektromagnetů. Délka závitové příruby je omezena vzdáleností horní hrany pouzdra pohonu a spodní částí konektoru bloku elektromagnetů. Jejím dalším omezením je vnější průměr, respektive síla stěny závitové příruby. Maximální rozměr síly stěny je definován vzdáleností stěny pouzdra pohonu a vývodu napájení. Tento rozměr omezuje průměr šroubů použitých ve spoji.

Existuje i způsob jak provést montáž závitové příruby se silnější stěnou. V jednom místě příruby by bylo vytvořeno vybrání pro vývod napájení bloku elektromagnetů. Příruba by byla nasazena na pouzdro pohonu tak, aby vývod napájení zapadl do zmíněného vybrání. Poté by byla příruba našroubována na pouzdro za současného otáčení bloku elektromagnetů. Jak je z popisu zřejmé, tato procedura by byla náročná a ulehčení montáže by jednoznačně nepřinesla. Z toho důvodu byla přijato řešení závitové příruby se slabší stěnou. Montáž pro tento případ je uveden v následujícím odstavci.

Montáži spoje by opět předcházelo nasunutí bloku elektromagnetů na pouzdro pohonu a jeho následné zafixování pomocí samostatného spoje. Následovalo by našroubování závitové příruby na pouzdro pohonu a šroubů do příruby. Poté by mohl být vložen blok zdvihání a připojení závěsné tyče. V dalším kroku by bylo vloženo grafitové těsnění a čidlo ukazatele polohy nasunuto do pohonu. V dalších krocích by došlo k nasutí opěrného kroužku a volné příruby. Následovalo by již našroubování matic a dotažení spoje.



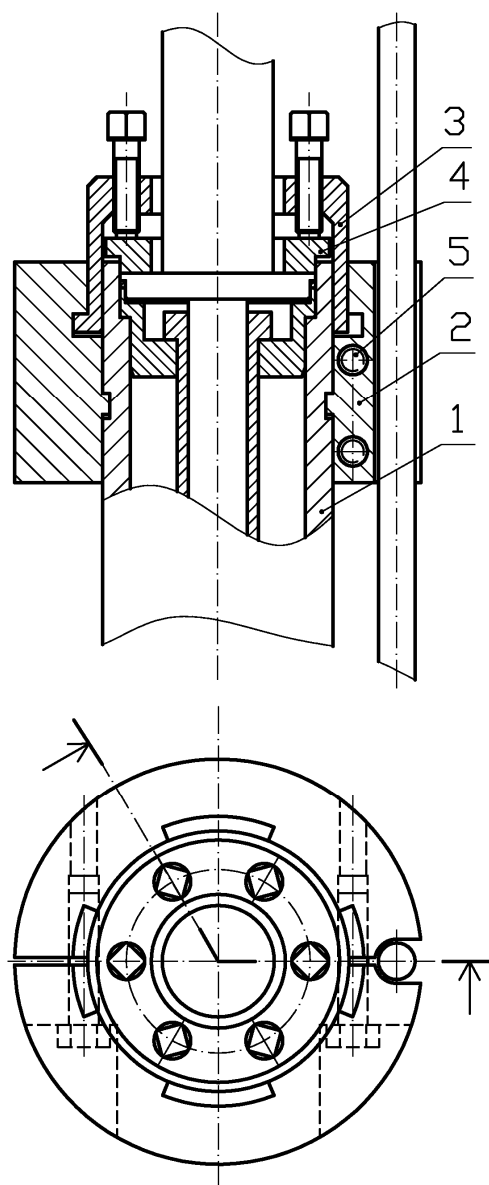
Obr. 24 Schématický obrázek varianty 2

4.3 Varianta 3

Schéma této varianty je na obrázku 25. Jedná se o bajonetový spoj jako u varianty 1. V tomto případě ovšem nejsou ozuby bajonetu vytvořeny přímo na povrchu pouzdra pohonu, ale v bandáži k pouzdru uchycené. V pouzdru pohonu (p. 1) je po obvodu vytvořen obdélníkový zápich (drážka). Do tohoto zápichu zapadá pero vystupující na vnitřním průměru bandáže (p. 2). Samotná bandáž se skládá ze dvou polovin. Ty jsou k sobě spojeny pomocí čtveřice šroubů (p. 5). Nepřenášejí žádnou sílu, zajišťují pouze zapadnutí pera na bandáži do drážky na pouzdru pohonu. Z vrchní strany bandáže je vytvořena čtveřice ozubů, na každé polovině dva. Počet je volen s ohledem na rovnoměrné rozdělení síly, která je prostřednictvím dvou polovin bandáže přenášena na pouzdro pohonu. Do ozubů bandáže

zapadají ozuby vytvořené na vnějším povrchu bajonetu (p. 3). To umožňuje nasunutí bajonetu a následně jeho pootočením o 45° zapření ozubů o sebe. Předepnutí spoje se stejně jako u varianty 1 provádí utahováním šroubů, které se pohybují v závitech vytvořených v bajonetu. Šrouby mohou na víko ukazatele polohy tlačit opět přes přítlačný kroužek (p. 4), jak je naznačeno na obrázku 24, nebo v případě dostatečné tloušťky víka přímo na něj.

Montáž pohonu by opět začínala shodně jako u dvou předchozích variant. Na připevněné pouzdro pohonu by byl navlečen a axiálně zajištěn blok elektromagnetů. Následovalo by nasazení dvou polovin bandáže. Během montáže je nutné použít přípravek zajišťující sevření polovin do doby, než by byla zašroubována a lehce dotažena dvojice protilehlých šroubů svírající bandáž. Montážní přípravek by mohl být proveden například jako převlečený kroužek. Po sundání přípravku by došlo k našroubování dvou zbylých šroubů a dotažení předepsaným momentem. Tím končí montáž vnějších částí pohonu. Blok zdvínání může být nasunut do pouzdra pohonu jak po montáži vnějších částí pohonu, tak i předtím. To ostatně platí i pro obě předchozí varianty. Pokud je blok zdvínání nasunut v pouzdře pohonu a závěsná tyč připojena k regulačnímu orgánu, může dojít k montáži čidla ukazatele polohy. Nejprve je usazeno grafitové těsnění do osazení v pouzdře pohonu. Následně je do pohonu zasouván ukazatel polohy včetně nasazeného bajonetu. Ten je v průběhu zasouvání posunut mimo osu čidla UP v místě mezi víkem kanálu ukazatele polohy a přírubovým spojem kabelové průchodky čidla UP. Během zasouvání je nutné kontrolovat polohu bajonetu, aby nedošlo k vzpříčení o konektor napájení bloku zdvínání. Po usazení čidla UP dojde k nasunutí správně natočeného bajonetu do volného prostoru mezi bandáží a pouzdrem ukazatele polohy. Následuje pootočení bajonetu o 45° a dotažení šroubů bajonetu předepsaným utahovacím momentem. Tím je montáž skončena.



Obr. 25 Schématický obrázek varianty 3

5 Výběr konstrukční varianty

V této kapitole jsou uvedeny jednotlivé přednosti a zápory variant uvedených v předchozím textu. Hodnocení je provedeno vzájemným porovnáním. Ve srovnání není brán zřetel na způsob zajištění axiální polohy bloku elektromagnetů, neboť je u všech variant navrhováno jeho samostatné konstrukční provedení.

Varianta 1 (obrázek 23)

Tato varianta je z konstrukčního pohledu jednoznačně nejjednodušší. Mezi výhody tohoto řešení patří zjednodušení úkonů při zatěsňování čidla ukazatele polohy a zredukování počtu součástí přírubového spoje pouze na bajonet se šrouby. Během montáže a demontáže čidla ukazatele polohy dochází pouze k utahování (povolování) šroubů a manipulaci s těsněním, kromě úkonů se samotným čidlem UP. Při demontáži bloku elektromagnetů stačí demontovat pouze pouzdro bloku elektromagnetů, žádné jiné úkony nejsou zapotřebí.

Nevýhodou tohoto řešení je velké podélné zeslabení pouzdra pohonu a malá styčná plocha bajonetu. To vede k nutnosti použití materiálu s vysokou pevností, což běžně využívaný materiál 08Ch18N10T nesplňuje. Z tohoto důvodu nebyla tato varianta vybrána.

Varianta 2 (obrázek 24)

Výhodou této varianty je možnost malého zeslabení stěny pouzdra pohonu při zachování nízkého tlaku v závitu. Tento stav je důsledkem velké styčné plochy v závitě vytvořeném na vnějším povrchu pouzdra pohonu. U této varianty jsou nároky na materiál pouzdra pohonu nejmenší. Montáž samotné závitové příruby je jednoduchá a tedy přijatelná.

Nevýhodou je nutnost použití většího počtu menších šroubů z důvodu omezené síly stěny. To přináší vyšší potřebu času nutného k utahování a povolování šroubů během odstávek. Zásadním problémem je nemožnost zaručení jednoduchého povolení závitové příruby v případě demontáže bloku elektromagnetů. Závit se v prostředí vysokých teplot „zapékají“ a dochází k problémům při jejich povolování. U malých závitů jde o řešitelnou záležitost, ale v případě závitů o vnějším průměru pouzdra pohonu by mohlo dojít k nemožnosti ruční demontáže. Toto nebezpečí by vedlo k nutnosti vyvinutí povolovacího zařízení, což celou koncepci tohoto spoje znevýhodňuje. Z výše uvedené příčiny nebyla ani tato varianta vybrána. V případě prokázání skutečnosti, že se například vlivem použití určitého maziva závit „nezapečou“, tak by tato varianta byla zvolena.

Varianta 3 (obrázek 25)

Největší výhodou tohoto řešení je stejně jako u varianty 1 rychlá a jednoduchá demontáž čidla ukazatele polohy díky použití bajonetového spoje. Stačí pouze povolit šrouby bajonetu a celým bajonetem pootočit. Tím je spoj rozebrán, může dojít k vyjmutí čidla UP a následně těsnění z expandovaného grafitu. Postup montáže je obdobný, pouze v opačném sledu. Pevnostní požadavky na materiál pouzdra pohonu jsou výrazně nižší oproti variantě 1. Styčný tlak v drážce pouzdra pohonu je poloviční ve srovnání s ozuby bajonetu. Dále u tohoto řešení není podélné vybrání, což snižuje membránové napětí ve stěně pouzdra pohonu. Materiál s lepšími pevnostními vlastnostmi, který je použit při konstrukci bajonetového spoje je umístěn mimo prostředí aktivní zóny. Běžně používaný materiál pro vnitřní části reaktoru a také pouzdra pohonů řídicích tyčí 08Ch18N10T u této varianty po pevnostní stránce pro pouzdro pohonu vyhovuje.

Za nevýhodu lze považovat vytvoření koncentrátoru napětí v pouzdře pohonu. V místě zápinu by bylo vhodné v době provádění revize pouzdra pohonu provádět kapilární defektoskopickou zkoušku, která by odhalila případný vznik trhliny. Slabinou oproti ostatním variantám je montáž bandáže. V případě nutnosti by docházelo k použití jednoduchého montážního prostředku, jak bylo uvedeno u popisu této varianty. Pokud ovšem provedeme porovnání s původním řešením, jde o pouhé utažení čtyř šroubů. To bude navíc prováděno pouze při revizi pouzdra pohonu nebo bloku elektromagnetů (v současné době nejméně 1 x za čtyři roky).

Jako nejvhodnější konstrukční návrh volím **variantu 3**. I přes její určité nevýhody se jedná o jedinou variantu, která umožňuje použití ověřených materiálů a zaručuje možnost manuální montáže i demontáže celého spoje. Splňuje kritérium na jednoduchou a rychlou montáž čidla ukazatele polohy. S volnými částmi se pracuje pouze v případě demontáže celé bandáže. Vnější rozměry pohonu jsou zachovány a blok elektromagnetů nemusí být modifikován. Jedná se o jednoduchý a robustní spoj.

6 Pevnostní výpočet zvolené varianty

V této kapitole bude proveden návrh základních rozměrů přírubového spoje pomocí analytických vzorců. Výpočet a zvolené limity pro napětí jsou v souladu s Normativně technickou dokumentací A.S.I. [5]. Budou počítány a ověřovány pouze nově navrhované části, a to jen v omezeném rozsahu. Provedení kompletního pevnostního výpočtu navrhovaného spoje je pro daný rozsah diplomové práce nereálné. U částí, u nichž bude shodný materiál a geometrické rozměry, nemá smysl znovu ověřovat jejich konstrukci. V případě spoje mezi pouzdrem pohonu a pouzdrem bloku elektromagnetů prostřednictvím děleného drátěného kroužku se odkazují na zprávu Ae 11382/Dok, Rev. 4 vytvořenou ve společnosti ŠKODA JS a.s. . V uvedené zprávě je proveden pevnostní výpočet spoje daného typu pro větší zatížení než je zatížení při použití v tomto spoji. Význam použitých veličin ve výpočtech je uveden vždy u prvního užití, nebo naznačen obrázkem. Celkový souhrn značení je na začátku této práce. Dále v této kapitole bude proveden kontrolní výpočet na statickou pevnost s vyhodnocením dvou hlavních kategorií napětí, včetně popisu použitého 2D axiálně symetrického výpočetního modelu vytvořeného v programu ANSYS 14.0 . Výsledky v grafické podobě budou uvedeny v příloze č. 1.

6.1 Výchozí parametry pro výpočet

Základní parametry nutné pro výpočet byly převzaty z literatury [9] a technického popisu pro LKP-M/3 [10].

Výpočtový tlak	$p = 17,6 \text{ MPa}$
Tlak při hydraulické zkoušce na pevnost	$p_{tl.z} = 24,5 \text{ MPa}$
Výpočtová teplota	$T = 350 \text{ °C}$
Teplota tlakové zkoušky	$T_h = 125 \text{ °C}$

6.1.1 Materiály a dovolená napětí

Pro jednotlivé součásti spoje byly vybrány materiály, které se pro daný účel ve společnosti ŠKODA JS běžně užívají. Všechny použité materiály se řadí mezi austenitické korozivzdorné oceli. Přiřazení jednotlivých materiálů k součástem, včetně jejich smluvní meze kluzu ($R_{p0,2}$) a meze pevnosti v tahu (R_m) při různých teplotách, je uvedeno v tabulce 1. Pevnostní hodnoty jednotlivých ocelí jsou čerpány z [9], [11] a [12].

Pro části jaderných zařízení (mimo šrouby a svorníky) se jmenovitá dovolená napětí určí dle vztahu:

$$[\sigma] = \min \left[\frac{R_{p0,2}}{n_{0,2}}; \frac{R_m}{n_m} \right]$$

kde $n_{0,2} = 1,5$ je součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu,
 $n_m = 2,6$ součinitel bezpečnosti vůči pevnosti v tahu.

Jmenovitá dovolená napětí pro šrouby namáhané utahovací silou a zatížením se určí dle vztahu:

$$[\sigma]_w = \frac{R_{p0,2}^T}{n_{0,2}}$$

kde $n_{0,2} = 2$.

Vypočítaná dovolená napětí pro zvolené materiály při výpočtové teplotě a teplotě tlakové zkoušky jsou uvedena v tabulce 2.

Tabulka 1 Vlastnosti zvolených materiálů

součást	materiál	T = 20°C		T = 125°C		T = 350°C	
		R _{p0,2}	R _m	R _{p0,2}	R _m	R _{p0,2}	R _m
		[MPa]		[MPa]		[MPa]	
pouzdro pohonu	08Ch18N10T	196	490	190	446,4	177	353
šrouby	14Ch17N2, zušlechťeno	784	1079	690,5	938,4	490	637
bandáž, bajonet	ChN35VT-VD	490	834	474,4	775,5	441	650

Pozn. : Pevnostní hodnoty při 125°C jsou získány pomocí lineární interpolace z parametrů při teplotách 20 a 350°C.

Tabulka 2 Dovolená napětí vybraných materiálů

součást	materiál	T _h = 125°C	T = 350°C
		[σ] _h	[σ]
		[MPa]	[MPa]
pouzdro pohonu	08CH18N10T	126,7	118
šrouby	14Ch17N2	345,2	245
bandáž, bajonet	ChN35VT-Vd	298,3	250

6.1.2 Zkušební tlak

Minimální zkušební tlak pro zkoušky ve výrobním závodě nebo během provozu se určí podle vztahu:

$$p_h = k_h \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 17,6 \cdot \frac{126,7}{118} = 23,6 \text{ MPa}$$

kde $k_h = 1,25$,

$[\sigma] = 118 \text{ MPa}$ jmenovité dovolené napětí,

$[\sigma]_h = 126,5 \text{ MPa}$ jmenovité dovolené napětí pro tlakové zkoušky.

Jelikož $p_h < p_{tl.z}$, tak podmínka daná literaturou [5] je splněna. Pro další výpočet tedy platí:
 $p_h = 24,5 \text{ MPa}$.

6.2 Návrh základních rozměrů

6.2.1 Válcová část pouzdra pohonu

Horní část pouzdra pohonu je znázorněna na obrázku 26. Drážka pro pero bandáže je ve spodní části. Vybrání pro uchycení bloku zdvínání a umístění těsnění z expandovaného grafitu je v horní části obrázku. Uvedené rozměry odpovídají požadavkům pro případnou výrobu.

6.2.1.1 Nezeslabená stěna

Přídavek k výpočtové tloušťce stěny se určí dle vztahu:

$$c = c_{11} + c_2 = 0,127 + 0,1 = 0,227 \text{ mm}$$

kde c_{11} se bere jako minusová výrobní tolerance tloušťky stěny,

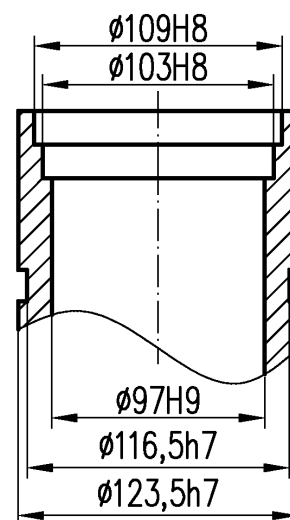
$c_2 = 0,1 \text{ mm}$ zmenšení tloušťky stěny vlivem všech druhů koroze a eroze (určeno dle [5, Tab. 5.1]).

