

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční řešení ochranných prvků zařízení na likvidaci čidel
vnitroreaktorové instrumentace

Autor: **Martin MÁCHA**
Vedoucí práce: **Ing. Jan ZDEBOR, CSc.**

Akademický rok 2016/2017

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Janu Zdeborovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Antonínu Rudolfovi za poskytnutou odbornou konzultaci a Ing. Pavlu Macákovi, PhD. za pomoc při výpočtu.

Prohlášení

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

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 01.06.2017

Martin Mácha

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mácha	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 – Strojní inženýrství		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zdebor, CSc.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU – FST - KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční řešení ochranných prvků zařízení na likvidaci čidel vnitroreaktorové instrumentace		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	43	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato bakalářská práce je zaměřena na řešení ochranných prvků u zařízení na likvidaci čidel vnitroreaktorové instrumentace. Cílem práce je navrhnout řešení jednotlivých ochranných prvků, které je možné použít v provozu.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Vnitroreaktorová instrumentace, jaderný reaktor, PWR, VVER, KNI, termočlánek, ochranný prvek

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Mácha	Name Martin	
FIELD OF STUDY	B2301 –Mechanical engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zdebor, CSc.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU – FST - KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Construction design of protective elements for device which is used to destruction of sensors in-core instrumentation		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKE	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	43	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis is focused on construction design of protective elements for device which is used to destruction of sensors in-core instrumentation. The main task this thesis is construction design of protectives elements which can be used operational.
KEY WORDS	In-core instrumentation, nuclear reaktor, PWR, VVER, KNI, thermocouples, protective elements

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
1 Úvod	11
1.1 Jaderný reaktor	11
1.1.1 Rozdělení	13
1.1.2 Lehkovodní reaktory	15
2 Popis vnitroreaktorové instrumentace	21
2.1 Vnitroreaktorová (In-Core) instrumentace PWR	21
2.1.1 Měření neutronového toku	22
2.1.2 Měření teploty	25
2.2 Zařízení na likvidaci čidel neutronového toku a termočlánků	26
2.3.1 Proces likvidace čidel	27
2.3.2 Ochranné prvky	27
3 Funkční analýza a návrh řešení	28
3.1 Podávací mechanismus	28
3.1.1 Popis činnosti mechanismu	28
3.1.2 Návrh řešení	28
3.1.3 Technicko-ekonomické zhodnocení	29
3.2 Pohybový mechanismus	29
3.2.1 Popis činnosti mechanismu	29
3.2.2 Návrh řešení	30
3.2.3 Technicko-ekonomické zhodnocení	30
3.3 Stříhací mechanismus	31
3.3.1 Popis činnosti mechanismu	31
3.3.2 Návrh řešení	31
3.3.3 Technicko-ekonomické zhodnocení	32
3.4 Senzory	32
3.4.1 Popis činnosti mechanismu	32
3.4.2 Návrh řešení	32
3.4.3 Technicko-ekonomické zhodnocení	33
3.5 Přesunový mechanismus	34
3.5.1 Popis činnosti mechanismu	34
3.5.2 Návrh řešení	34

3.5.3 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	34
3.6 Výsledné celkové řešení.....	35
4 Základní pevnostní ověření vybraného konstrukčního uzlu	35
5 Závěr.....	38
Seznam literatury a informačních zdrojů	39

Seznam symbolů a zkratek

PWR	Dvouokruhový tlakovodní lehkovodní reaktor západní koncepce
VVER	Dvouokruhový tlakovodní lehkovodní reaktor východní koncepce
BWR	Jednookruhový lehkovodní varný reaktor
ABWR	Jednookruhový lehkovodní varný reaktor III+ generace
LWGR	Jednookruhový kanálový reaktor velkého výkonu západní koncepce
RBMK	Jednookruhový kanálový reaktor velkého výkonu východní koncepce
PHWR	Dvouokruhový tlakovodní těžkovodní reaktor
CANDU	Dvouokruhový tlakovodní těžkovodní reaktor kanadského typu
HWLWR	 Dvouokruhový tlakovodní těžko-lehkovodní reaktor
GCR	 Dvouokruhový plynem chlazený reaktor zvaný Magnox
AGR	Pokročilý dvouokruhový plynem chlazený reaktor
PBMR	 Vysokoteplotní modulární jednookruhový heliem chlazený reaktor
LMFBR	Kapalným kovem chlazený rychle množivý reaktor
KNI	Kanál neutronového toku
BOT	 Blok ochranných trub
β	 Beta záření
γ	 Gama záření
a	 Zrychlení pro zatížení konstrukce [m/s]
a_{if}	 Spektrální zrychlení odpovídající i-té složce pro seizmický výpočet [m/s]
F_i	 Ekvivalentní statické zatížení i-té složky seizmického buzení v prostoru [N]
m_i	 Hmoty odpovídající i-té složce pro seizmický výpočet[kg]
k	 Koeficient pro seizmický výpočet [-]
UO₂	 Oxid uraničitý
Rh	Rhodium

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je návrh ochranných prvků zařízení na likvidaci čidel vnitroreaktorové instrumentace. Jak je známo, tak k výrobě elektrické energie na našem území se nemalou částí podílí jaderná energie. K roku 2015 se procentuální zastoupení jaderné energie v české republice blížilo 33%. Vzhledem k omezenému množství fosilních paliv jako hnědé uhlí vzniká otázka, čím v pozdějších letech nahradit tento způsob výroby elektřiny. K roku 2015 procentuální zastoupení výroby elektrické energie spalováním hnědého uhlí sahalo vysoko kolem 43%. I v dnešní době se procentuální zastoupení tohoto způsobu výroby elektřiny pohybuje stále přes 40%. Jednou z variant náhrady hnědého uhlí je zvýšení produkce energie z jaderných elektráren, nebo uvedení do provozu fúzních reaktorů. Ty jsou momentálně stále ve vývojové fázi.

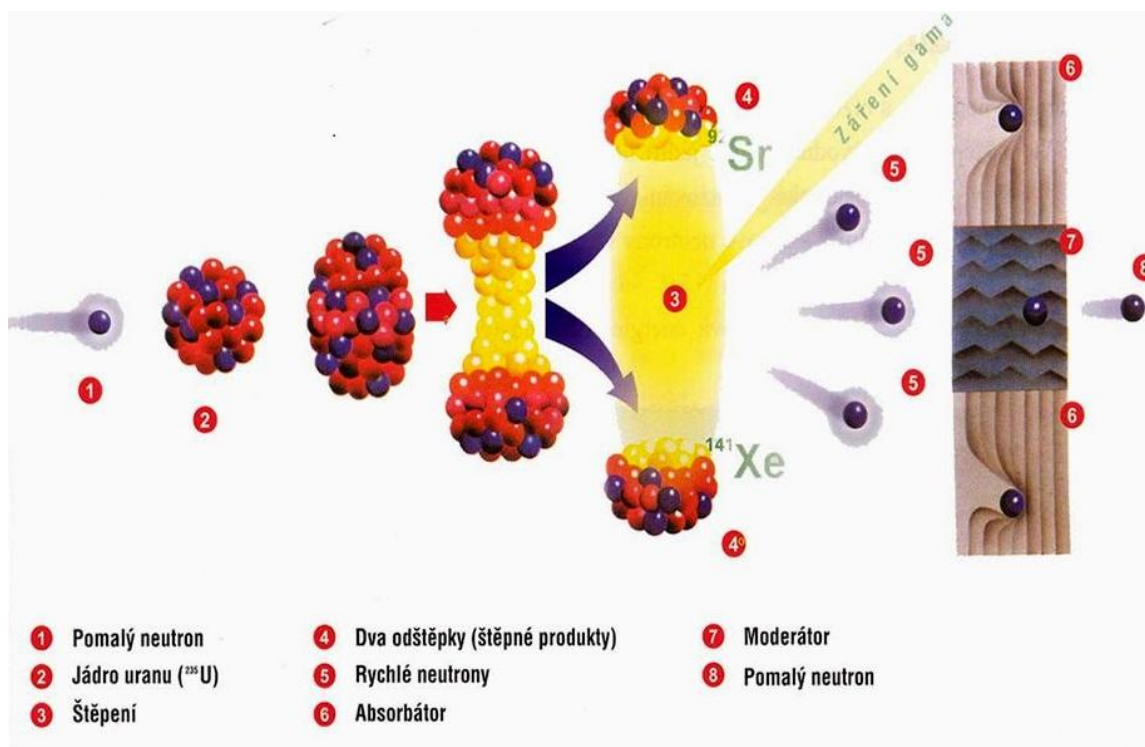
Ke spolehlivému a bezpečnému provozu jaderných reaktorů je zapotřebí vnitroreaktorové instrumentace. Vnitroreaktorová instrumentace jaderného reaktoru patří k jednomu z nejdůležitějších prvků celé elektrárny. Poskytuje informace o chování neutronů v aktivní zóně reaktoru. Další prvkem vnitroreaktorové instrumentace je měření teploty uvnitř reaktoru. Hodně lidí má stále na paměti jadernou havárii Černobylu nebo z roku 2011 japonskou Fukušimu, kde v obou případech hrála hlavní roli vysoká teplota reaktoru, která vedla k následnému výbuchu. Vnitroreaktorová instrumentace je tedy nedílnou součástí každého jaderného reaktoru.

Z důvodu menší životnosti měřících prvků vnitroreaktorové instrumentace v porovnání s reaktorem, je tedy nutné jejich pravidelná výměna a následná likvidace. K tomuto procesu se používá zařízení na likvidaci čidel vnitroreaktorové instrumentace (v technickém slangu označované jako „kničkožrout“), které slouží k bezpečné výměně měřících prvků a k přípravě jejich likvidace. Mechanismy na tomto zařízení jsou z vnější části vystavovány vnějším vlivů okolí, proto je nutné je ochránit. Chránit je také potřeba okolí od případného úniku radiace z vnitřku zařízení. Cílem této práce je tedy vyřešit ochranné prvky toho zařízení.

1.1 Jaderný reaktor

Z energetického hlediska je jaderný reaktor generátorem tepelné energie. Tepelná energie je uvolňována pomocí řízené a samostatně se udržující štěpné řetězové reakce nebo termojaderné reakce. Pod pojmem jaderný reaktor se rozumí reaktor pracující na principu štěpení jader těžkých prvků. Termojaderným reaktorem je označován reaktor realizující exotermickou syntézu lehkých izotopů.

Jaderné reaktory mají široké využití. Mohou sloužit pro školní účely, kde mají studenti možnost seznámit se s danou problematikou, dále nachází využití jakožto transportní pohon (lodě, ponorky, rakety) a v neposlední řadě nachází široké využití jako zdroj tepelné energie k výrobě páry k pohonu parní turbíny pro výrobu elektrické energie. [1]

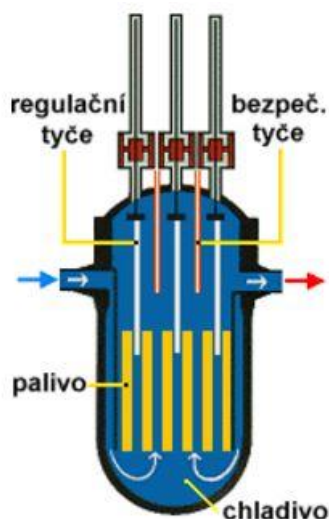


Obrázek 1 - Princip řízené štěpné reakce, zdroj [2]

Jaderné reaktory nemusejí palivo pouze spotřebovávat, ale mohou ho také reprodukovat. Pokud se jaderný reaktor vůbec neúčastní reprodukce, ale pouze štěpný materiál spaluje, nazývá se „burner“. Produkuje-li jaderný reaktor nový štěpný materiál chemicky jiného druhu než sám spaluje, nazývá se „konvertor“ nebo „pseudobreeder“.