Určení přídavku c_{11} :

$$\varnothing 97\text{H9} \Rightarrow \varnothing 97^{+0,087}_0$$

$$\varnothing 123,5\text{h7} \Rightarrow \varnothing 123,5^0_{-0,040}$$

$$c_{11} = 0,087 + 0,040 = 0,127 \text{ mm}$$



Obr. 26 Horní část pouzdra pohonu

Výpočtový tlak

Pro výpočet tloušťky stěny za výpočtového tlaku se dle [5] užívá vztahu:

$$s_R = \frac{p \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \cdot \frac{1}{m_2} = \frac{17,6 \cdot 97 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 118 - 17,6} = 7,82 \text{ mm}$$

kde $p = 17,6 \text{ MPa}$,

$D = 97 \text{ mm}$ je jmenovitý vnitřní průměr válcové části pláště,

$[\sigma] = 118 \text{ MPa}$,

$\varphi = 1$ součinitel snížení pevnosti svarovým spojem,

$m_1 = 2$,

$m_2 = 1$,

$m_3 = 1$.

Součinitele m_1 , m_2 a m_3 jsou čerpány z [5, Tab. 5.2.].

Konstrukcí daná tloušťka nezeslabené stěny je $s = 13,25 \text{ mm}$.

Navrhovaná tloušťka stěny musí splňovat podmínku:

$$s \geq s_R + c$$

$$13,25 \geq 7,82 + 0,227 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Pro platnost výpočetního vztahu musí být splněna podmínka:

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,3$$

$$\frac{13,25 - 0,227}{97} = 0,13 \leq 0,3 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Tlaková zkouška

Podle [5] nesmí při hydraulické tlakové zkoušce ve zkoušeném zařízení vzniknout redukované prosté membránové napětí větší než $1,35 [\sigma]_h$.

Prosté membránové napětí při tlakové zkoušce se určí dle vztahu:

$$\sigma_m = \frac{p_h \cdot [D \cdot m_3 + (s - c) \cdot m_2]}{(s - c) \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \varphi}$$
$$\sigma_m = \frac{24,5 \cdot [97 \cdot 1 + (13,25 - 0,227) \cdot 1]}{(13,25 - 0,227) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1} = 103,49 \text{ MPa}$$

Redukované napětí pak podle vzorce:

$$\sigma_{red} = \sigma_m - \frac{p_h}{2} = 103,49 + \frac{24,5}{2} = 115,74 \text{ MPa}$$

Pevnostní podmínka:

$$\sigma_{red} < 1,35 \cdot [\sigma]_h$$

$$115,74 < 1,35 \cdot 126,7 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6.2.1.2 Stěna zeslabená vybráním pro uchycení bloku zdvínání

Výpočet probíhá obdobným způsobem jako u nezeslabené stěny, značení je shodné. Příklad k výpočtové tloušťce stěny se určí dle vztahu:

$$c = c_{11} + c_2 = 0,094 + 0,1 = 0,194 \text{ mm}$$

Určení přídatku c_{11} :

$$\begin{aligned} \text{Ø}103\text{H}8 & \Rightarrow \text{Ø}103_0^{+0,054} \\ \text{Ø}123,5\text{h}7 & \Rightarrow \text{Ø}123,5_{-0,040}^0 \\ c_{11} & = 0,054 + 0,040 = 0,094 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výpočtový tlak

Pro výpočet tloušťky stěny za výpočtového tlaku se užívá vztahu:

$$s_R = \frac{p \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \cdot \frac{1}{m_2} = \frac{17,6 \cdot 103 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 118 - 17,6} = 8,3 \text{ mm}$$

kde $D = 103 \text{ mm}$.

Konstrukcí daná tloušťka dané stěny je $s = 10,25 \text{ mm}$.

Navrhovaná tloušťka stěny musí splňovat podmínku:

$$\begin{aligned} s & \geq s_R + c \\ 10,25 & \geq 8,03 + 0,194 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Pro platnost výpočetního vztahu musí být splněna podmínka:

$$\begin{aligned} \frac{s - c}{D} & \leq 0,3 \\ \frac{10,25 - 0,194}{97} & = 0,1 \leq 0,3 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Tlaková zkouška

Prosté membránové napětí při tlakové zkoušce se určí dle vztahu:

$$\begin{aligned} \sigma_m & = \frac{p_h \cdot [D \cdot m_3 + (s - c) \cdot m_2]}{(s - c) \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \varphi} \\ \sigma_m & = \frac{24,5 \cdot [103 \cdot 1 + (10,25 - 0,194) \cdot 1]}{(10,25 - 0,194) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1} = 137,72 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Redukované napětí pak podle vzorce:

$$\sigma_{red} = \sigma_m - \frac{p_h}{2} = 137,72 + \frac{24,5}{2} = 149,97 \text{ MPa}$$

Pevnostní podmínka:

$$\begin{aligned} \sigma_{red} & < 1,35 \cdot [\sigma]_h \\ 149,97 & < 1,35 \cdot 126,7 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

6.2.1.3 Stěna zeslabená zápichem pro pero bandáže

Výpočet probíhá obdobným způsobem jako u nezeslabené stěny, značení je shodné.

Přídavek k výpočtové tloušťce stěny se určí dle vztahu:

$$c = c_{11} + c_2 = 0,122 + 0,1 = 0,222 \text{ mm}$$

Určení přídavku c_{11} :

$$\begin{aligned} \text{Ø}97\text{H}9 & \Rightarrow \text{Ø}97_0^{+0,087} \\ \text{Ø}116,5\text{h}7 & \Rightarrow \text{Ø}116,5_{-0,035}^0 \\ c_{11} & = 0,087 + 0,035 = 0,122 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výpočtový tlak

Pro výpočet tloušťky stěny za výpočtového tlaku se užívá vztahu:

$$s_R = \frac{p \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \cdot \frac{1}{m_2} = \frac{17,6 \cdot 97 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 118 - 17,6} = 7,82 \text{ mm}$$

kde $D = 97 \text{ mm}$.

Konstrukcí daná tloušťka dané stěny je $s = 9,75 \text{ mm}$.

Navrhovaná tloušťka stěny musí splňovat podmínku:

$$\begin{aligned} s & \geq s_R + c \\ 9,75 & \geq 7,82 + 0,222 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Pro platnost výpočetního vztahu musí být splněna podmínka:

$$\begin{aligned} \frac{s - c}{D} & \leq 0,3 \\ \frac{9,75 - 0,222}{97} & = 0,1 \leq 0,3 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Tlaková zkouška

Prosté membránové napětí při tlakové zkoušce se určí dle vztahu:

$$\begin{aligned} \sigma_m & = \frac{p_h \cdot [D \cdot m_3 + (s - c) \cdot m_2]}{(s - c) \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \varphi} \\ \sigma_m & = \frac{24,5 \cdot [97 \cdot 1 + (9,75 - 0,222) \cdot 1]}{(9,75 - 0,222) \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1} = 136,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Redukované napětí pak podle vzorce:

$$\sigma_{red} = \sigma_m - \frac{p_h}{2} = 136,96 + \frac{24,5}{2} = 149,21 \text{ MPa}$$

Pevnostní podmínka:

$$\begin{aligned} \sigma_{red} & < 1,35 \cdot [\sigma]_h \\ 149,21 & < 1,35 \cdot 126,7 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

6.2.2 Určení sil ve šroubech

Pro návrh průměru šroubů je nutné znát osově síly působící v jednotlivých režimech. K tomu je nutné určit druh a rozměry použitého těsnění. Jak již bylo zmíněno, je navrhováno těsnění z expandovaného grafitu. Základními parametry těsnění jsou:

$D_{mt} = 106 \text{ mm}$	střední průměr těsnění,
$b = 3 \text{ mm}$	šířka těsnění,
$q_0 = 130 \text{ MPa}$	měrný tlak na těsnění při utažení šroubů,
$m = 1,4$	součinitel těsnění,
$x = 1.$	

Hodnoty součinitelů q_0 , m a x jsou převzaty z dokumentu [9].

Síla nezbytná na otlačení těsnění se určí ze vztahu:

$$F_d = \pi \cdot D_{mt} \cdot b \cdot q_0 = \pi \cdot 106 \cdot 3 \cdot 130 = 129,87 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Síla zabezpečující těsnost se určuje následovně.

Pro výpočtový tlak:

$$F_2 = \pi \cdot D_{mt} \cdot b \cdot m \cdot p \cdot x = \pi \cdot 106 \cdot 3 \cdot 1,4 \cdot 17,6 \cdot 1 = 24,62 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pro zkušební tlak:

$$F_{2h} = \pi \cdot D_{mt} \cdot b \cdot m \cdot p_h = \pi \cdot 106 \cdot 3 \cdot 1,4 \cdot 24,5 = 34,27 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Osově síly ve šroubech od tlaku se určí následovně.

Pro výpočtový tlak:

$$F_p = 0,25 \cdot \pi \cdot D_{mt}^2 \cdot p = 0,25 \cdot \pi \cdot 106^2 \cdot 17,6 = 155,32 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pro zkušební tlak:

$$F_{ph} = 0,25 \cdot \pi \cdot D_{mt}^2 \cdot p_h = 0,25 \cdot \pi \cdot 106^2 \cdot 24,5 = 216,21 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Síla nutná k zabezpečení těsnosti rozebíratelného spoje musí vyhovovat podmínce:

$$F_o \geq \max[F_d; F_2 + F_p; F_{2h} + F_{ph}]$$

$$F_o = 250,48 \cdot 10^3 \text{ N}$$

6.2.2.1 Návrh průměru šroubů bajonetu

Minimální průměr dřívku šroubu se určí podle maximálních sil působících v daných režimech. Z toho důvodu se určí síly působící ve šroubech při výpočtovém a zkušebním tlaku.

$$F_o = 179,94 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{oh} = 250,48 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Minimální průměr dřívku šroubu se vypočte následovně.

Pro výpočtový tlak:

$$d_s = \sqrt{1,27 \frac{F_o}{z \cdot [\sigma]_w} + d_c^2} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{179,94 \cdot 10^3}{6 \cdot 245}} = 12,47 \text{ mm}$$

Pro tlakovou zkoušku:

$$d_s = \sqrt{1,27 \frac{F_{oh}}{z \cdot [\sigma]_{wh}} + d_c^2} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{250,48 \cdot 10^3}{6 \cdot 345,2}} = 12,39 \text{ mm}$$

kde $[\sigma]_w = 245 \text{ MPa}$ je jmenovité dovolené napětí pro šroub,
 $[\sigma]_{wh} = 345,2 \text{ MPa}$ jmenovité dovolené napětí pro šroub při tlakové zkoušce,
 $z = 6$ zvolený počet šroubů,
 $d_c = 0 \text{ mm}$ středový vývrt šroubu.

Dle [5] by měl být minimální průměr šroubu počítán i pro sílu F_d . Vzhledem k tomu, že tato síla je proti ostatním menší, tak tento výpočet nebude uváděn.

Z vypočtených rozměrů volím **6 x ŠROUB M18**.

6.2.2.2 Výpočet utahovacího momentu šroubů bajonetu

Pro personál provádějící montáž těsného spoje je nutné předepsat potřebný utahovací moment, aby byla zaručena hermetičnost. Naopak v případě použití přemrštěné utahovací síly může dojít k nepřipustným deformacím a zničení částí spoje. Utahovací moment pro danou vyvozovanou osovou sílu šroubem se vypočte dle vzorce:

$$M_k = \frac{\zeta \cdot F_{ow} \cdot d_o}{z} = \frac{0,19 \cdot 250,48 \cdot 10^3 \cdot 18}{6} = 142,77 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

kde $F_{ow} = 250,48 \cdot 10^3 \text{ N}$ je osová síla vytvořená utažením šroubů,
 $\zeta = 0,19$ součinitel pro utažení spoje,
 $d_o = 16 \text{ mm}$ jmenovitý průměr šroubů,
 $z = 6$ počet šroubů ve spoji.

Vzorec pro utahovací moment je přejat z [6, s. 409]. Koeficient ζ je uvažován pro mazané šrouby. V jeho hodnotě je uvažováno tření mezi víkem ukazatele polohy a opěrnou plochou šroubu.

Utahovací moment bude předepsán na hodnotu **145 Nm**. Tomuto utahovacímu momentu odpovídá osová síla $F_o=254,38 \cdot 10^3$ N.

Dle [5] nesmí membránové napětí ve šroubech překročit mez $0,7 \cdot R_{p0,2}$, kdy mez kluzu se bere při teplotě tlakové zkoušky.

Normálové napětí σ ve šroubech se určí ze vztahu:

$$\sigma_{mw} = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_3^2 \cdot z} = \frac{4 \cdot 254,38 \cdot 10^3}{\pi \cdot 14,933^2 \cdot 6} = 242,07 \text{ MPa}$$

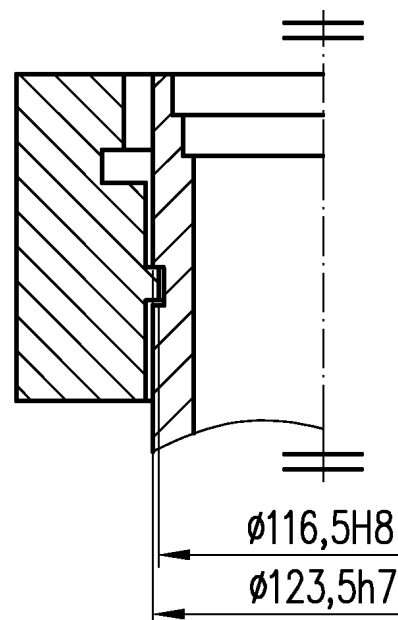
kde $d_3 = 14,933$ mm je malý průměr závitu.

Pevnostní podmínka:

$$\begin{aligned} \sigma_{mw} &< 0,7 \cdot R_{p0,2} \\ 242,07 &< 0,7 \cdot 690,5 & \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

6.2.3 Kontrola pera bandáže

Způsob přenášení osově síly z bandáže na pouzdro pohonu je patrný z obrázku 27. Pero na bandáži zapadá do zápichu vytvořeného v pouzdru pohonu. Z důvodu výrobních tolerancí ovšem nelze zajistit plné zasunutí pera po celém obvodu. Na obrázku je ukázán nadsazený případ, kdy mezi pouzdrem pohonu a bandáží je mezera. Pero tak nepřenáší osovou sílu v plné hloubce zápichu. Z důvodu konzervativního přístupu bude výpočet na otláčení počítán pro tento nejhorší případ po celém obvodu, jež v reálném provedení nemůže díky sevření polovin bandáže nastat.



Obr. 27 Bandáž na pouzdru pohonu

Minimální vnější rozměr pro pouzdro pohonu:

$$\text{Ø}123,5h7 \quad \Rightarrow \quad D_1 = 123,460 \text{ mm}$$

Maximální vnitřní průměr pera bandáže:

$$\text{Ø}116,5H8 \quad \Rightarrow \quad D_2 = 116,554$$

Styčný tlak mezi perem bandáže a pouzdrem pohonu se určí dle následujícího vztahu:

$$p_o = \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4} - \frac{D_1 - D_2}{2} \cdot 2 \cdot a}$$
$$p_o = \frac{254,38 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot (123,460^2 - 116,554^2)}{4} - (123,460 - 116,554) \cdot 4} = 199,64 \text{ MPa}$$

kde $F_0 = 254,38 \cdot 10^3 \text{ N}$ je maximální výpočtová osová síla ve šroubech,
 $a = 4 \text{ mm}$ šířka dělicího řezu bandáže.

Dle [5] nesmí průměrný styčný tlak přesáhnout $1,5 \cdot R_{p0,2}$. V tomto případě se tlak bude posuzovat k materiálu 08Ch18N10T z důvodu jeho menší pevnosti vůči materiálu bandáže. Pevnostní hodnota bude brána za výpočtové teploty.

Podmínka na styčný tlak:

$$p_o < 1,5 \cdot R_{p0,2}$$
$$199,64 < 1,5 \cdot 177 \quad \Rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Dále [5] předepisuje, že průměrné smykové napětí od mechanických zatížení v řezu nesmí překročit mez $0,5 \cdot [\sigma]$.

Smykové napětí ve stříhu na peru bandáže se vypočte dle vzorce:

$$\tau_s = \frac{F_0}{(\pi \cdot D_1 - 2 \cdot a) \cdot b} = \frac{254,38 \cdot 10^3}{(\pi \cdot 123,46 - 2 \cdot 4) \cdot 8} = 83,71 \text{ MPa}$$

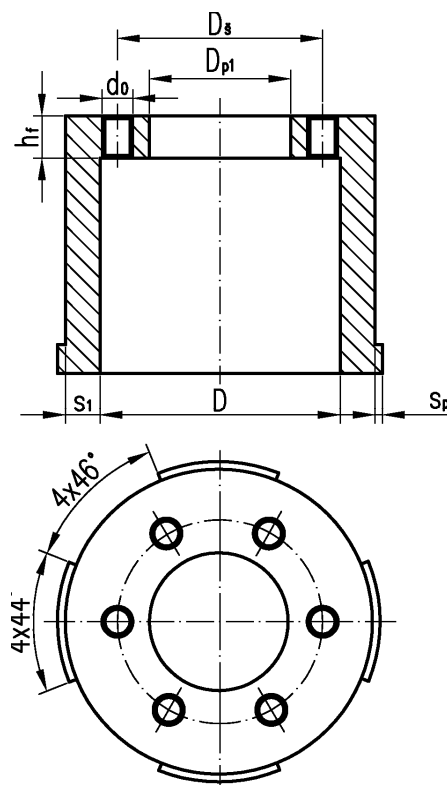
kde $b = 8 \text{ mm}$ je zvolená výška pera bandáže.

Podmínka pro smykové napětí ve stříhu:

$$\tau < 0,5 \cdot [\sigma]$$
$$83,71 < 0,5 \cdot 250 \quad \Rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.2.4 Kontrola rozměrů bajonetu

V tomto oddíle bude proveden výpočet listu bajonetu a kontrola čtyř ozubů bajonetu. Označení jednotlivých rozměrů je naznačeno na obrázku vpravo. V případě výpočtu listu bajonetu se jedná o netypický případ. Bylo tedy nutné některé vzorce upravit pro tuto danou aplikaci. Tloušťka válcové části bajonetu je navržena s vysokou bezpečností. Analytické vzorce nedokáží postihnout válcový tvar bajonetu s přerušnými opěrnými ozuby. Pro možnost použití menších rozměrů by musel být vytvořen podrobný 3D model a na něm proveden kontrolní výpočet s kategorizací napětí. Z důvodů vysokých hardwarových požadavků při použití 3D modelu ve výpočetním programu ANSYS nebylo možné tento výpočet na osobním počítači provést. Návrh tloušťky stěny je proveden analyticky tak, aby stěna vyhověla i v případě, že by došlo k rozvinutí bajonetu do roviny.