Vůbec jednou z nejdůležitějších charakteristik jaderného reaktoru je energie neutronů způsobující štěpení. Podle rychlosti pohybujících se neutronů se hovoří o *rychlých*, *tepelných* (termální, pomalé) a *nadtepelných reaktorech* (epidermální).

U nadtepelných a tepelných reaktorů je nutné zpomalovat neutrony a to pomocí moderátoru (nejčastěji voda nebo grafit). Moderátor určený k tomuto účelu, může být od paliva oddělen prostorově v heterogenní mříži nebo může být s jaderným palivem v homogenní směsi či roztoku. Aktivní zóna je část jaderného reaktoru, ve které dochází ke štěpné reakci. Existují 3 typy aktivní zóny. Jednosložkové, dvousložkové a třísložkové aktivní zóny. [1]



Obrázek 2 - Jednoduché schéma tlakovodního reaktoru, zdroj [3]

1.1.1 Rozdělení

Hledisek rozdělení jaderných reaktorů je mnoho. Mezi nejběžnější způsoby patří rozdělení podle typu moderátoru a chladiva a podle způsobu použití.

Rozdělení podle typu moderátoru a chladiva

Chladivo	Moderátor	Označení	Zkratka
Lehká voda	Lehká voda	Dvouokruhový tlakovodní lehkovodní reaktor; obohacené palivo na ^{235}U	PWR VVER
Lehká voda	Lehká voda	Jednookruhový lehkovodní varný reaktor; obohacené palivo na ^{235}U	BWR ABWR
Lehká voda	Grafit	Jednookruhový reaktor velkého výkonu kanálový; neobohacené nebo málo obohacené palivo na ^{235}U	LWGR RBMK
Těžká voda	Těžká voda	Dvouokruhový tlakovodní těžkovodní reaktor; neobohacené palivo	PHWR CANDU
Lehká voda	Těžká voda	Dvouokruhový tlakovodní těžkolehkovodní reaktor; málo obohacené palivo na ^{235}U	HWLWR
Oxid uhlíčitý	Grafit	Dvouokruhový plynem chlazený reaktor, ve Velké Británii zvaný Magneox , neobohacené nebo málo obohacené palivo na ^{235}U	GCR AGR
Helium	Grafit	Vysokoteplotní modulární jednookruhový heliem chlazený reaktor; středně obohacené obálčkové palivo na ^{235}U	PBMR
Sodík	Moderátor není	Kapalným kovem chlazený, rychlý množivý reaktor; vysoce obohacené palivo na ^{235}U a na ^{239}Pu	LMFBR

Tabulka 1 - Rozdělení jaderných reaktorů podle chladiva a moderátoru, zdroj [4]

Rozdělení podle použití

Školní/výzkumné – pro studijní a experimentální účely

Produkční - pro výrobu čistých štěpných materiálů

Transportní - slouží jako pohon lodí, ponorek, raket

Speciální - jako zdroj fotonového a neutronového záření pro výrobu radioizotopů

Stacionární energetické – pro výrobu velkého množství energie na daném neproměnném místě

Stacionární energetické reaktory se používají pro výrobu tepelné energie, která je využita přímo (pro vytápění velkých měst, odsolování mořské vody, průmyslové účely) nebo je transformována na elektrickou energii. Jaderné reaktory bývají většinou víceúčelové a jejich provozováním se sleduje současně několik cílů. Např. výroba nových čistých štěpných materiálů a současně výroba elektrické energie).

Určení typu jaderného reaktoru a tím i fyzikální koncepci dané aktivní zóny určuje moderátor, chladivo a druh použitého jaderného paliva. Při určování druhu použitého jaderného paliva hraje důležitou roli jeho chemická vazba, mající vliv na hustotu paliva. Existuje velmi mnoho možností při volbě charakteristik jaderných reaktorů a ještě více možností jejich kombinací. Bohužel hodně kombinací není vhodných jak po konstrukční stránce tak po fyzikální. [1]

Tabulka níže ukazuje všechny dostupné možnosti realizovatelných jaderných reaktorů.

Charakteristika	Druhy
použití	školní, výzkumné, produkční, transportní, stacionární energetické, speciální
použitý druh exotermické jaderné reakce	štěpné, termojaderné
palivový cyklus	burnery, konvertory, pseudobreedery, breedery
energie neutronů	tepelné, nadtepelné, rychlé
uspořádání aktivní zóny	homogenní, heterogenní
počet konstrukčních složek aktivní zóny	třísložkové, dvousložkové, jednosložkové
štěpný materiál	U 233, U 235, ¹⁾ Pu 239, (Pu 241)
množivý materiál	Th 232, U 238, (Pu 240)
chemická vazba štěpného nebo množivého materiálu	kov, kyslíčník, karbid, (nitrid, silicid), fluorid
moderátor	C, H ₂ O, D ₂ O, Be, (BeO), organické sloučeniny (izomerické polyfenyly), ZrH ₂
reflektor	C, H ₂ O, D ₂ O, Be, (BeO), organické sloučeniny (izomerické polyfenyly), ZrH ₂ , Ni ²⁾
chladivo	CO ₂ , N ₂ , He, NO ₂ (disociující plyny), H ₂ O, D ₂ O, organické sloučeniny (izomerické polyfenyly), roztavené soli (fluoridy LiF, BeF ₂ , ZrF ₄), tekuté kovy (Na, K, Hg)
konstrukční uspořádání reaktoru	tlaková nádoba, tlakové trubky
koncepční uspořádání chladicích okruhů	vnější s chladicími smyčkami, vnitřní integrované v nádobě reaktoru

Tabulka 2- Rozdělení jaderných reaktorů, zdroj [1]

1.1.2 Lehkovodní reaktory

Za *lehkovodní reaktory* lze považovat všechny typy jaderných reaktorů, které jako moderátor a chladivo používají obyčejnou vodu. Lehkovodní reaktory se rozdělují na dva typy a to *tlakovodní reaktory* (PWR) a *varné reaktory* (BWR). O tlakovodních reaktorech se hovoří v případě, pokud v aktivní zóně nedochází k varu a tím nedochází ke vzniku páry. Pokud v aktivní zóně dochází k varu a tím ke vzniku páry, jedná se o varné reaktory. V obou typech případů je použito obohaceného paliva ve formě UO_2 v těsné mříži. Aktivní zóna se nachází v tlustostěnné nádobě, která je dimenzována na velmi vysoké přetlaky. Z důvodu bezpečnosti lze výměnu paliva provádět pouze při odstaveném reaktoru a pod vodou. Délkou pracovní kampaně reaktoru je většinou 1 rok. Poté následuje odstávka reaktoru, při které dochází k výměně paliva a velkého množství zkoušek z důvodu bezpečnosti provozu reaktoru. Charakteristickým znakem lehkodvodních reaktorů je vysoký stupeň stability. Tento stupeň je daný velkou hodnotou záporného teplotního koeficientu reaktivity.

Jaderné elektrárny pracující s lehkodvodními reaktory se velmi podobají klasickým elektrárnám. Vyplývá to z předností lehkodvodních reaktorů, kterými jsou jednoduchost a spolehlivost systému. Za předpokladu, že je možno použít obohacené palivo nebo plutonium, není potřeba jiných „exotických“ materiálů. Reaktor umožňuje zvyšování jednotkového výkonu až na 1 000 MW_e, kdy omezujícím faktorem je požadavek na dopravu. Pro celou reaktorovou nádobu je požadavek nutnosti dopravení na staveniště elektrárny po železnici. V případě opuštění od tohoto požadavku je možné zvýšení jednotkového výkonu až na 2 000 MW_e.

Přednosti lehkodvodních reaktorů lze globálně pozorovat v relativně nízké investiční složce ceny a vyrobených kWh. Hlavní a velkou nevýhodou lehkodvodních reaktorů je nízká účinnost termodynamického cyklu a vysoké nároky na spotřebu štěpného materiálu (vysoká absorpce neutronů ve vodíku). Nízká účinnost termodynamického cyklu je dána nízkými parametry páry. Tyto nedostatky jsou pak příčinou zvýšení ceny elektřiny. Z důsledku investiční složky jaderných elektráren s lehkodvodními reaktory obsažené ve výrobě 1 kWh, jsou náklady relativně nízké a někdy i nižší než u klasických elektráren. [5]

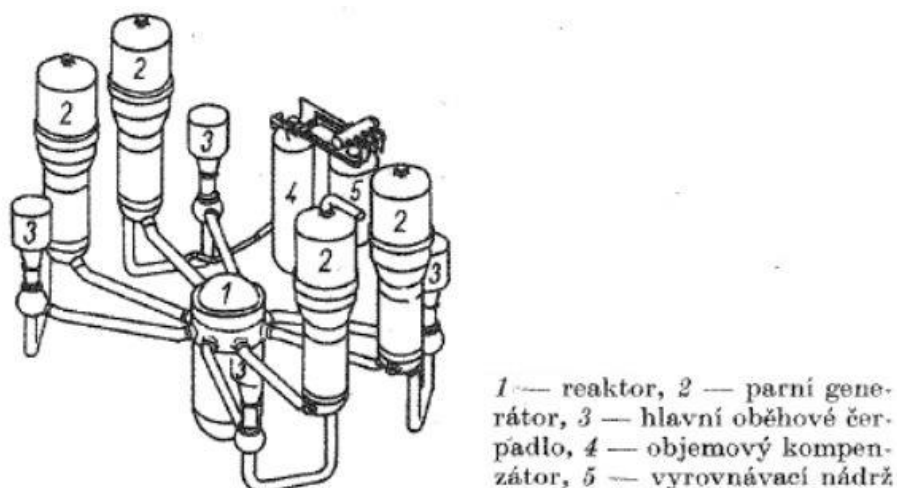
Tlakovodní reaktory (PWR) – západní koncepce

Dnešní tlakovodní reaktory vznikly z původních transportních, ponorkových reaktorů jakožto jejich stacionární varianta. Do jaderné energetiky se tak dostaly kompaktní reaktory, které byly dostatečně jednoduché, laciné a provozně vysoce spolehlivé. Nevýhoda těchto reaktorů spočívala a do dnešní doby spočívá v palivovém cyklu náročném na obohacenou uranovou surovinu. [1]

Od spuštění první velké komerční elektrárny pracující s reaktorem typu PWR (Yankee, 1961) se základní koncepce tlakovodních reaktorů prakticky nezměnila. Konstrukce reaktorové části vycházela v té době z první elektrárny pracující s reaktorem tohoto typu (Shippingport, USA, 1957). Tato elektrárna byla původně plánována jako prototyp lodního motoru. [5]