Obr. 28 Návrh bajonetu

6.2.4.1 Výpočet listu bajonetu

Ohybový moment v přírubě bajonetu se určí dle vzorce:

$$M = F_o \cdot \frac{D + s_1 - D_s}{2} = 254,38 \cdot 10^3 \cdot \frac{124 + 18 - 104}{2} = 4,83 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

kde	$D = 124 \text{ mm}$	je zvolený vnitřní průměr bajonetu,
	$s_1 = 18 \text{ mm}$	zvolená síla stěny bajonetu,
	$D_s = 104 \text{ mm}$	roztečný průměr šroubů,
	$F_o = 254,38 \cdot 10^3 \text{ N}$	maximální přenášená osová síla.

Výška listu ploché příruby se určí dle vztahu:

$$h_f = \sqrt{\frac{1,27 \frac{M}{[\sigma]} - X}{Y}}$$

V tomto případě budeme hodnotu X uvažovat rovnu nule. Tento člen rovnice zohledňuje moment přenášený válcovou stěnou, která je připojena k přírubě. Tato úprava vztahu přispěje k zesílení listu bajonetu a jde tedy o konzervativní přístup.

Hodnota Y se v tomto případě vyjádří dle vztahu:

$$Y = D + 2 \cdot s_1 - D_{p1} - 2 \cdot d_o = 124 + 2 \cdot 18 - 74 - 2 \cdot 18 = 50 \text{ mm}$$

kde $d_o = 18 \text{ mm}$ je průměr závitů pro šrouby bajonetu,
 $D_{p1} = 74 \text{ mm}$ vnitřní průměr listu příruby bajonetu.

Výška listu příruby tedy je:

$$h_f = \sqrt{\frac{1,27 \frac{M}{[\sigma]}}{Y}} = \sqrt{\frac{1,27 \frac{4,83 \cdot 10^6}{250}}{50}} = 22,15 \text{ mm}$$

Pro konstrukční provedení volím $h_f = 25 \text{ mm}$.

6.2.4.2 Kontrola ozubů bajonetu

Styčný tlak mezi ozuby bajonetu a bandáže se určí dle vztahu:

$$p_o = \frac{F_0}{s_p \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot s_1) \cdot \frac{4 \cdot 44}{360}} = \frac{360 \cdot 254,38 \cdot 10^3}{4 \cdot \pi \cdot (124 + 2 \cdot 18) \cdot 4 \cdot 44} = 258,79 \text{ MPa}$$

kde $s_p = 4 \text{ mm}$ je navržená hloubka ozubů bajonetu.

Podmínka na styčný tlak dle [5]:

$$p_o < 1,5 \cdot R_{p0,2} \\ 258,79 < 1,5 \cdot 441 \quad \Rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Smykové napětí ve stříhu na ozubech bajonetu se vypočte dle vzorce:

$$\tau_s = \frac{F_0}{b \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot s_1) \cdot \frac{4 \cdot 44}{360}} = \frac{360 \cdot 254,38 \cdot 10^3}{12 \cdot \pi \cdot (124 + 2 \cdot 18) \cdot 4 \cdot 44} = 86,26 \text{ MPa}$$

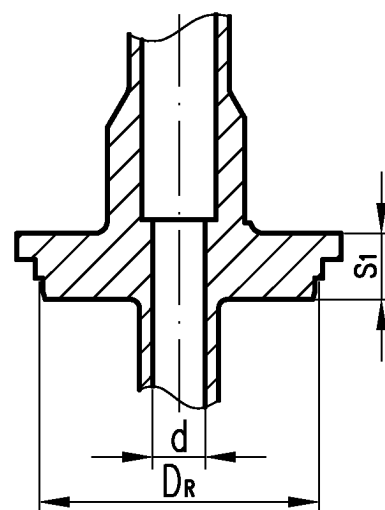
kde $b = 12 \text{ mm}$ je zvolená výška ozubu bajonetu.

Podmínka pro smykové napětí ve stříhu dle [5]:

$$\tau < 0,5 \cdot [\sigma] \\ 86,26 < 0,5 \cdot 250 \quad \Rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.2.5 Výpočet tloušťky víka ukazatele polohy

Detail provedení víka ukazatele polohy je na obrázku 29. Výpočet je proveden zjednodušeným způsobem. Středový vývrt kanálu ukazatele polohy je považován za osamělý otvor. Zesílení válcovými stěnami nebude uvažováno. Tento předpoklad je konzervativní a ovlivňuje tak plnění mezí použitelnosti daných vzorců. Roztečná kružnice šroubů bajonetu má průměr navržený tak, aby nedocházelo ke vzniku zatížení přídatnými silami na víko kanálu ukazatele polohy. Průměr D_R odpovídá střednímu průměru těsnění z expandovaného grafitu.



Tloušťka plochého kruhového víka se vypočte dle vzorce:

$$s_{1R} = K_4 \cdot D_R \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma]}}$$

Obr. 29 Detail víka ukazatele polohy

kde $K_4 = 0,45$

je součinitel pro daný

typ uchycení víka,

$D_R = 106 \text{ mm}$

odpovídá průměru víka pro daný typ uchycení,

φ

součinitel snížení pevnosti.

Podle [5] se součinitel snížení pevnosti víka osamělým otvorem vypočte vzorcem:

$$\varphi_d = \frac{1}{1 + \frac{d}{D_R} + \left[\frac{d}{D_R}\right]^2} = \frac{1}{1 + \frac{20}{106} + \left[\frac{20}{106}\right]^2} = 0,817$$

kde $d = 20 \text{ mm}$

je vnitřní průměr rozšířené části kanálu UP.

Jelikož v místě víka kanálu ukazatele polohy se nevyskytují svary, odpovídá součinitel φ hodnotě φ_d .

Výpočetní tloušťka víka tedy je.

Pro výpočtový tlak:

$$s_{1R} = K_4 \cdot D_R \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma]}} = 0,45 \cdot 106 \cdot \sqrt{\frac{17,6}{0,817 \cdot 188}} = 16,2 \text{ mm}$$

Pro zkušební tlak:

$$s_{1Rh} = K_4 \cdot D_R \sqrt{\frac{p_h}{\varphi \cdot [\sigma]}} = 0,45 \cdot 106 \cdot \sqrt{\frac{24,5}{0,817 \cdot 126,7}} = 23,2 \text{ mm}$$

Zvolená jmenovitá tloušťka víka musí vyhovovat podmínce:

$$s_1 \geq s_{1R} + c$$

kde $c = 0,3 \text{ mm}$ je přídavek k výpočtové tloušťce stěny.

Volím tloušťku víka kanálu ukazatele polohy $s_1 = 25 \text{ mm}$.

Podmínka pro tloušťku plochého víka:

$$s_1 \geq s_{1Rh} + c$$

$$25 > 23,2 + 0,3 \quad \Rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

6.2.6 Kontrola šroubů bandáže

Bandáž je tvořena dvěma polovinami. Ty jsou k sobě svírány dvěma dvojicemi šroubů M 16. Zajišťují plné zasunutí pera bandáže do zápichu v pouzdru pohonu. Návrh jejich rozměru je proveden pouze na základě možných proporcí z konstrukčního provedení. Bude provedena pouze pevnostní kontrola pro zvolený utahovací moment $M_k = 80 \text{ Nm}$.

Osová síla v jednom šroubu se z utahovacího momentu vyjádří dle vzorce:

$$F_{ow} = \frac{M_k}{\zeta \cdot d_o} = \frac{80 \cdot 10^3}{0,26 \cdot 16} = 19,23 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde $\zeta = 0,26$ součinitel pro utažení spoje,
 $d_o = 16 \text{ mm}$ jmenovitý průměr šroubu.

Vzorec je odvozen ze vztahu pro utahovací moment přejatého z [6, s. 409]. Koeficient ζ je uvažován pro mazané šrouby s třením pod hlavou šroubu.

Normálové napětí σ ve šroubech se určí ze vztahu:

$$\sigma_{mw} = \frac{4 \cdot F_{ow}}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 19,23 \cdot 10^3}{\pi \cdot 13,546^2} = 133,43 \text{ MPa}$$

kde $d_3 = 13,546 \text{ mm}$ je malý průměr závitu.

Pevnostní podmínka:

$$\sigma_{mw} < 0,7 \cdot R_{p0,2}$$

$$133,43 < 0,7 \cdot 690,5$$

6.2.7 Kontrola dosednutí styčných ploch ve spoji

Během dotažení šroubů bajonetu musí dojít k dosednutí styčných ploch pera bandáže a zápichu v pouzdře pohonu, aby byla zajištěna jasně definovaná poloha bandáže vůči pouzdru pohonu. Při samotné montáži by toto mohlo být zajišťováno samostatným přípravkem, což by ale montáž prodlužovalo. Zajištění dosednutí styčných ploch během montáže ukazatele polohy je nutné ověřit. Sevřením dvou polovin bandáže dojde k vytvoření svěrného spoje. Ten dokáže přenášet osovou sílu úměrnou síle sevření. V případě vyšší osově síly vytvořené dotažením šroubů bajonetu, než je síla přenášená svěrným spojem, dojde k dosednutí styčných ploch a vymezení vůlí.

Osová síla přenášená svěrným spojením se vypočte dle vztahu:

$$F_{sp} = 2 \cdot f \cdot \mu \cdot F_{ow} \cdot z = 2 \cdot 0,15 \cdot 1,5 \cdot 19,23 \cdot 10^3 \cdot 4 = 34,61 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde $f = 0,15$ je součinitel tření,
 $\mu = 1,5$ součinitel bezpečnosti pro posuv svěrného spoje,
 $F_{ow} = 19,23 \cdot 10^3 \text{ N}$ osová síla ve šroubu bandáže po dotažení,
 $z = 4$ počet šroubů svírající bandáž.

Pro dosednutí styčných ploch pera bandáže a zápichu v pouzdru pohonu je nutné splnění podmínky:

$$F_{sp} < F_o$$
$$34,61 \cdot 10^3 < 254,38 \cdot 10^3 \quad \text{Vyhovuje}$$

kde $F_o = 254,38 \cdot 10^3 \text{ N}$ je osová síla vytvořená utažením šroubů bajonetu.

6.3 Kontrolní výpočet

Jaderná zařízení a jejich části musí plnit svoji funkci za všech provozních podmínek. Pro prokázání schopnosti plnění požadavků musí být zařízení podrobena velkému počtu kontrolních výpočtů. Ty zohledňují co největší počet vlivů působících na zařízení. Jejich výsledky musejí být v souladu s povolenými limity pro zatížení jednotlivých součástí. Provedení kompletního kontrolního výpočtu vyžaduje zpracování velkého množství dat a je velmi časově náročné. V této podkapitole je zpracován kontrolní výpočet na statickou pevnost, respektive vyhodnocení skupin kategorií napětí $(\sigma)_1$ a $(\sigma)_2$ v nejsledovanější části řešeného spoje, tedy pouzdru pohonu. Pro vyhodnocení těchto dvou kategorií se berou v úvahu pouze mechanická zatížení bez vlivu teploty. Jedná se pouze o část výpočtů, jež by bylo třeba provést pro kompletní ověření součástí. V pořadí dalším prováděným výpočtem by bylo určení skupiny kategorie napětí $(\sigma)_{RV}$. V místě zápichu na pouzdře pohonu by musel být proveden kontrolní výpočet pevnosti při cyklickém zatížení z důvodu přítomnosti koncentrátoru napětí.

6.3.1 Výpočtový model

Model je vytvořen ve výpočtovém programu ANSYS 14.0. Z důvodu požadavku na kvalitní strukturovanou síť byl vytvořen zjednodušený 2D axiálně symetrický model. Symetrie je modelována podle osy y. Tvar modelu je na obrázku 30.

Celková sestava modelu se skládá z jednotlivých obdélníkových ploch. Toto rozdělení je nutné z důvodu možnosti vytvoření strukturované sítě. Jednotlivé plochy jsou vysíťovány pomocí osmi uzlových elementů typu PLANE 183. Jejich využití je potřebné k možnosti definování kontaktních ploch mezi jednotlivými součástkami. Jako kontaktní prvky byly využity elementy typu TARGE 169 a CONTA 172. Síť v jednotlivých plochách připadající jedné součásti jsou propojeny pomocí použití příkazu NUMMRG, který umožňuje slučování prvků dle zadaných kritérií. Použitým elementům představujícím jednotlivé součásti byly přiřazeny odpovídající materiálové vlastnosti potřebné pro výpočet. Velikost použitých modulů pružnosti v tahu je uvedena v tabulce 3. Hodnoty odpovídají teplotě 20°C a jsou převzaty z [8]. Změny velikostí modulů pružnosti v tahu vlivem teploty se do výpočtu zahrnují až v případě hodnocení kategorie napětí $(\sigma)_{RV}$.

Tabulka 3 Modul pružnosti v tahu použitých materiálů

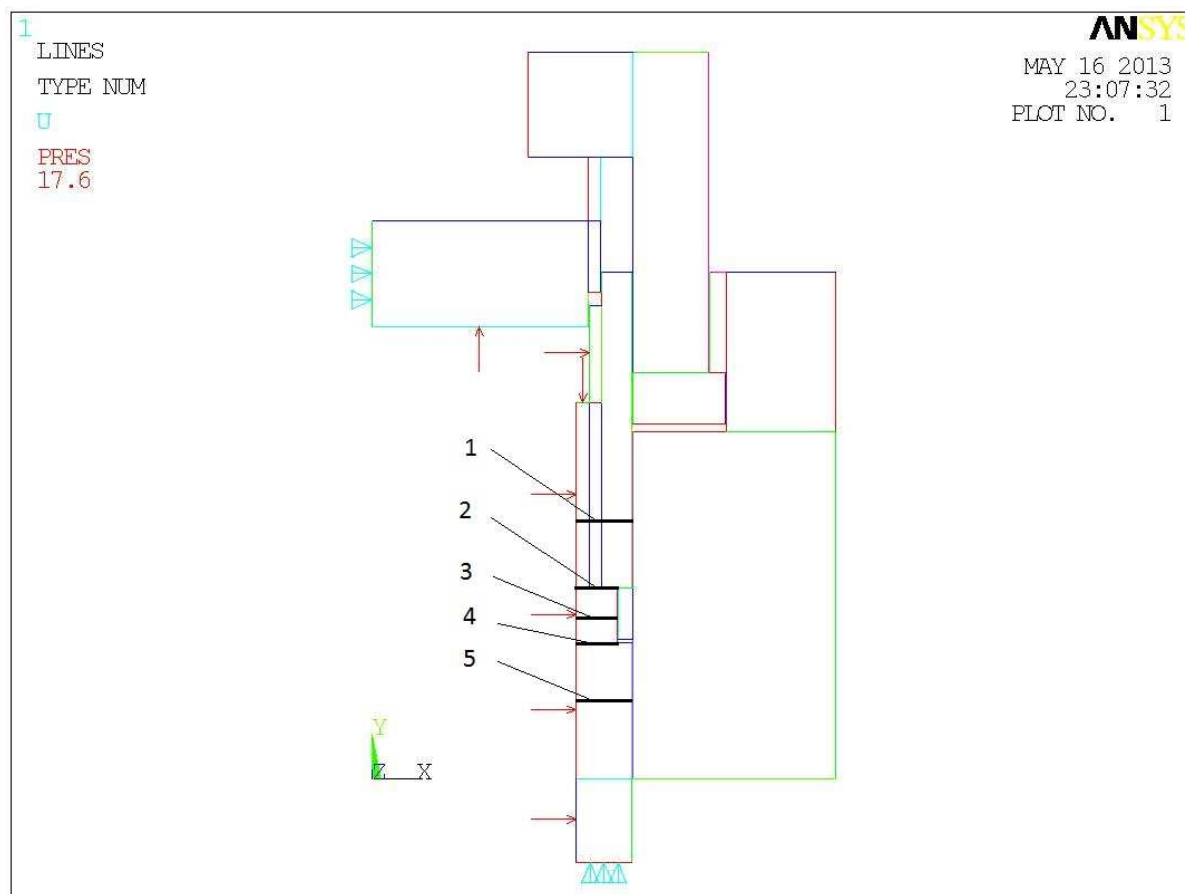
součást	materiál	E
		[10 ³ MPa]
pouzdro pohonu	08CH18N10T	205
šrouby	14Ch17N2	220
bandáž, bajonet	ChN35VT-Vd	205
těsnění	grafit	1,06

Šestice šroubů M18 mezi bajonetem a víkem ukazatele polohy je pro potřeby modelu nahrazena rotačně symetrickým elementem. Jeho poddajnost odpovídá poddajnosti šroubů. Tato záležitost byla počítána dle vztahu pro osovou poddajnost:

$$\lambda = \frac{h}{A \cdot E}$$

kde h je výška válce,
A velikost plochy kolmé k ose deformace,
E modul pružnosti materiálu.

Vzorec byl převzat z [7, s. 86]. Z důvodu snahy o umístění osy průřezu nahrazujícího elementu do místa odpovídající ose skutečných šroubů, bylo nutno snížit průřez elementu. To bylo kompenzováno odpovídajícím zvýšením modulu pružnosti. Čtveřice ozubů bajonetu je modelována jako osazení po celém obvodu. Z důvodu vysoké tuhosti bandáže tento stav neovlivňuje rozložení napjatosti v hodnoceném pouzdře pohonu.

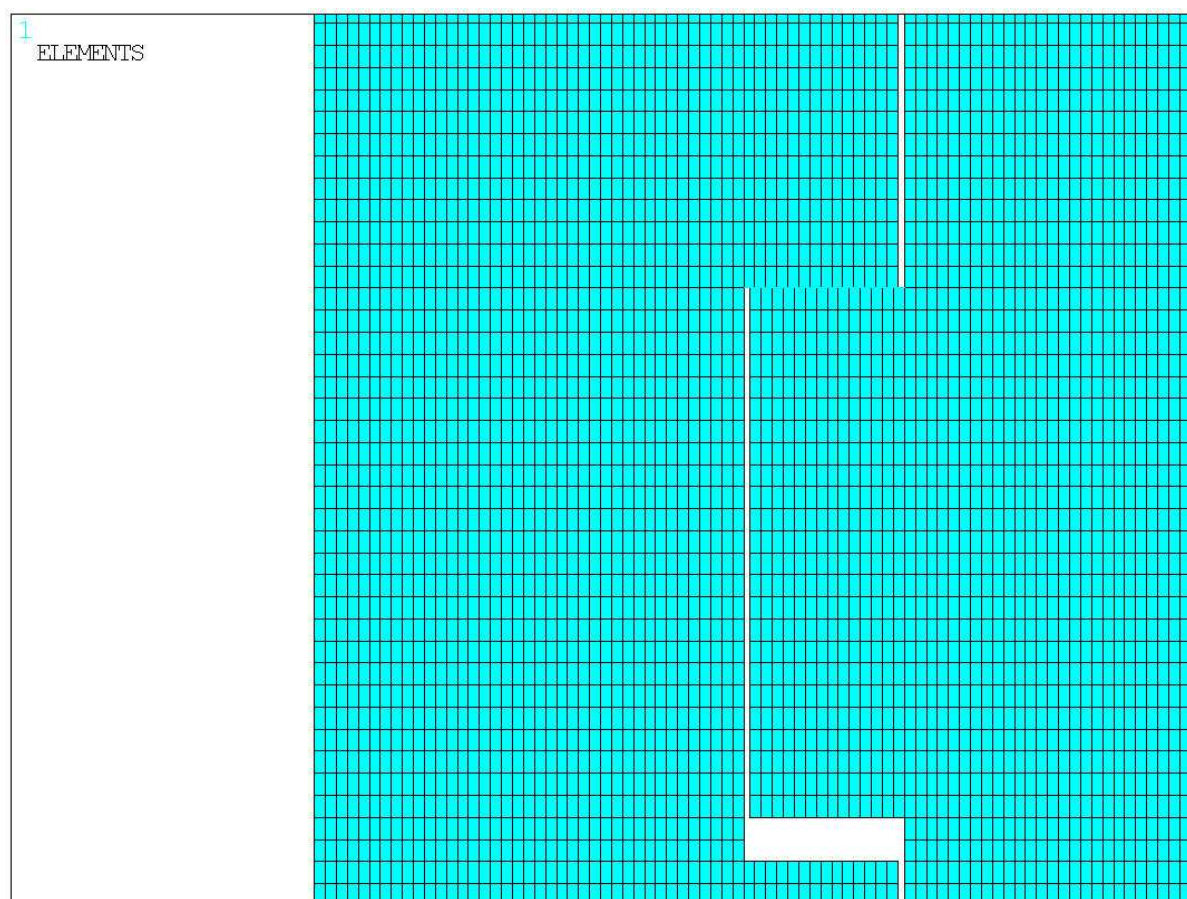


Obr. 30 Výpočtový model

6.3.2 Okrajové podmínky

Pro správnou funkci modelu bylo nutné definovat okrajové podmínky. Rotační symetrii víčka zajišťuje předepsaný nulový posuv ve směru osy x , jak je vidět na obrázku 30. Pozice modelu ve směru osy y je zajištěna předepsaným nulovým posuvem pro tento směr na spodní hraně modelované části pouzdra pohonu. Tlak pro jednotlivé režimy působí na vnitřní straně částí modelu a jeho působení je naznačeno šipkami. Bandáž je s pouzdem pohonu v kontaktu pouze na styčné ploše pera a zápichu. Mezi těmito součástmi je modelována mezera o velikosti 0,15 mm. To je patrné z detailu sítě v místě pera bandáže na obrázku 31. Působení bandáže na pouzdro pohonu v radiálním směru není možné ani v případě velké deformace. V tomto směru není mezi součástmi vytvořen kontaktní pár.

Předepnutí spoje je vytvořeno prostřednictvím definování rozdílných tepelných roztažností jednotlivých materiálů. Změnou teploty spoje lze měnit předepnutí šroubů. Správná hodnota předepnutí byla nastavena postupnými změnami teploty.



Obr. 31 Detail sítě modelu v místě pera bandáže

6.3.3 Vyhodnocení kategorií napětí

Vyhodnocení kategorií napětí bude prováděno v řezech naznačených v obrázku 30. Kategorie napětí $(\sigma)_1$ je vyhodnocena v řezech 1, 3 a 5. Jedná se o redukované prosté membránové napětí. Kategorie napětí $(\sigma)_2$ je vyhodnocena v řezech 2, 3 a 4. Dle [5] je tato hodnota redukovaného napětí určena ze součtu složek prostých nebo místních membránových a prostých ohybových napětí. Hodnoty zjištěné z modelů budou porovnány s limitními hodnotami přímo v tabulkách 4 a 5. Vyhodnocení v řezech se provádí odečtením hodnot napjatosti v jednotlivých směrech zvoleného souřadného systému. Z odečtených hodnot se vytvoří tenzor napětí s průměrnými hodnotami v daných směrech pro každou skupinu kategorií napětí. Následně jsou z tenzoru průměrných napětí vyjádřeny hlavní napětí σ_1 , σ_2 a σ_3 . Redukované napětí se následně vyjádří ze vztahu:

$$(\sigma) = \sigma_1 - \sigma_3$$

Limity napětí jsou převzaty z [6]. Výsledky získané z modelů jsou v grafické podobě znázorněny v příloze č. 1.

Tabulka 4 Vyhodnocení kategorie napětí $(\sigma)_1$

Provozní podmínky	Řez	Kategorie napětí [MPa]	Limita napětí [MPa]	Vyhodnocení
Výpočtový tlak	1	$(\sigma)_1 = 112$	$[\sigma] = 118$	vyhovuje
	3	$(\sigma)_1 = 104$		vyhovuje
	5	$(\sigma)_1 = 82$		vyhovuje
Tlaková zkouška	1	$(\sigma)_1 = 152$	$1,35[\sigma]_h = 171$	vyhovuje
	3	$(\sigma)_1 = 147$		vyhovuje
	5	$(\sigma)_1 = 113$		vyhovuje

Tabulka 5 Vyhodnocení kategorie napětí $(\sigma)_2$

Provozní podmínky	Řez	Kategorie napětí [MPa]	Limita napětí [MPa]	Vyhodnocení
Výpočtový tlak	2	$(\sigma)_2 = 126$	$1,3[\sigma] = 153,4$	vyhovuje
	3	$(\sigma)_2 = 109$		vyhovuje
	4	$(\sigma)_2 = 113$		vyhovuje
Tlaková zkouška	2	$(\sigma)_2 = 178$	$1,7[\sigma]_h = 215,4$	vyhovuje
	3	$(\sigma)_2 = 158$		vyhovuje
	4	$(\sigma)_2 = 162$		vyhovuje

Jak je patrné z tabulek výše, tak pouzdro pohonu z pohledu kategorií napětí $(\sigma)_1$ a $(\sigma)_2$ ve zvolených řezech vyhovuje.

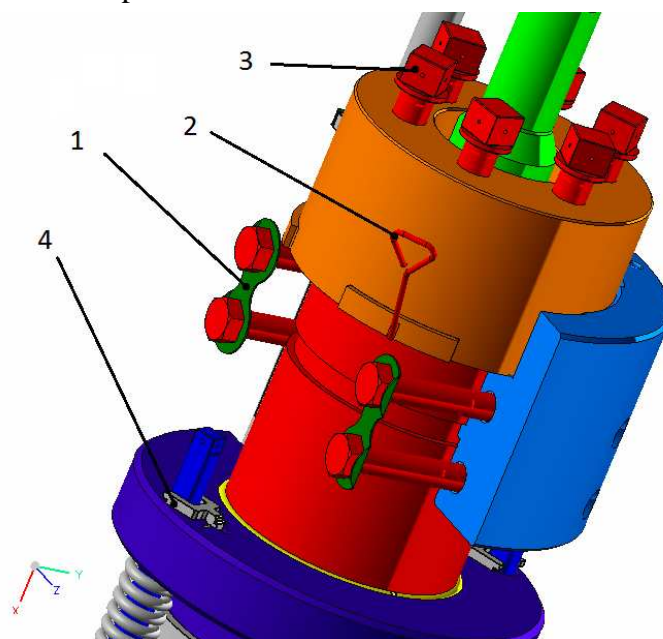
7 Popis detailů konstrukčního řešení

V této kapitole budou uvedeny některé detaily navrženého konstrukčního řešení. Budou také nastíněny výrobní postupy, které zjednoduší dodržení tolerancí předepsaných rozměrů. V příloze č. 2 této práce jsou vloženy obrázky vytvořeného modelu. Je na nich patrný i postup demontáže celého spoje. Konstrukce barevně zvýrazněných součástí je provedena během této práce. Sestava pohonu a výrobní výkres jedné poloviny bandáže jsou přiloženy jako volná příloha.

7.1 Konstrukční řešení

7.1.1 Pojištění proti povolení a pootočení

Pro správné plnění funkce spoje je nutné, aby všechny šrouby spoje zůstaly po celou dobu provozu utaženy. Šrouby svírající poloviny bandáže jsou proti povolení zajištěny pojišťovacími plechy. Na obrázku 32 (jedna polovina bandáže je skryta) je tento plech označen pozicí 1. Šrouby bajonetu (p. 3) by měly být zajištěny protažením drátu skrze otvory v hlavách šroubů. Pokud by došlo z nějaké příčiny k povolení šroubů bajonetu a odlehčení ozubů, mohl by se bajonet například vlivem vibrací pootočit do polohy pro rozebírání. V případě natlakování primárního okruhu by poté došlo k „vystřelení“ bloku zdvínání a čidla ukazatele polohy z pouzdra pohonu. Aby tento scénář nemohl nastat, je bajonet zajištěn proti pootočení pomocí drátěné pojistky (p. 2). Ta je prostrčena skrze otvor vytvořený v bandáži a zapadá do drážky vytvořené v ozubu bajonetu, jak je patrné z obrázku. V případě povolení spoje by došlo pouze ke vzniku netěsnosti. Šrouby, které předepínají pružiny přitlačující blok elektromagnetů, jsou pojištěny proti povolení pomocí odklápěcích západek. Toto řešení je převzato z původní koncepce.

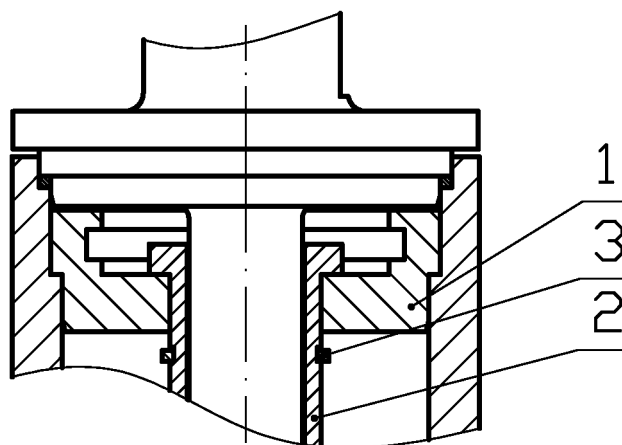


Obr. 32 Pojištění pohyblivých částí spoje

7.1.2 Prvky umožňující montáž

Blok zdvívání je v pouzdře pohonu zavěšen. To je ukázáno na obrázku 33. Víčko bloku zdvívání (p. 1) je opřeno o osazení pouzdra pohonu. Skrze víčko prochází trubka pružinového závěsu (p.2). Pro účely manipulace s blokem zdvívání ve svislé poloze je na vnitřním průměru víčka bloku zdvívání vyroben zápich, do kterého mohou být rozepřeny čelisti manipulátoru. Aby se víčko bloku zdvívání nemohlo posouvat v celé délce trubky pružinového závěsu, je na ní vytvořen zápich. Do toho je vložen dělený kovový kroužek (p. 3), který je po vložení svařen.

Jednotlivé poloviny bandáže mají hmotnost cca 9 kg. Pro možnost manipulace s těmito součástmi pomocí zvedací techniky je do čela obou polovin vyroben závit M8. V případě nutnosti půjdou závity využívat i během montáže.



Obr. 33 Zavěšení bloku zdvívání v pouzdře pohonu

7.2 Výrobní postup

Pro rovnoměrné rozložení silových účinků v jednotlivých ozubech bajonetu je nutná co největší symetrie jak u tělesa bajonetu, tak i bandáže. Potřebné parametry je možné jednoduše dodržet použitím správných výrobních postupů. Ozuby bajonetu by měly být frézovány z osazení vyrobeného pomocí soustruhu na vnějším průměru tělesa bajonetu. Tím bude zaručeno, že styčná plocha ozubů bude v jedné rovině.

Poloviny bandáže musí být vyráběny jako nedělitelný celek. Až po výrobě veškerých průměrů na čisto a vyfrézování ozubů bajonetu je možné díl rozříznout na polovinu. Na těchto polovinách pak mohou být vyrobeny prvky charakteristické pro danou část. Poloviny bandáže použité na jednom pohonu musí být vždy vyrobeny z jednoho polotovaru. Tím bude zajištěno, že styčná plocha ozubů bude po dosednutí per polovin bandáží do zápichu pouzdra pohonu v jedné rovině.

8 Závěr

Před shrnutím praktické části práce uvedu pár slov k úvodní kapitole. Na začátku byly uvedeny zvláštnosti jaderných reaktorů jako regulovaných objektů. Snahou bylo sdělit čtenáři základní poznatky o jejich řízení. Byly popsány základní principy regulace. Důraz byl kladen především na popis jednotlivých částí řídicích tyčí. U absorpčních částí byly nastíněny různé způsoby konstrukčního provedení a uvedeny používané absorpční materiály. Obdobně i u pohonů řídicích tyčí byly popsány jednotlivé konstrukce. Jejich popis byl proveden na pohonech používaných v minulosti nebo i současnosti.

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout nové konstrukční řešení dvou přírubových spojů v oblasti zátky lineárního krokového pohonu pro reaktory typu VVER-1000. Za tímto účelem bylo popsáno současné provedení pohonu, včetně popisu jeho funkce. Podrobným způsobem byla rozebrána konstrukce a montážní postup obou spojů, které jsou předmětem této práce. Následně byla vypracována definice cílových požadavků na nové konstrukční řešení. Těch byla vytvořena velká řada, ale pouze některé splňovaly definované cíle. Do samotné práce byly uvedeny pouze návrhy tří variant. Ty představují jednotlivé koncepce řešení. Byly popsány jejich silné i slabé stránky. Na základě posuzovaných parametrů byla vybrána jedna z variant. Ta splňuje veškeré cílové požadavky. Pro zvolený konstrukční návrh byl proveden výpočet základních rozměrů v souladu s Normativně technickou dokumentací A.S.I. [5]. Provedením částečného kontrolního výpočtu na statickou pevnost bylo prokázáno, že pouzdro pohonu z pohledu pevnostních limitů pro první dvě kategorie vyhovuje. Za tímto účelem byl vypracován 2D axiálně symetrický model v programu ANSYS 14.0. Výsledné hodnoty kontrolního výpočtu z modelu jsou v grafické podobě uvedeny v první příloze této práce. Je nutné podotknout, že pro úplné posouzení navrhovaného spoje by bylo nutné provést ještě celou řadu kontrolních výpočtů všech součástí. Zmíním například kontrolní výpočet pevnosti při cyklickém zatížení a kontrolní výpočet pevnosti při seismických účincích.

Na základě návrhu základních rozměrů byl vytvořen 3D model v programu NX 7. Neupravované části pohonu byly záměrně použity z modelu poskytnutého společností ŠKODA JS a.s. Jejich použitím je možné prokázat, že jednoduchý postup demontáže čidla ukazatele polohy je proveditelný a zvolená varianta tak splňuje požadavek na menší časovou náročnost montáže a demontáže oproti současnému řešení. Jednotlivé kroky demontáže a výslednou podobu 3D modelu pohonu je možné si prohlédnout v příloze č. 2.

Cílem práce bylo vypracovat návrh nového konstrukčního řešení spoje, který by nahradil dva přírubové spoje u současného provedení s ohledem na jednoduchost a robustnost. Tento záměr byl splněn. Výsledný návrh vzešlý z této práce nelze považovat za konečné plně ověřené řešení. Bylo ovšem prokázáno, že dané požadavky tato varianta splňuje a výsledky této práce lze využít jako výchozí podklad pro detailní návrh.

Zdroje informací

Literatura

- [1] BEČVÁŘ, J. a kolektiv, *Jaderné elektrárny*. Praha: SNTL, 1981.
- [2] LAMARSH, J. R., BARATTA, A. J., *Introduction to Nuclear Engineering*. 3rd Edition, New Jersey: Prentice Hall, 1989. ISBN 0-201-82498-1
- [3] HEZOUČKÝ, F., KAŇOVSKÝ, P., NAŇO, J., *Základy teorie provozních režimů jaderných elektráren s tlakovodními reaktory*. Praha: ČVUT, 1977. ISBN 80-01-03324-4
- [4] WÁGNER, K., *Regulace jaderného reaktoru – podklady pro předmět Regulace jaderného reaktoru, KKE/JRE, ZČU v Plzni*. Plzeň: 2010.
- [5] A.S.I., *Normativně technická dokumentace: Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, Sekce III*. Praha: květen 1996.
- [6] *Нормы расчета на прочность оборудования и турбопроводов атомных энергетических установок Г-7-002-86*, Москва 1989
- [7] VOLDŘICH, J., *Návrh přírubových spojů horního bloku tlakové nádoby jaderného reaktoru – podklady pro předmět Semestrální projekt, KKE/SPM*. Plzeň: ZČU 2011.
- [8] ŠKODA JS a.s., *Technická dokumentace, evid. č.: Ae 11382/Dok, Rev. 1*.
- [9] ŠKODA JS a.s., *Technická dokumentace, evid. č.: Ae 7807/Dok R, Rev. 4*.
- [10] ŠKODA JS a.s., *Technická dokumentace, evid. č.: Ae 11417/Dok, Rev. 4*.
- [11] ŠKODA JS a.s., *Technická dokumentace, evid. č.: Ae 4117/Dok, Rev. 3*.
- [12] ŠKODA JS a.s., *Technická dokumentace, evid. č.: Ae 4114/Dok, Rev. 4*.
- [13] ŠKODA JS a.s., *3-D model LKP-M/2*.
- [14] ŠKODA JS a.s., *Výkresová dokumentace k LKP-M/2*.