Primární okruh

Primární okruh jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (Obrázek 3) se skládá z jaderného reaktoru (1), parního generátoru (2), hlavního oběhového čerpadla (3), objemového kompenzátoru (4) a vyrovnávací nádrže (5). Reaktor je s parním generátorem propojen pomocí chladicích smyček, kterými dochází k výměně tepla. Součástí každé chladicí smyčky je oběhové čerpadlo, které zaručuje konstantní rychlost media přenášející teplo. Z důvodu velkých změn objemu je k jedné z daných smyček připojen elektricky poháněný objemový kompenzátor, který vyrovnává rozdíly objemu. V závislosti na velikosti odváděného tepla jsou někteří výrobci nuceni volit počet smyček primárního okruhu (např. firma Westinghouse nabízí dvousmyčkové, třismsyčkové a čtyřsmyčkové tlakovodní reaktory – zvětšováním výkonu dochází ke zvyšování aktivní zóny). Jiný americký výrobce naopak pracuje pouze se dvěma smyčkami, akorát mění velikost parních generátorů pro získání potřebné plochy pro přestup tepla. [5]



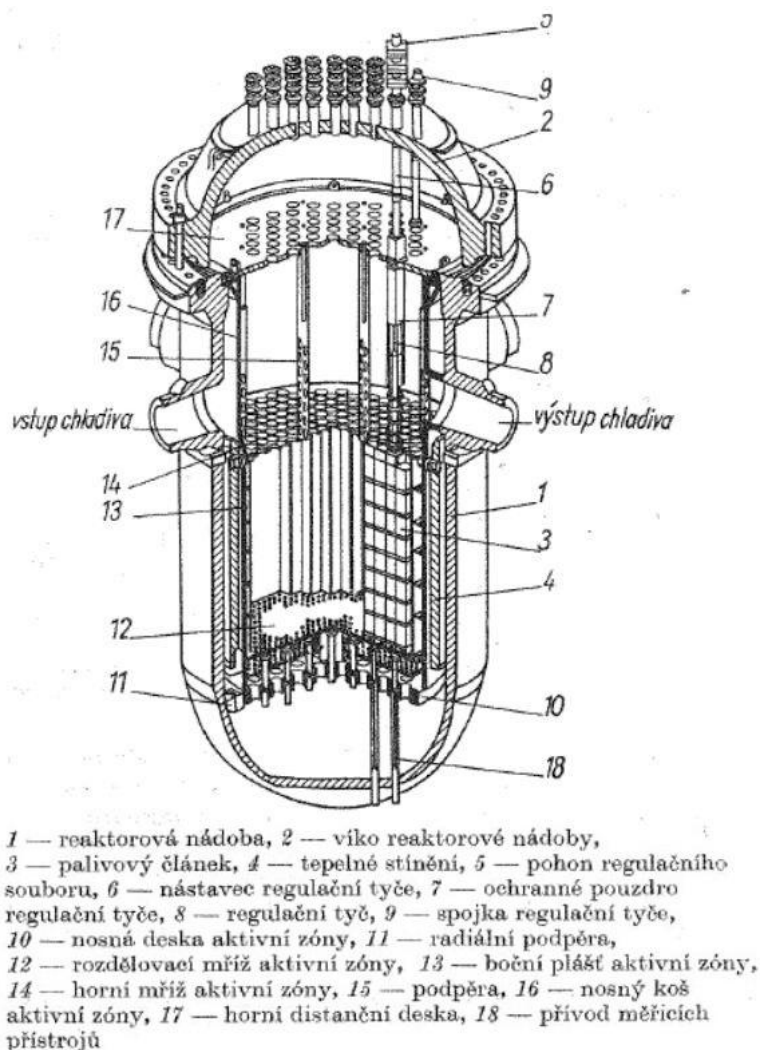
Obrázek 3 - Primární okruh jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem, zdroj [5]

Reaktor (Obrázek 4)

Reaktorová nádoba se skládá ze dvou částí. Ze spodní části (1), v které se nachází aktivní zóna a z horní části (2), která je odnímatelná. V horní části jsou zabudovány nátrubky pro připojení pohonů regulačních tyčí (9).

Jako materiál pro výrobu tlakové nádoby slouží nízkolegovaná uhlíková ocel, která obsahuje vnitřní nerezovou vystýlku. Vycentrování polohy aktivní zóny je dosaženo pomocí radiálních podpěr (11). K zabránění radiačnímu poškození nádoby slouží tepelné stínění (4) mezi aktivní zónou a nádobou. Palivové články jsou uchyceny na nosném koši aktivní zóny (16). Nosný koš aktivní zóny je uchycen v místě uzavírací příruby na výčnělcích tlakové nádoby.

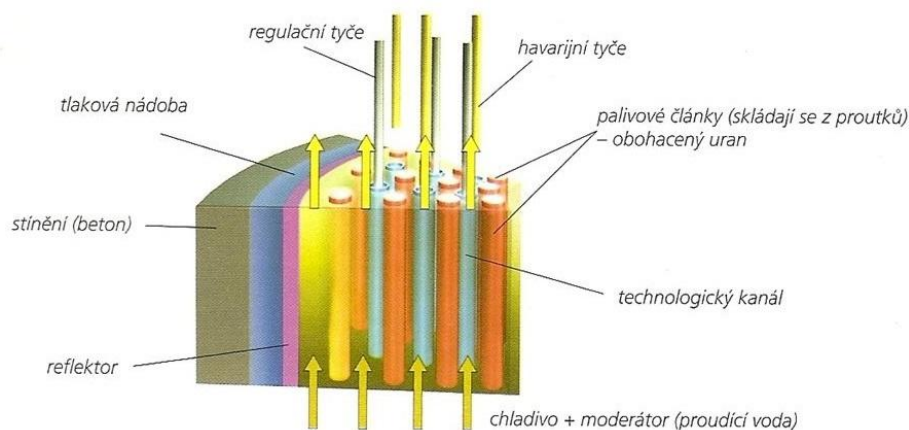
Z důvodu bezpečnosti jsou vstupní a výstupní hrdla pro chladicí vodu konstruovány v horní části, aby v případě havárie nebo porušení potrubí zůstala aktivní zóna zatopena vodou. Chladicí voda je do nádoby přiváděna vstupními hrdly. Vnější povrch aktivní zóny je opatřen pláštěm, proto chladicí voda není přiváděna rovnou do aktivní zóny, nýbrž je vedena mezi pláštěm aktivní zóny a stěnou nádoby směrem ke dnu. Ode dna se proud vody odráží a směřuje přímo do aktivní zóny odkud je odváděno teplo přímo z palivových tyček (3). Po výstupu chladiva z aktivní zóny je voda vedena výstupními hrdly do parního generátoru. K ochraně regulačních souborů před vibracemi slouží ochranná pouzdra regulačních tyčí (7), která se nachází nad aktivní zónou. [5]