Dokumenty v elektronické podobě

- [I] Zdebor, J., *Přednášky předmětu Primární okruh jaderné elektrárny, JEP/KKE, ZČU v Plzni* [prezentace, LS 2011/12].
- [II] BURKET, D., DVOŘÁK, S., *Zkušenosti s palivem s vyhořívajícími absorbátory na JE Dukovany* [online, únor 2013]. Dostupné z: <http://www.csvts.cz/cns/news06/060223b>.
- [III] Media WIKI, web ENPEDIIE, *Portál na podporu veřejné informovanosti v oblasti jaderné energetiky* [online, duben 2013]. Dostupné z: <http://enpedie.cz>
- [IV] Google, blog NUKE1010, *Internetový blog zabývající se budoucností v energetice* [online, březen]. Dostupné z: <http://nuke1010.blogspot.cz/2010/10/role-of-control-rods-and-neutron-poison.html>
- [V] Lithuanian Energy Institute, web LEI, *Portál věnující se jaderné bezpečnosti* [online, březen]. Dostupné z: <http://www.lei.lt/insc/index.html>
- [VI] Hezoučký, F., *Přednášky předmětu Výstavba, montáž a provoz JE, JEV/KKE, ZČU v Plzni* [prezentace, ZS 2012/13].

Seznam obrázků

číslo obrázku	název	zdroj
1	Deformace neutronového toku jednou silně absorbuující tyčí	[2]
2	Deformace neutronového toku větším počtem absorpčních tyčí	[3]
3	Palivová kazeta pro VVER-440 s vyhořívajícími absorbátory	[II]
4	Tandemové uspořádání regulační kazety	[I]
5	Svazkové absorpční tyče	[IV]
6	Odpružené uchycení palivových proutků firmy OKB GIDROPRESS	[I]
7	Tvar řídících tyčí u varných reaktorů	[2]
8	Pohon regulačních tyčí reaktorů typu RBMK	[V]
9	Hlavní části pohonu reaktoru VVER-440/V-213	[I]
10	Pohon řídicí tyče elektrárny A1	[I]
11	Schéma hydraulického pohonu řídicích tyčí varného reaktoru	[1]
12	LKP-M ŠKODA	[1]
13	Pouzdro pohonu	
14	Blok elektromagnetů	
15	Detail západek bloku zdvínání	[14]
16	Zapojení cívek ukazatele polohy	[10]
17	Schéma posuvu závěsné tyče nahoru	[10]
18	Schéma posuvu závěsné tyče dolů	[10]
19	Přírubové spoje v oblasti zátky pohonu	[13]
20	Spoj zátky a pouzdra pohonu	[9]
21	Spoj zátky pohonu a příruby ukazatele polohy	[9]
22	Současné provedení čidla ukazatele polohy UP2	[14]
23	Schématický obrázek varianty 1	
24	Schématický obrázek varianty 2	[II]
25	Schématický obrázek varianty 3	
26	Horní část pouzdra pohonu	
27	Bandáž na pouzdra pohonu	
28	Nákres bajonetu	
29	Detail víka ukazatele polohy	
30	Výpočtový model	

číslo obrázku	název	zdroj
31	Detail sítě modelu v místě pera bandáže	
32	Pojištění pohyblivých částí spoje	
33	Zavěšení bloku zdvínání v pouzdře pohonu	

Seznam tabulek

číslo tabulky	název
1	Vlastnosti zvolených materiálů
2	Dovolená napětí vybraných materiálů
3	Modul pružnosti v tahu použitých materiálů
4	Vyhodnocení kategorie napětí (σ) ₁
5	Vyhodnocení kategorie napětí (σ) ₂

Seznam příloh

Přílohy vevázané

číslo přílohy	název
1	Rozložení napětí vřezu spoje
2	3D model navrženého spoje

Přílohy volné

číslo výkresu	název
DP_FP_1	POHON LKP/F
DP_FP_2	BANDÁŽ A“

Příloha č. 1

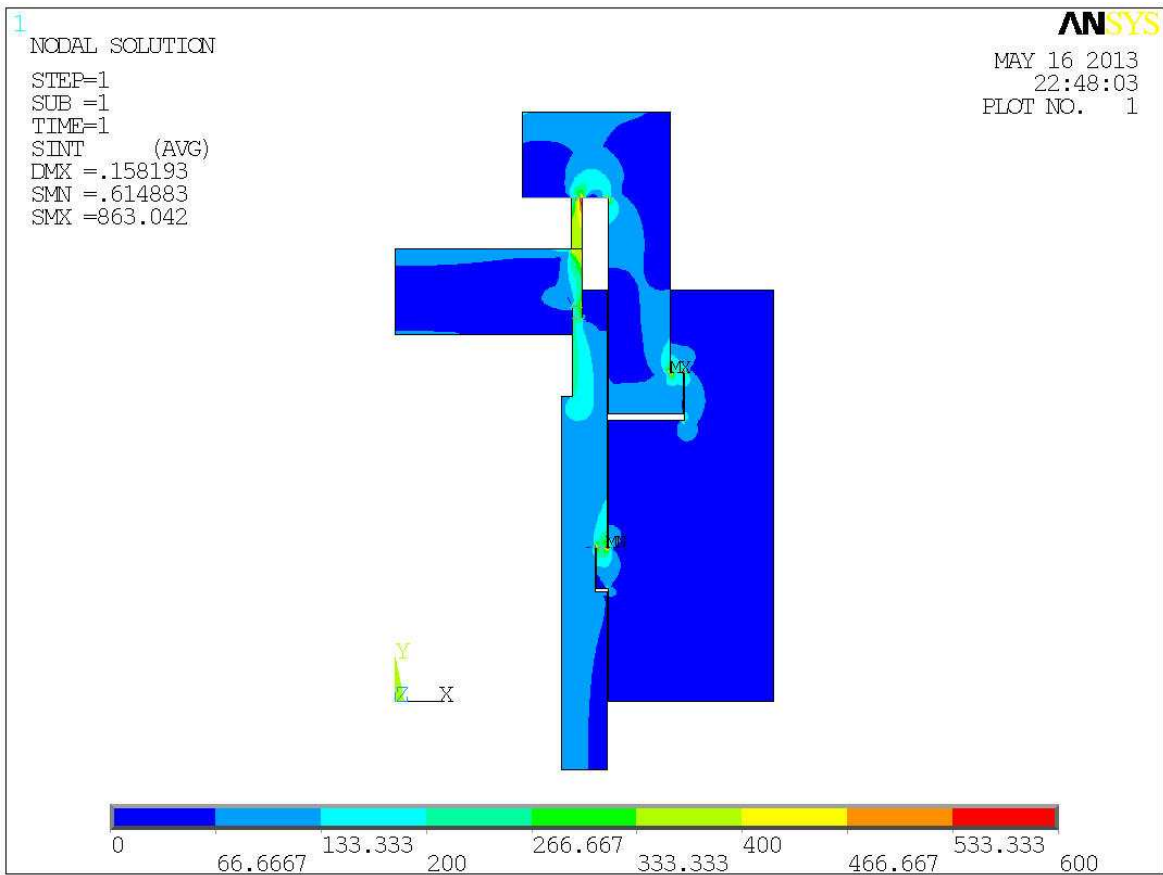
**Rozložení napětí v řezu spoje
(výsledky z programu ANSYS 14.0)**

Komentář

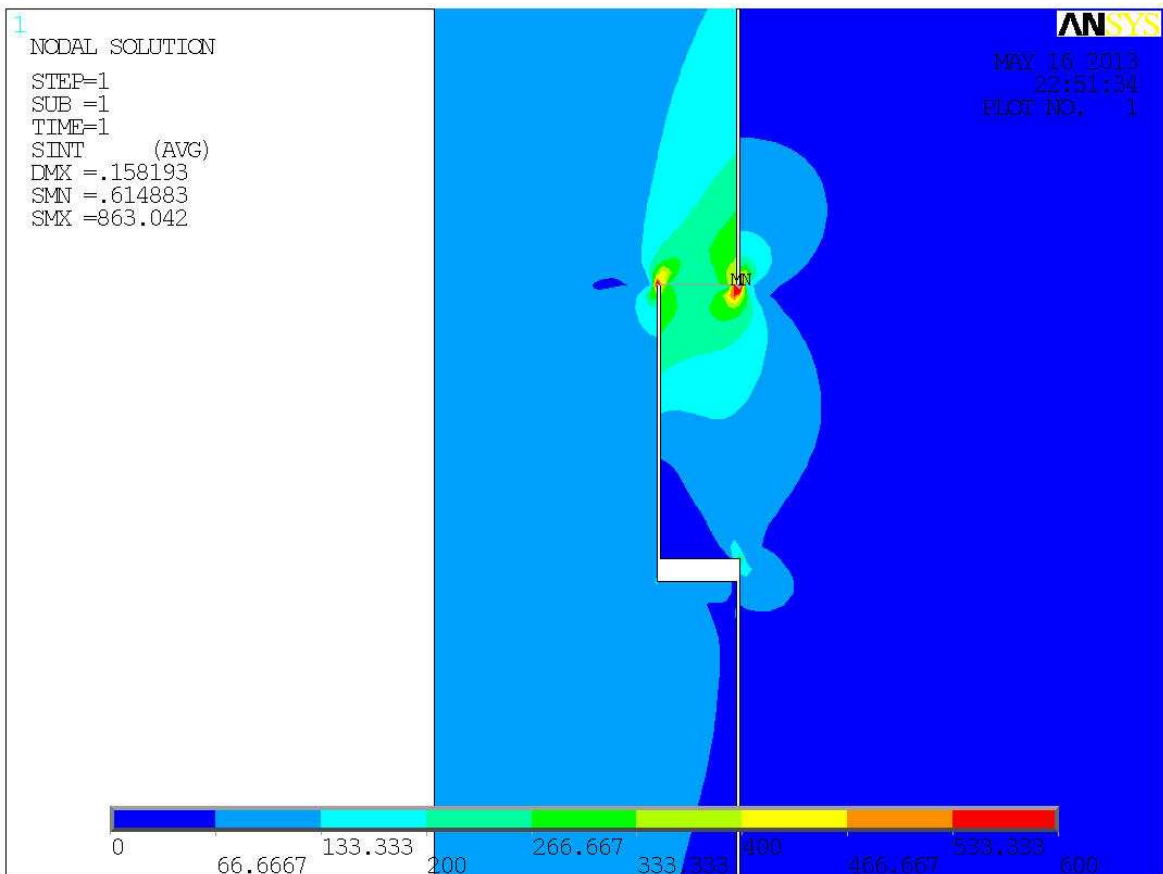
V této příloze jsou ve formě obrázků vyobrazeny výsledky z výpočetního modelu vytvořeného v programu ANSYS 14.0 . Pro oba počítané režimy je ukázáno vždy rozložení pole napětí v průřezu celého modelu a následně detail v místě pera bandáže. Postupně je pro daný režim uvedena intenzita napětí, radiální, osová a obvodová napjatost. Intenzita napětí je vyhodnocena podle teorie maximálních smykových napětí (Trescova hypotéza). Všechny udávané hodnoty napětí jsou v MPa. Škála zobrazených napětí je omezena z důvodu lepší přehlednosti. V popisech obrázků se nalézají označení VP a TLZ. VP značí hodnoty při výpočtovém tlaku 17,6 MPa, TLZ značí hodnoty při tlakové zkoušce (24,5 MPa).

Seznam obrázků přílohy

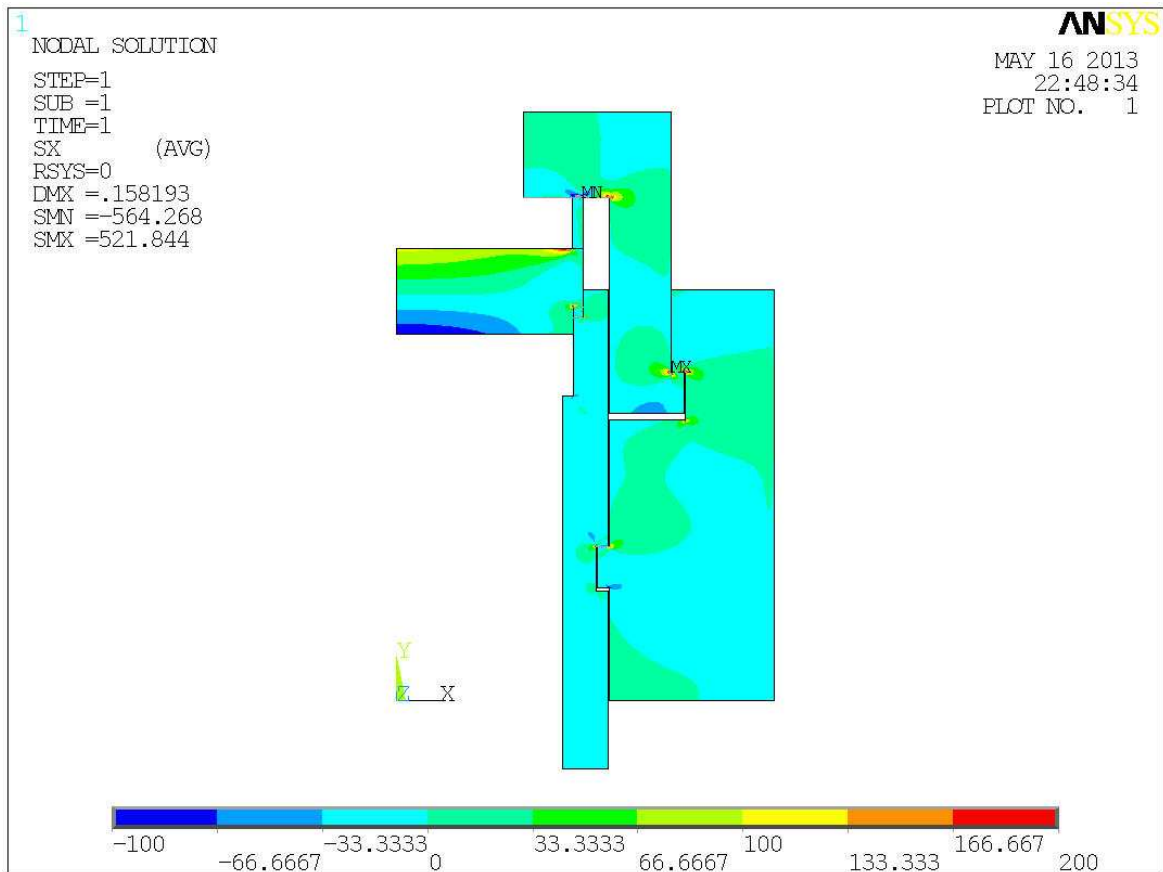
číslo obrázku	název
1	Pole intenzity napětí při VP
2	Pole intenzity napětí při VP - detail
3	Pole radiálního napětí při VP
4	Pole radiálního napětí při VP - detail
5	Pole osového napětí při VP
6	Pole osového napětí při VP -detail
7	Pole obvodového napětí při VP
8	Pole obvodového napětí při VP - detail
9	Pole intenzity napětí při TLZ
10	Pole intenzity napětí při TLZ - detail
11	Pole radiálního napětí při TLZ
12	Pole radiálního napětí při TLZ - detail
13	Pole osového napětí při TLZ
14	Pole osového napětí při TLZ -detail
15	Pole obvodového napětí při TLZ
16	Pole obvodového napětí při TLZ - detail



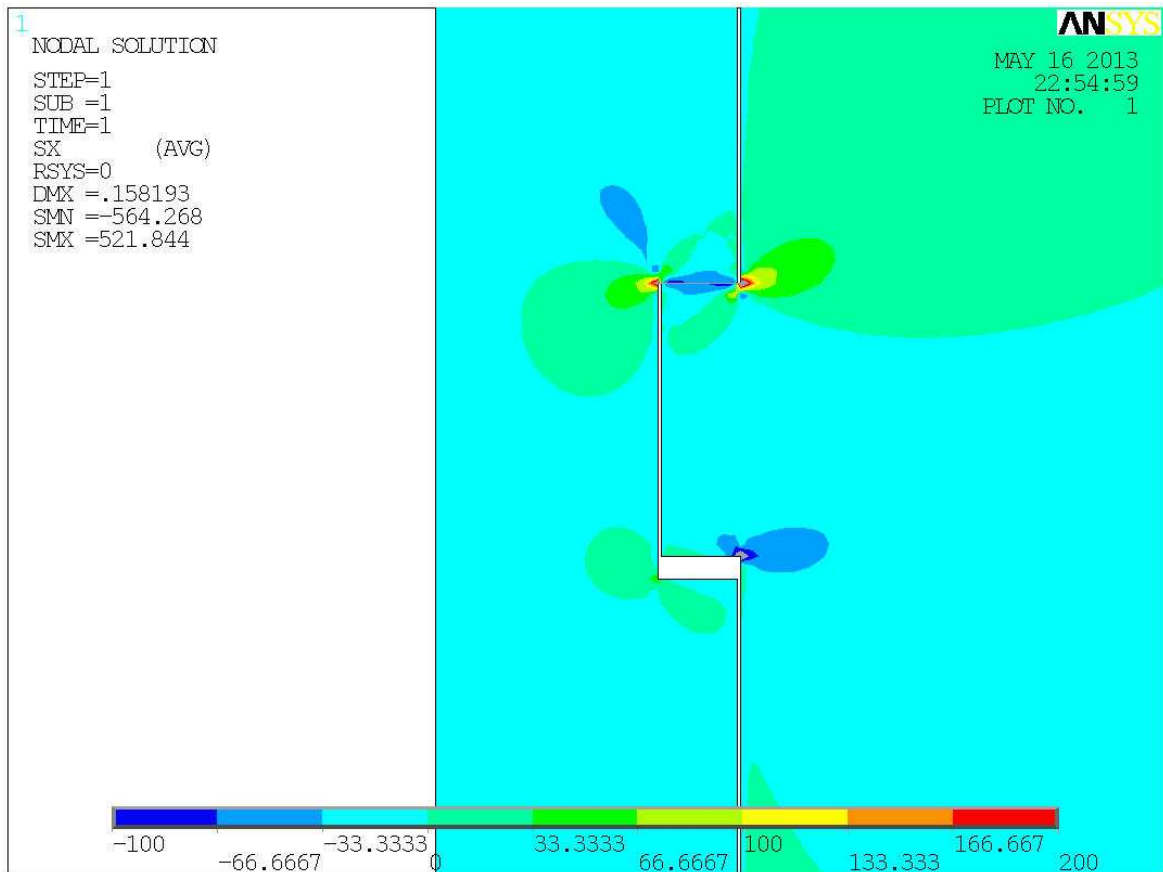
Obr. 1 Pole intenzity napětí při VP



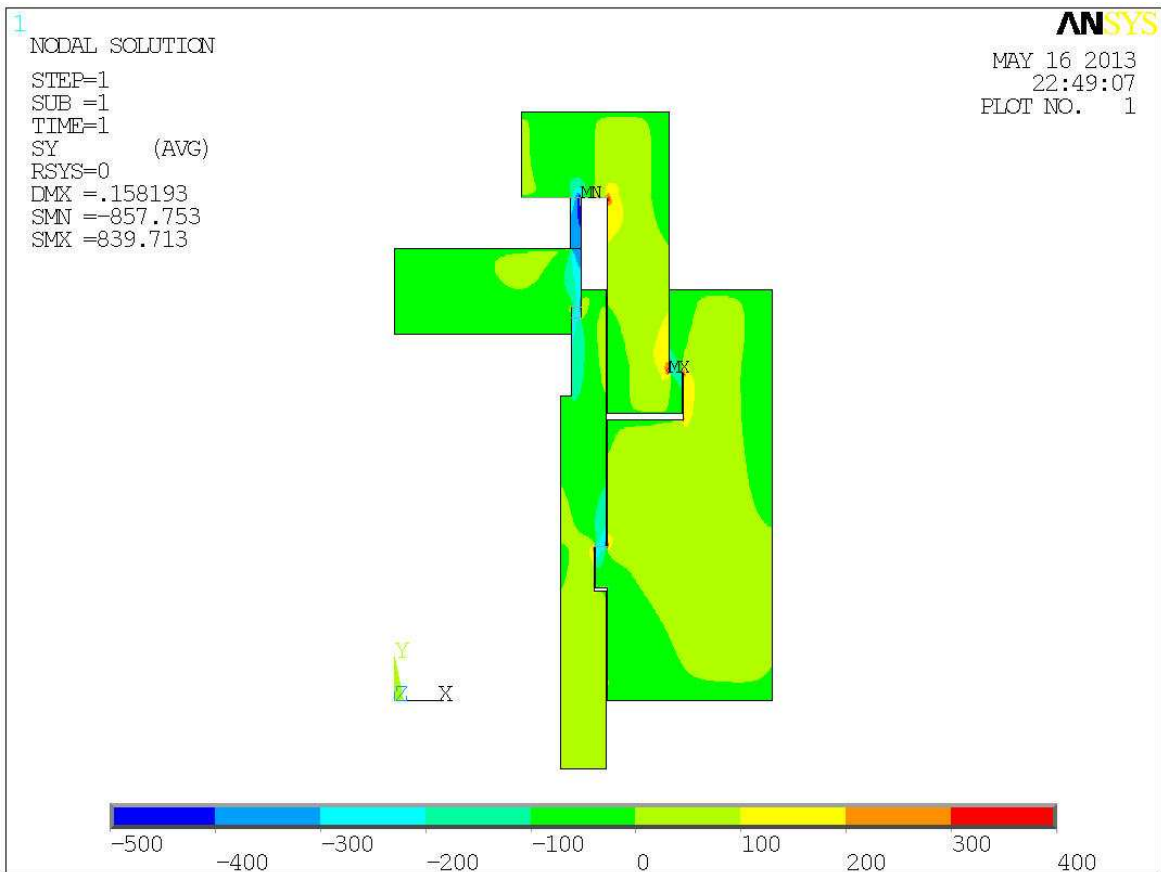
Obr. 2 Pole intenzity napětí při VP - detail



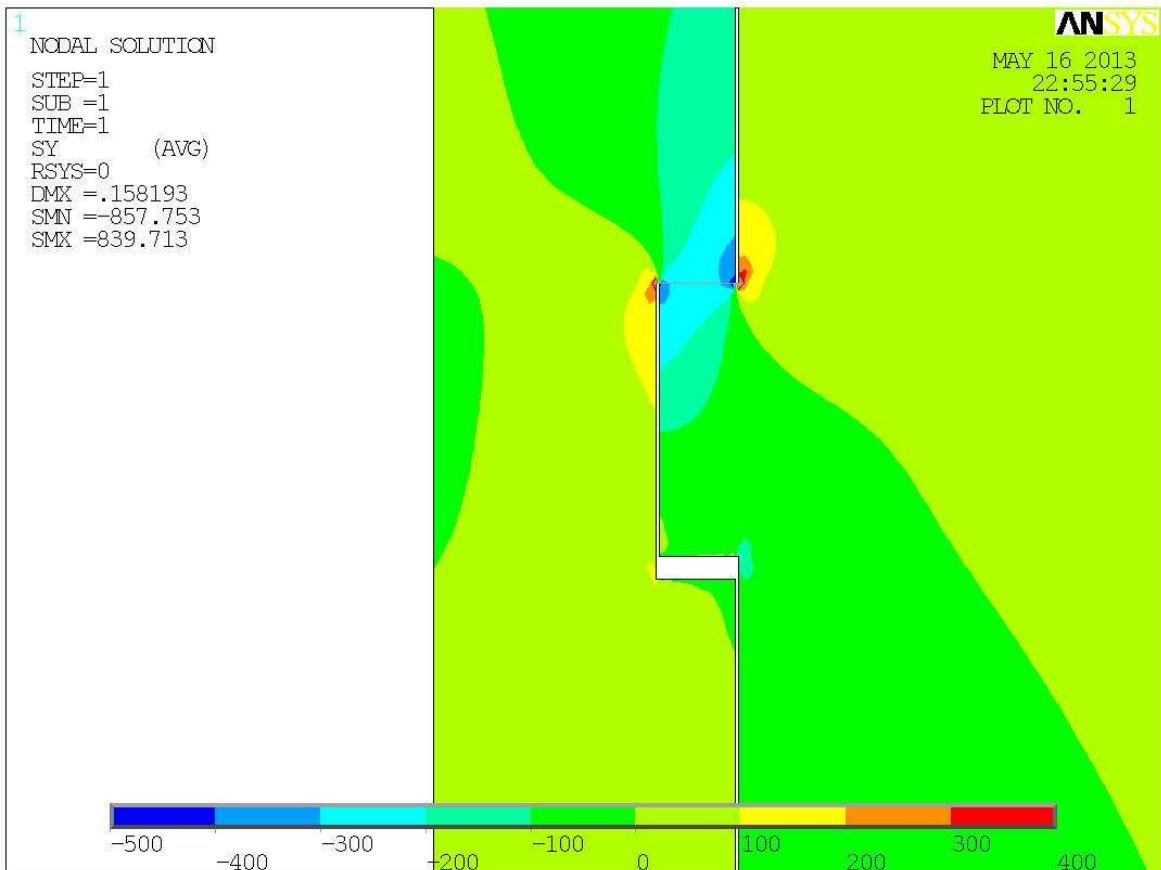
Obr. 3 Pole radiálního napětí při VP



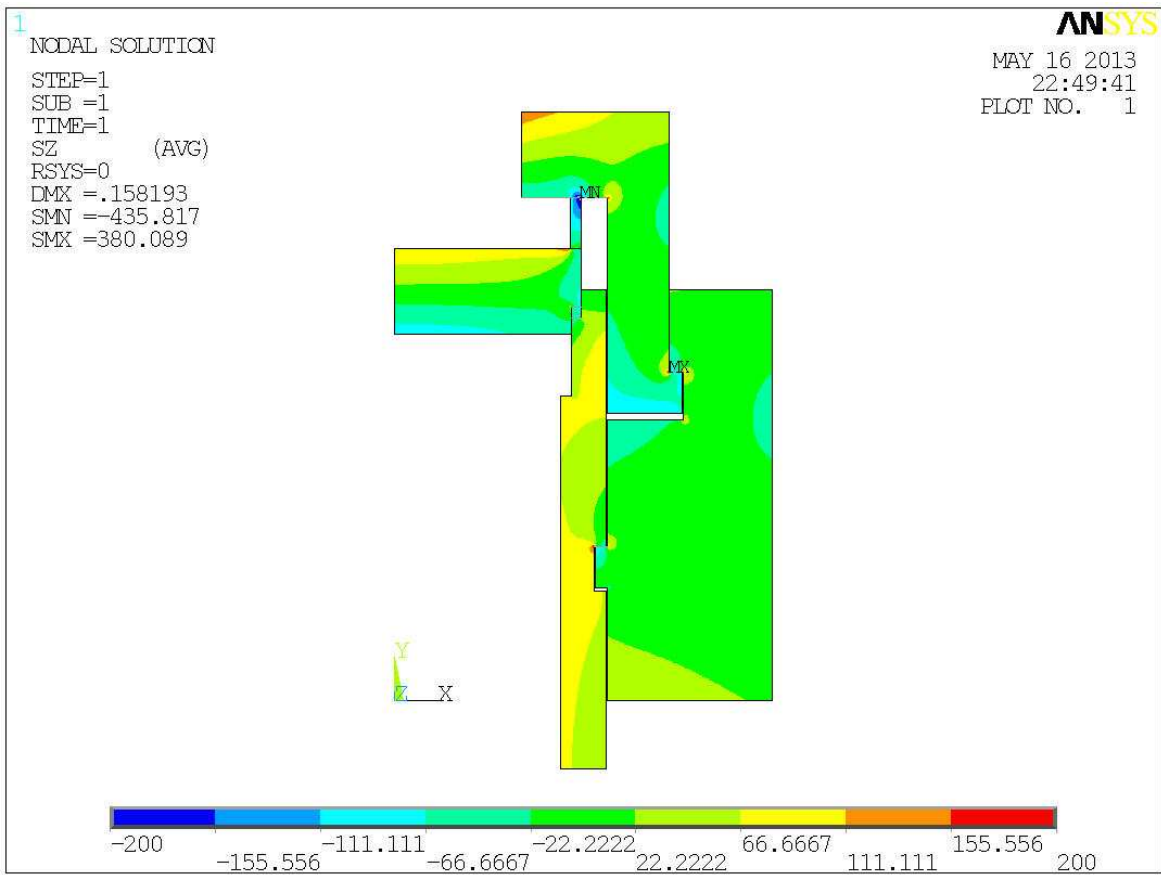
Obr. 4 Pole radiálního napětí při VP – detail



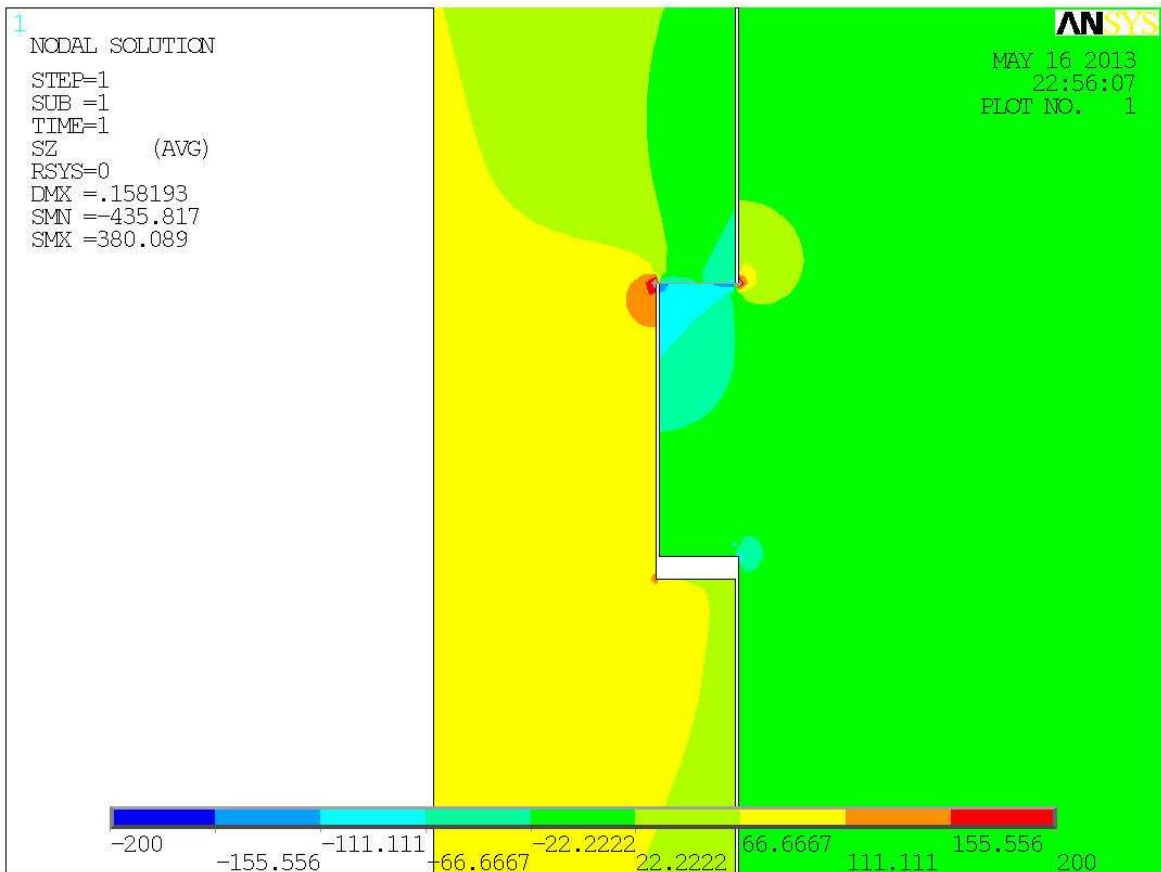
Obr. 5 Pole osového napětí při VP



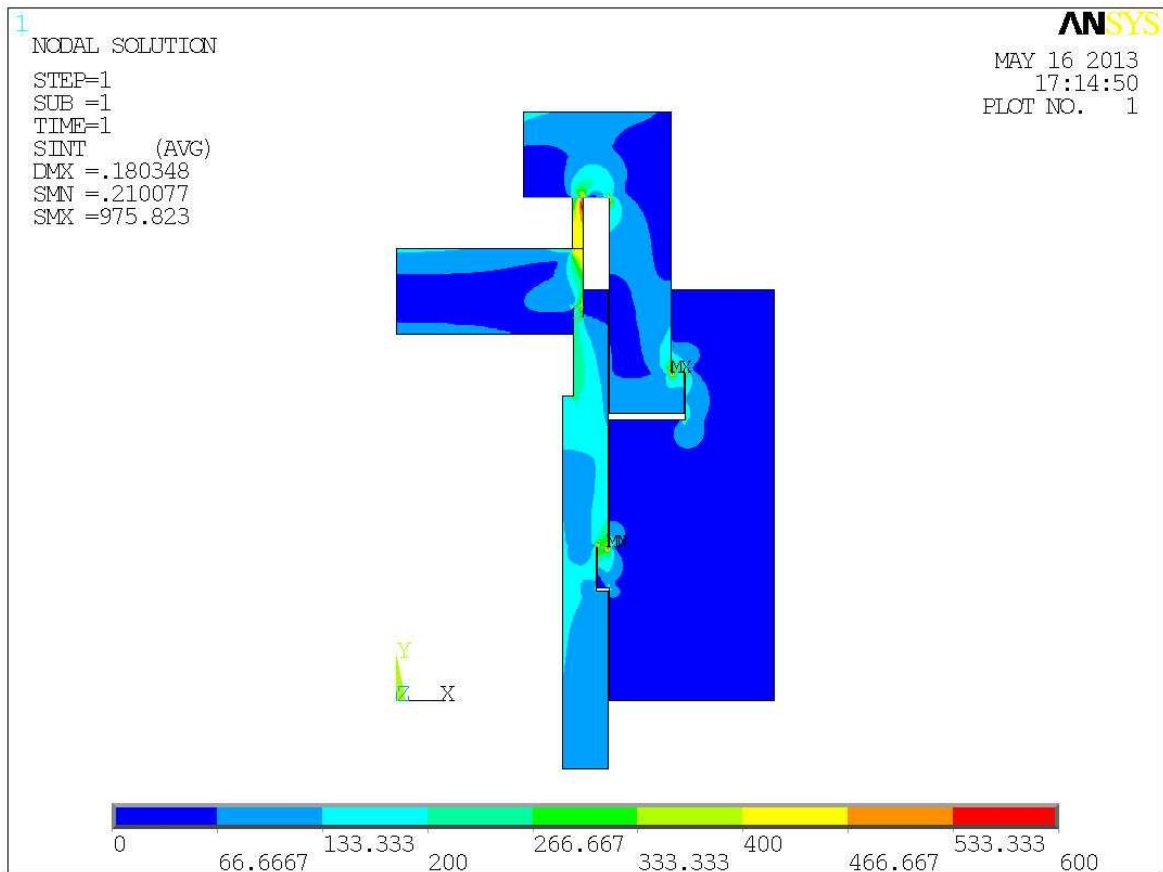
Obr. 6 Pole osového napětí při VP – detail