Obrázek 4 - Axonometrický řez tlakovodním reaktorem Indian Point-2 (Westinghouse, USA), zdroj [5]

Aktivní zóna

Aktivní zóna se skládá z palivových článků, které jsou uloženy ve třech koncentrických pásmech tvarem s různým obohacením štěpného materiálu. Nejvíce vyhořelé palivo se nachází v centru reaktoru, proto při výměně paliva je toto palivo odstraňováno a nahrazováno palivem ze středního pásma. Čerstvé palivo je zaváženo do periferní oblasti. Toto je pouze jedno schéma výměny paliva (mohou být použita i složitější schémata). [5]



Obrázek 5 - Aktivní zóna tlakovodního reaktoru (detail), zdroj [6]

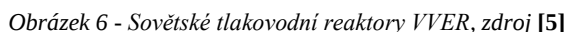
Tlakovodní reaktory novovoronežského typu (VVER) – východní koncepce

Považujeme-li reaktory VVER-210 VVER-365 za první generaci sovětských tlakovodních reaktorů, pak VVER-440 (JE Dukovany) představují druhou generaci. Za třetí generaci lze označit reaktory VVER-1000 (JE Temelín). [5]

Jeden z rozdílů VVER-440 a VVER-1000 je v použití kontejnmentu (plnotlaká ochranná obálka). U VVER-440 je místo kontejnmentu využíván hermetický box s barbotážním systémem, v němž v případě havárie dojde ke kondenzaci vzniklé páry a snížení tlaku v ochranné obálce (obsahuje také systémy nouzového dochlazování). Kontejnment však disponuje lepší schopností bránění úniku radionuklidů při porušení třech bariér a je také odolnější. Řada VVER-1000 už disponuje kontejnmentem.

Modely VVER-440 oproti VVER-1000 disponují hlavními uzavíracími armaturami na každé smyčce. Hlavní uzavírací armatura je používána jako šikovní způsob oddělení poškozené smyčky. Nachází se jak na trase ohřátého chladiva z reaktoru do parogenerátoru tak na trase ochlazeného média z parogenerátoru zpět do reaktoru (2 hlavní uzavírací armatury na každé smyčce). Praxi však se mohlo stát, že se tato armatura sama neplánovaně uzavřela, proto se u novějších modelů dále nevyskytují. [7]

Na obrázku níže jsou zobrazeny reaktory VVER-440 a VVER-1000 (Obrázek 6). Reaktor se skládá z válcové nádoby, která je svařena z kovaných prstenců a elipsoidického víka. Nádoba má dva prstence s nátrubky pro přívod a odvod chladiva (VVER-440 má 6 nátrubků v jednom prstenci, VVER-1000 má 4 nátrubky). Počet nátrubek je určen počtem smyček. Aktivní zóna (5) se nachází ve vyjímatelném nosném koši (4), který zesílením v oblasti aktivní zóny vytváří tepelné stínění. Pouzdra mechanismů systému řízení a ochrany (1) jsou přimontována na sférickém víku (2). Pohony regulačních tyčí jsou u VVER-440 elektro-mechanické a u VVER-1000 elektromagnetické. Celková délka obou reaktorů je přibližně stejná nýbrž reaktorová nádoba VVER-1000 je mohutnější. [5]



Zatímco mezinárodní agentura pro atomovou energii používá ve svém přehledu provozovaných reaktorů stejné označení PWR pro východní i západní koncepci tlakovodních reaktorů, jsou určité rozdíly, díky kterým jsou obě konstrukce odlišovány.

Nikdy nejde jednoznačně konstatovat, zda je lepší PWR nebo VVER. Ruské (východní) projekty jsou velmi známé pro svou mohutnost konstrukcí. To se projevuje na velikosti zastavěné plochy, která je u naprosté většiny případů větší než u západní koncepce. S tím nepřímou souvisí i objem vody v primárním okruhu. Vzhledem k velikosti projektu je v primární části obsaženo větší množství chladiva, což má za následek, že pokud dojde k porušení třetí bariéry (primárního potrubí), větší množství chladiva zaručuje větší dobu odvodu tepla z aktivní zóny. [7]

Úspory

Bloky PWR západní koncepce se dají oproti VVER považovat za levnější díky menší spotřebě materiálů a použitých zařízení. Havarijní systémy PWR mají pouze 100% zálohu (VVER má 200%), tak i zde se dá počítat se značnými úsporami. Úspory jsou dosaženy právě danou zálohou. Zařízení označená jako bezpečnostní či havarijní musí splňovat přísné normy a certifikace. Proto jejich pořízení, údržba a provoz je dražší než u zařízení, která neplní bezpečnostní funkce (větší záloha – více potřebných prostředků). [7]