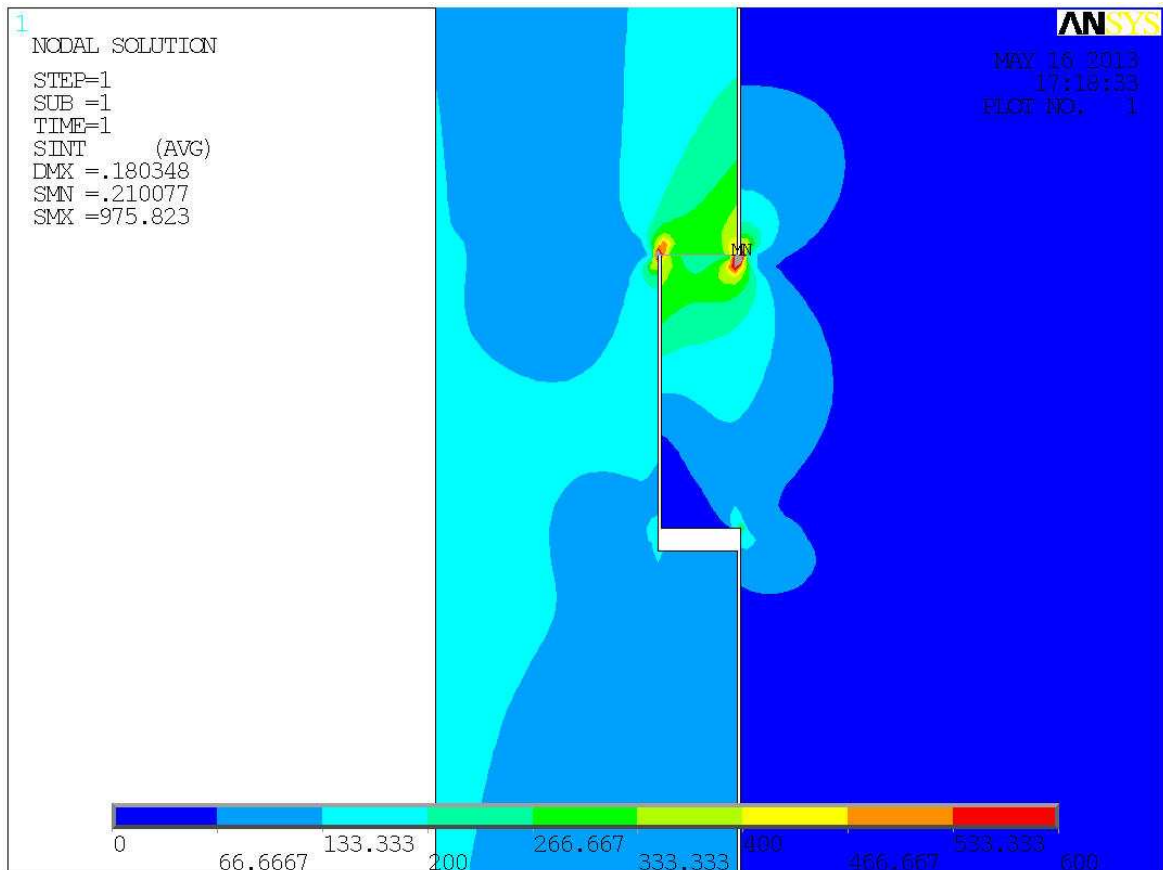
Obr. 7 Pole obvodového napětí při VP



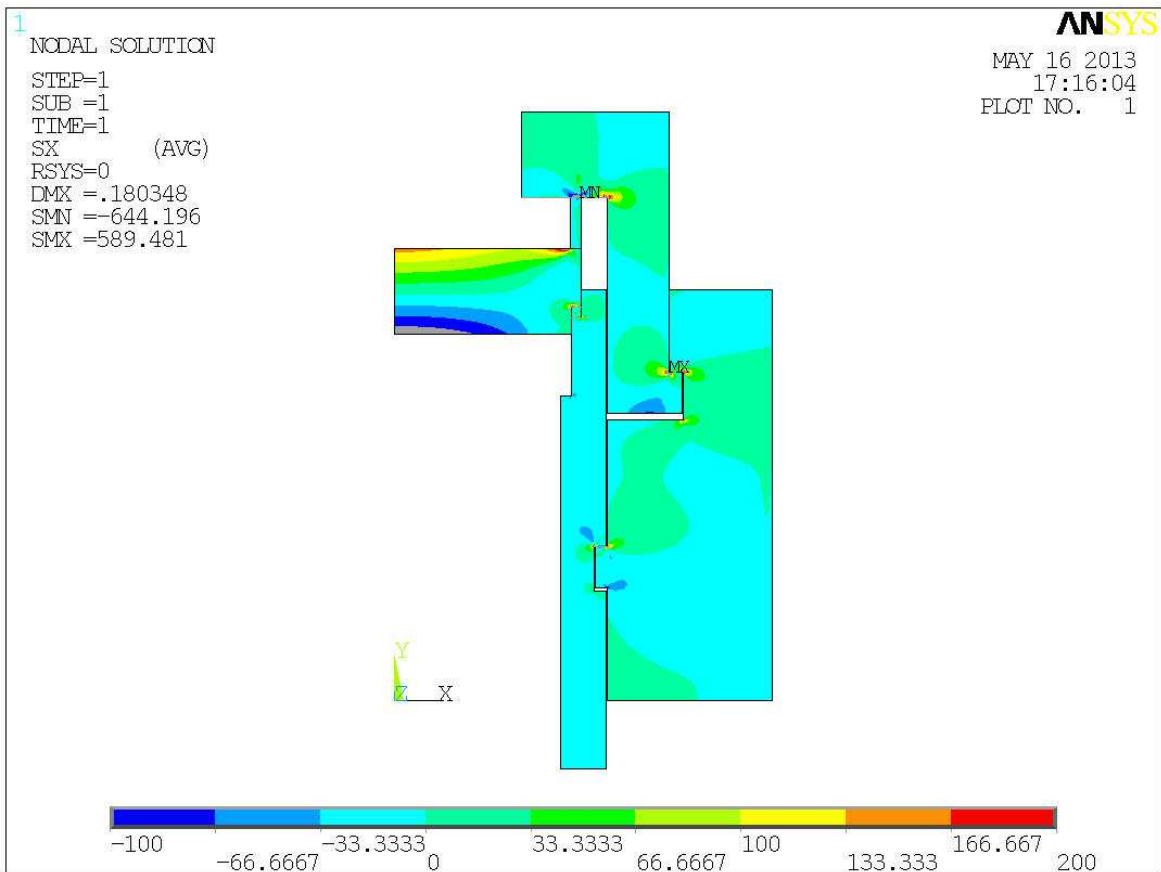
Obr. 8 Pole obvodového napětí při VP - detail



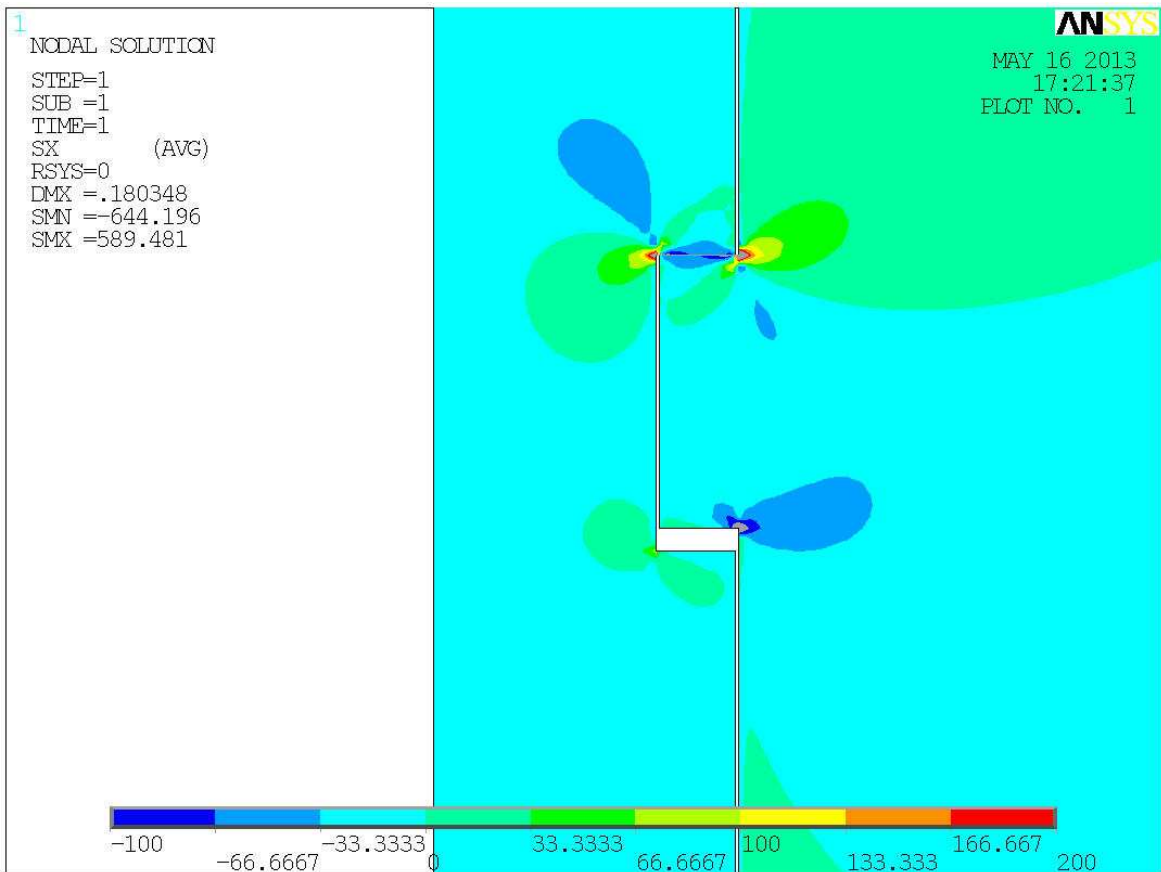
Obr. 9 Pole intenzity napětí při TLZ



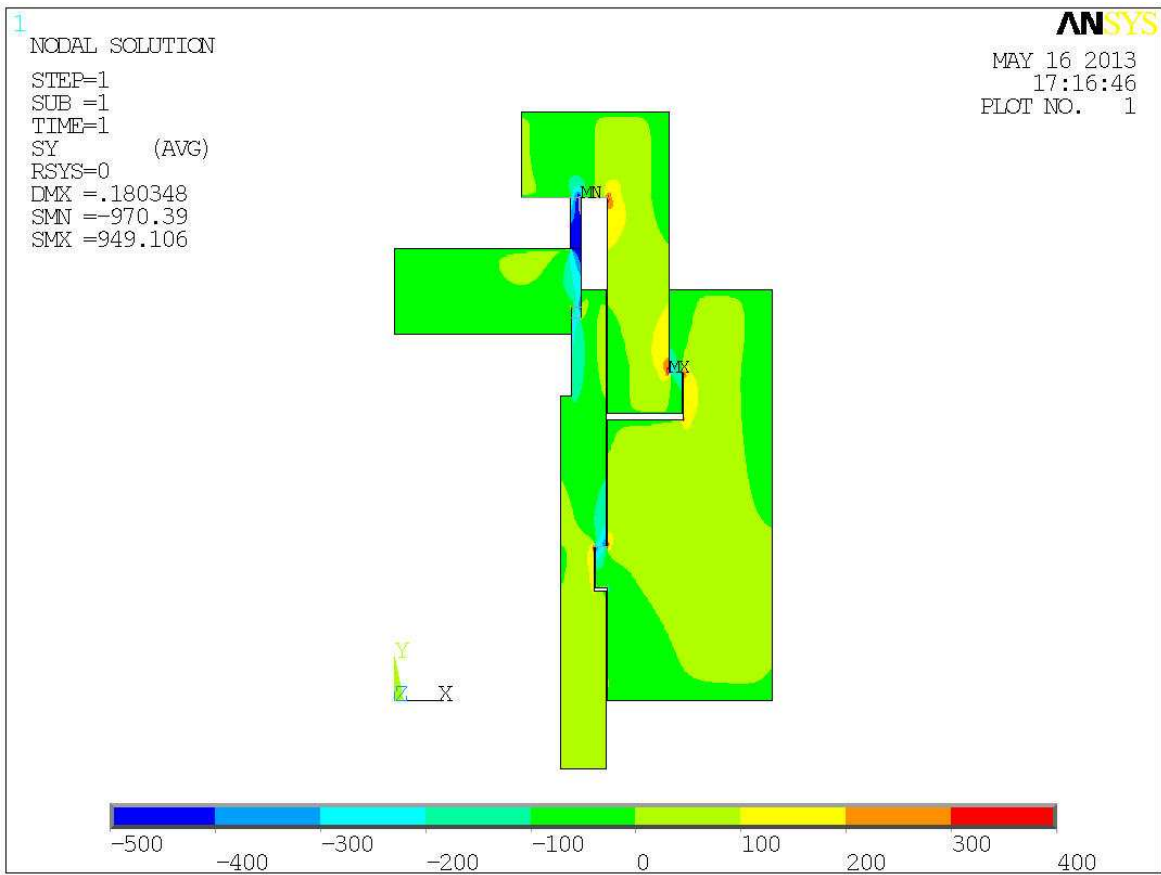
Obr. 10 Pole intenzity napětí při TLZ - detail



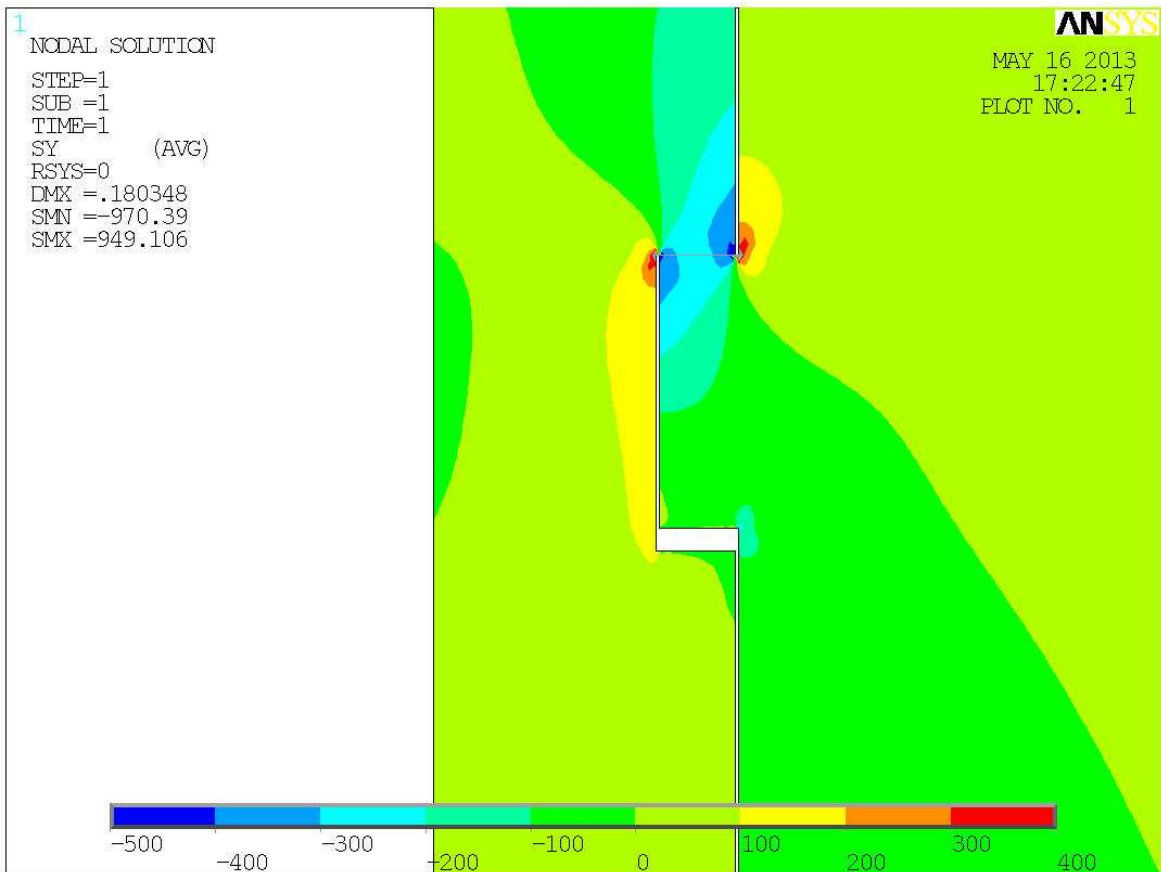
Obr. 11 Pole radiálního napětí při TLZ



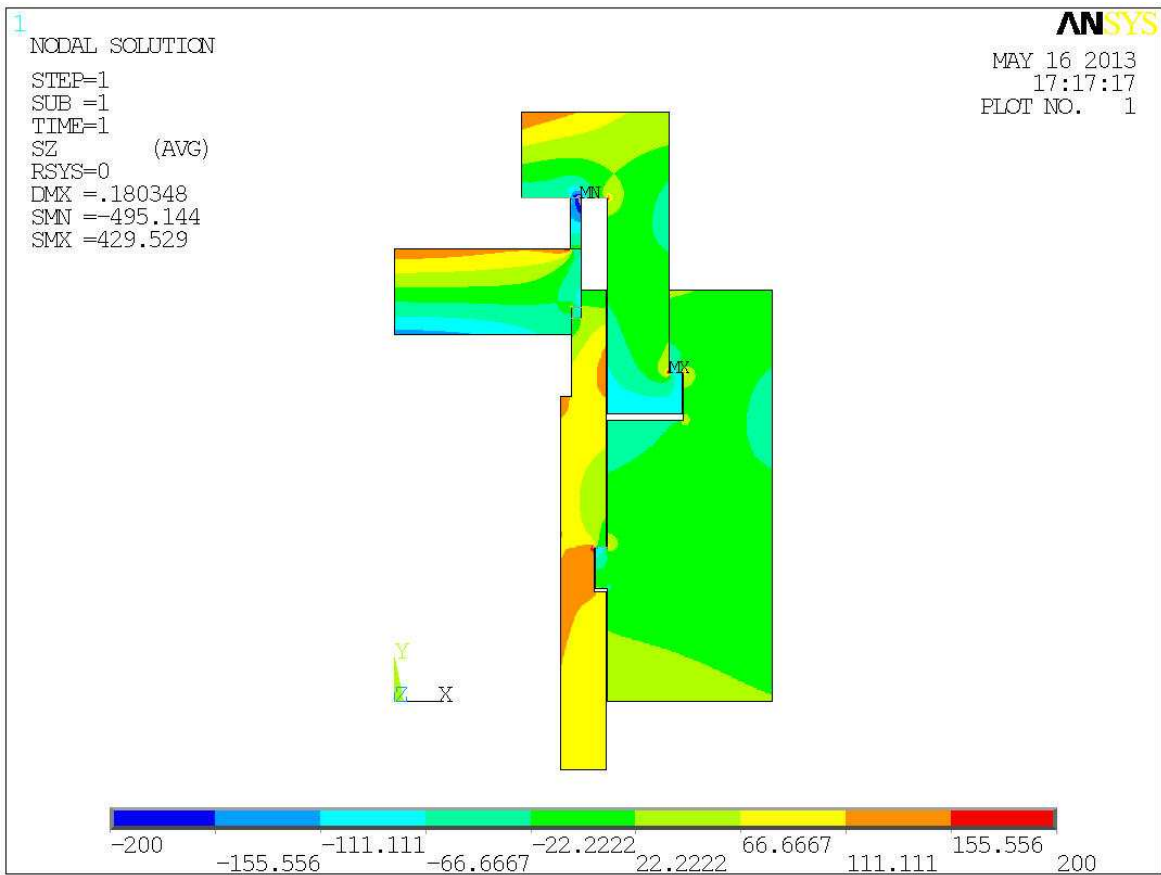
Obr. 12 Pole radiálního napětí při TLZ - detail