Parogenerátor

Další rozdíl je patrný z pozice parogenerátorů. U západní koncepce je dlouhodobě používáno vertikálního parogenerátoru, zato u východní koncepce je používán parogenerátor s horizontálním umístěním. U vertikálního uložení dochází při ztrátě sekundárního média k rychlejšímu odhalení trubek, ve kterých proudí chladivo z primární části. Tímto je snižována účinnost odvodu tepla z primárního okruhu. Oproti horizontálnímu uložení je vertikální uložení kompaktnější při výstavbě kontejnmentu (nezabírá takovou plochu). U projektů s VVER reaktory bývá obecně více parogenerátorů než u PWR. [7]

Palivový článěk

U západní koncepce reaktorů PWR se používají palivové články, ve kterých jsou palivové tyče uspořádané do čtvercové mříže. Východní koncepce VVER reaktorů mají palivové tyče uspořádané do šestihranné mříže. [7]

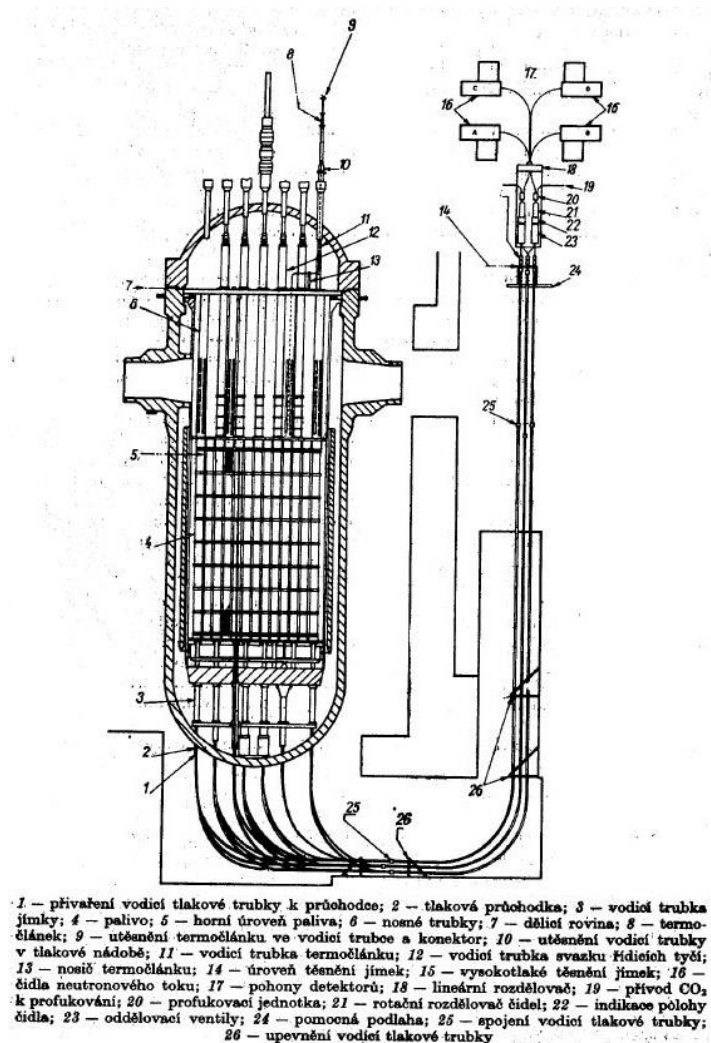
2 Popis vnitroreaktorové instrumentace

2.1 Vnitroreaktorová (In-Core) instrumentace PWR

Účelem vnitroreaktorové instrumentace je poskytnout operátorům informace z vybraných míst aktivní zóny k bezpečnému provozu jaderného reaktoru. Systém vnitroreaktorové instrumentace jen a pouze získává informace (nevykonává žádné ochranné či jiné provozně řídicí funkce).

Měření „in-core“ je systém měření uvnitř aktivní zóny reaktoru a to především místních neutronových toků a teplot. Hlavním účelem „in-core“ měření je umožnění lepší kontroly při provozu jaderného reaktoru a jeho optimální ovládání na základně poskytnutých informací:

- rozložení místních neutronových toků a výkonu
- teplotních poměrů v palivových článcích včetně součinitelů horkého kanálu
- rozložení místního vyhoření palivových článků



Obrázek 7 - Příklad "in-core" instrumentace reaktoru PWR, zdroj [1]

2.1.1 Měření neutronového toku

K měření neutronového toku je využíváno převážně samonapájecích neutronových detektorů.

Obecné charakteristiky samonapájecích detektorů

Samonapájecí detektory pracují na principu vzájemného působení neutronu a atomových částic, při kterém dochází k vytvoření proudu, který je úměrný neutronovému toku. Emitory samonapájecích detektorů jsou různého materiálu [8]

Rhodiový emitor

- mapování toku lehkovodního reaktoru
- relativně vysoká citlivost
- vysoká rychlost vyhořívání
- dvojnásobně zpoždění signál
- vliv na lokální hustotu energie

Vanadiový emitor

- mapování toku lehkovodního a těžkovodního reaktoru
- relativně nízká citlivost
- nízká rychlost vyhořívání
- velmi zpoždění signál
- minimální vliv na lokální hustotu energie

Kobaltový emitor

- mapování toku, ochrana aktivní zóny a kontrola lehkovodního reaktoru
- relativně nízká citlivost
- střední rychlost vyhořívání
- okamžitý signál

Hafniový emitor

- mapování toku, lokální ochrana aktivní zóny a kontrola reaktoru RBMK
- relativně nízká citlivost
- vysoká rychlost vyhořívání
- okamžitý signál
- vliv na lokální hustotu energie
- 96% signálu je okamžitý, 4% signálu je zpožděný jako radiace gama z produktu štěpení

Stříbrný emitor

- mapování toku reaktoru RBMK
- průměrná citlivost
- průměrná rychlost vyhořívání
- dvojnásobně zpožděný signál
- vliv na lokální hustotu energie

Platinový emitor

- kontrola lehkovodního a těžkovodního reaktoru
- relativně nízká citlivost
- malá rychlost vyhořívání
- okamžitý signál
- citlivý k toku gama záření i k toku neutronů s 93% proudem signálu jako reakcí na tok gama a 7% jako reakcí na tok neutronů v typické tlakovodní reaktorové aktivní zóně s těmito toky gama a neutronů.