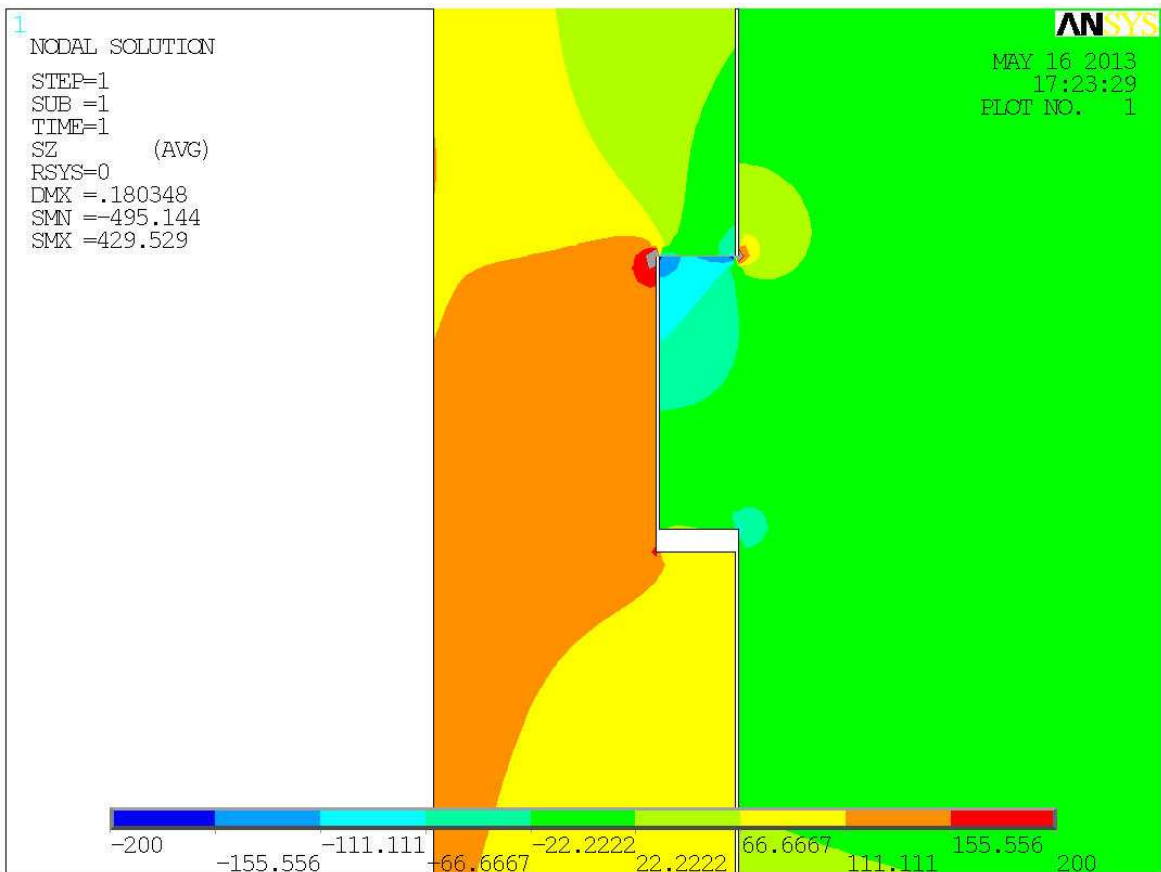
Obr. 13 Pole osového napětí při TLZ



Obr. 14 Pole osového napětí při TLZ - detail



Obr. 15 Pole obvodového napětí při TLZ



Obr. 16 Pole obvodového napětí při TLZ

Příloha č. 2

3D model navrženého spoje

Komentář

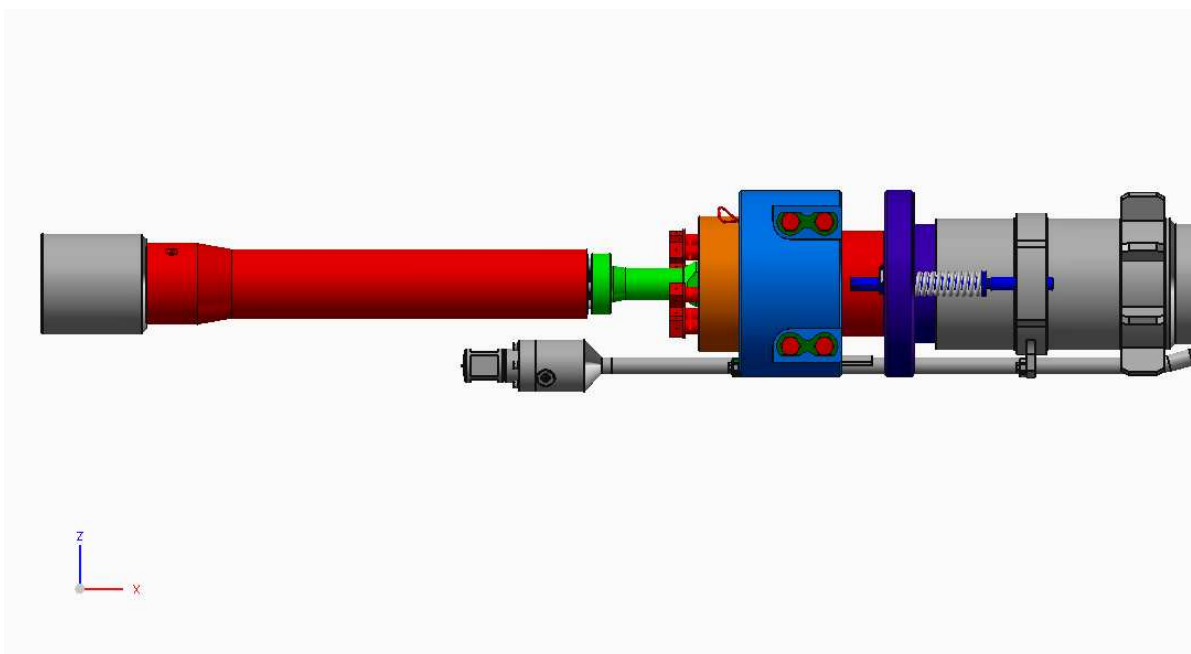
V této příloze jsou obrázky vytvořeného 3D modelu. Barevně vyobrazené části jsou součástí nově navržené konstrukce. Zpočátku přílohy jsou snímky celé sestavy pohonu. Dále jsou zobrazeny jednotlivé fáze demontáže celého spoje.

Seznam obrázků přílohy

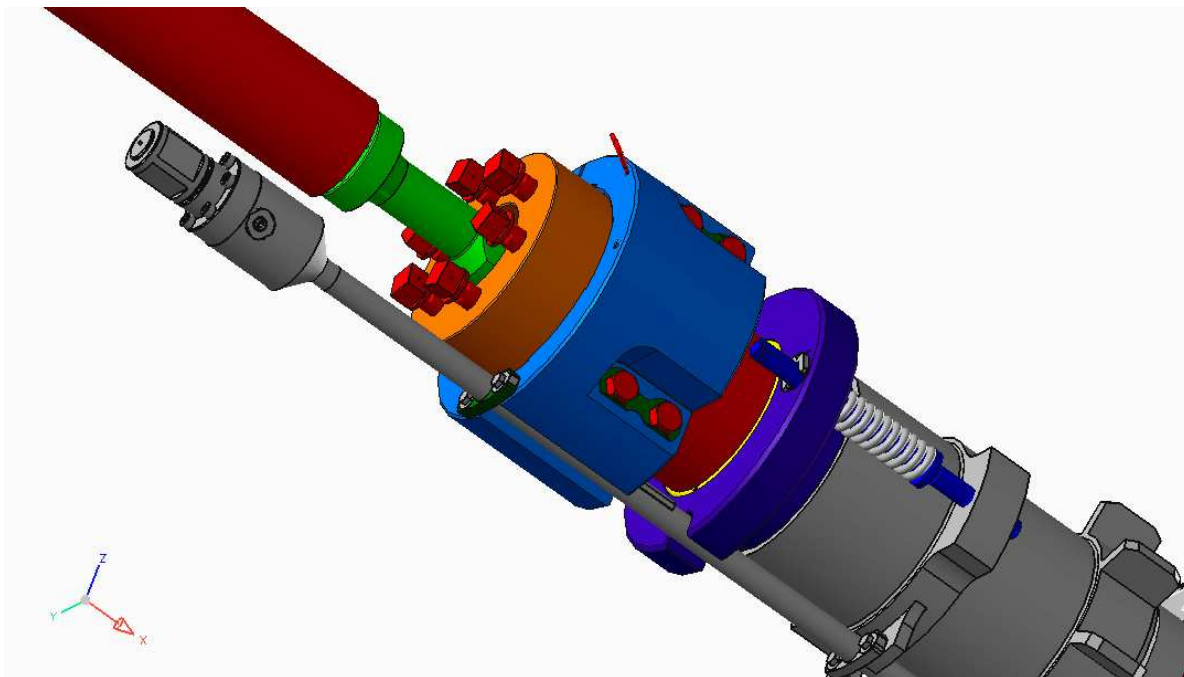
číslo obrázku	název
1	Sestava pohonu
2	Detail přírubového spoje
3	Detail přírubového spoje 2
4	Vyosení bajonetu při vysouvání čidla ukazatele polohy z pohonu
5	Vyosení bajonetu při vysouvání čidla ukazatele polohy z pohonu 2
6	Demontáž bandáže a vytahování bloku zdvihání



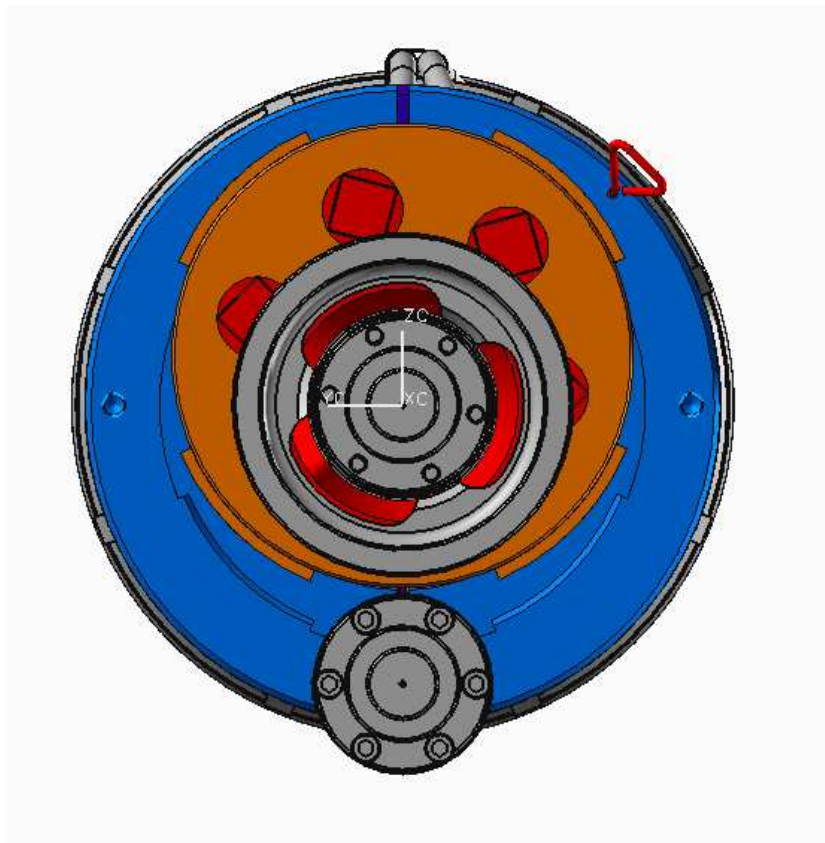
Obr. 1 Sestava pohonu



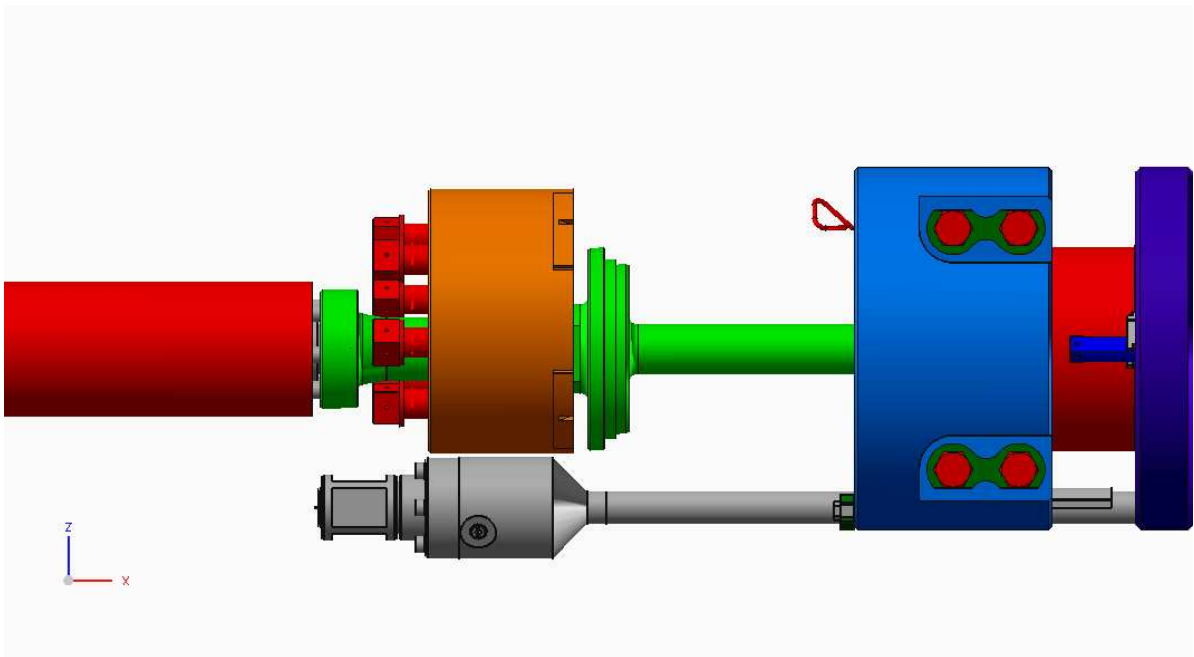
Obr. 2 Detail přírubového spoje



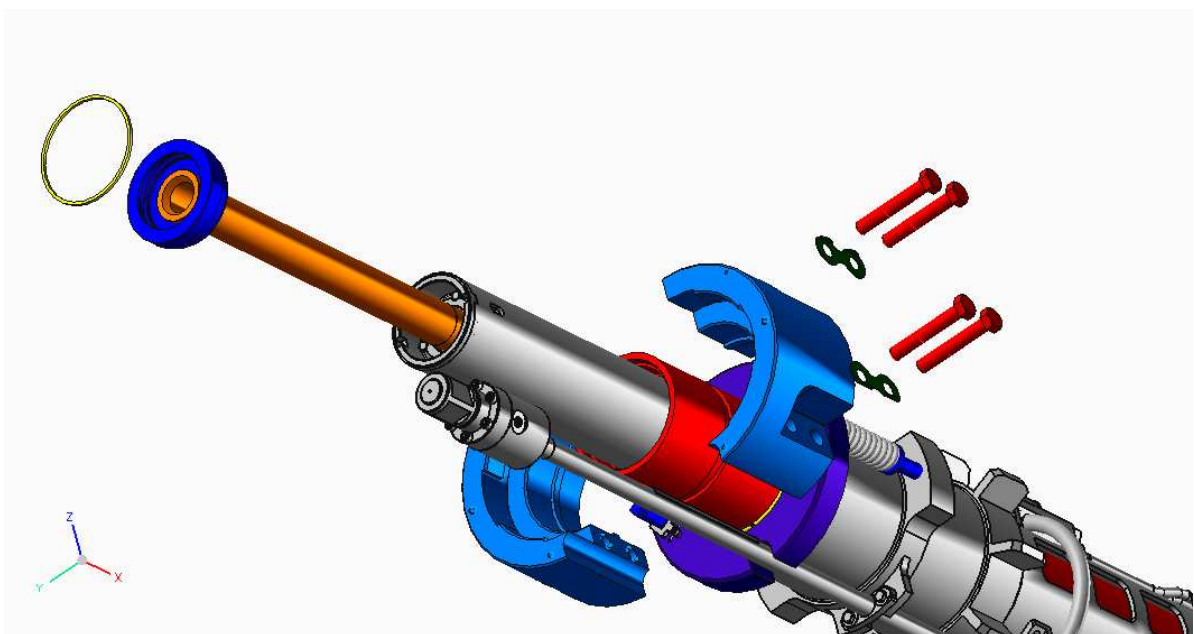
Obr. 3 Detail přírubového spoje 2



Obr. 4 Vyosení bajonetu při vysouvání čidla ukazatele polohy z pohonu



Obr. 4 Vyosení bajonetu při vysouvání čidla ukazatele polohy z pohonu 2



Obr. 4 Demontáž bandáže a vytahování bloku zdvihání