Výhody:

- není potřeba žádného přívodu energie
- jednoduchá konstrukce
- relativně malé mechanické rozměry požadované pro vnitroreaktorovou instalaci
- dobrá stabilita při působení teplot a tlaku
- generují reprodukovatelný lineární signál
- malé vyhořívání (závislé na materiálu emitoru)

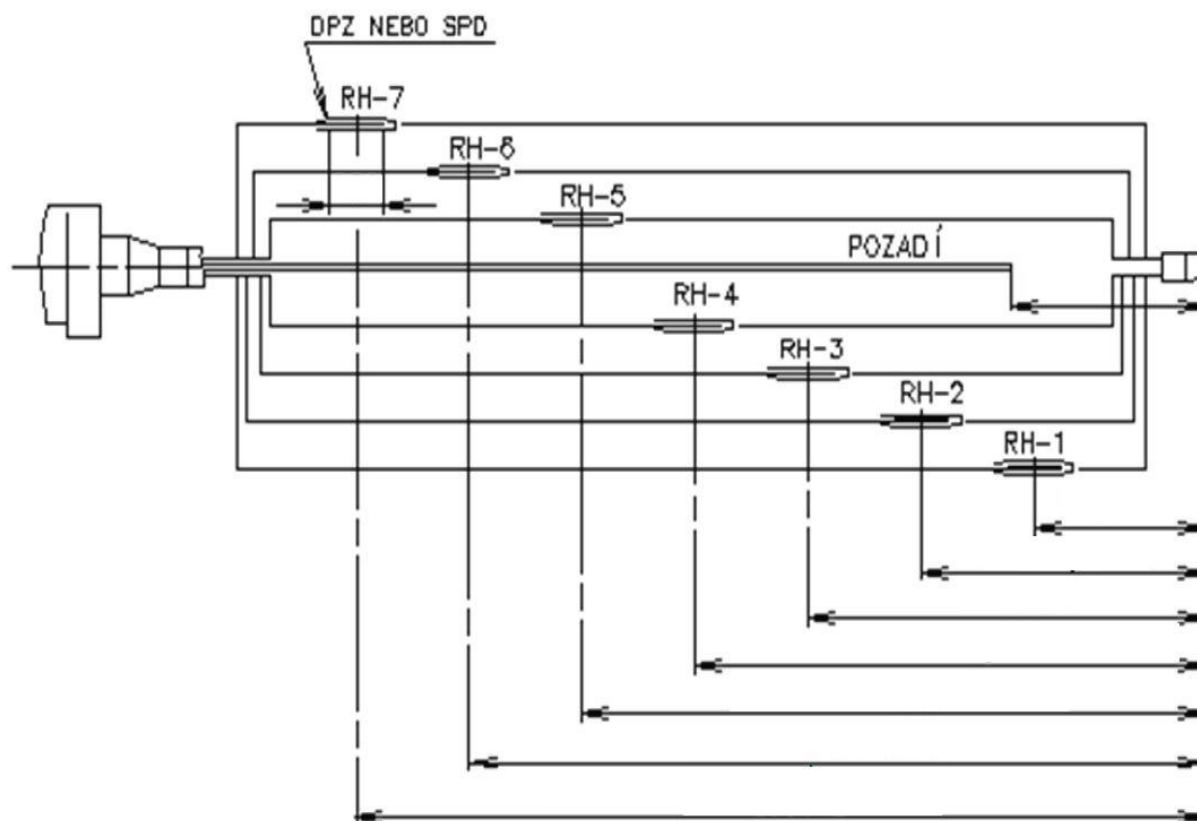
Nevýhody:

- omezený pracovní rozsah vlivem relativně malé citlivosti na neutrony
- požadovaná kompenzace šumů pozadí (u některých emitorů)
- zpožděná odezva signálu (u některých emitorů)

Tlakovodní reaktory VVER

Měření neutronového toku v reaktoru se u jaderných reaktorů typu VVER provádí pomocí rhodiových (Rh) emitorů samonapájecích detektorů. Tyto detektory jsou určené ke kontrole rozložení hustoty toku neutronů po výšce a poloměru aktivní zóny cestou neustálé přeměny neutronového záření na elektrický proud. Signál z těchto detektorů je veden do měřicí aparatury, která zpracovává tento signál a předává základní informace o stavu aktivní zóny, primárního okruhu a důležitých parametrech sekundárního okruhu v reálném čase. Detektory jsou v aktivní zóně reaktoru rozmístěny v sestavách, které se nazývají *kanály měření neutronového toku*.

Kanály měření neutronového toku (KNI) se skládají z armatury kanálu měření neutronového toku a rhodiových samonapájecích detektorů. Armatura KNI slouží jako ochrana detektorů před vlivem chladiva primárního okruhu, hermetizuje místo vývodu kanálů měření neutronového toku z reaktoru a zajišťuje rozmístění rhodiových samonapájecích detektorů. Každá armatura měření neutronového toku u reaktorů VVER obsahuje celkově 8 detektorů (7 rhodiových samonapájecích detektorů a 1 kompenzační fónový detektor). Rhodiové samonapájecí detektory slouží pro vlastní měření hustoty neutronových toků. Fónový detektor se používá k měření pozadí pro potlačení vlivu na přívodní vodiče detektoru. Kanály procházejí víkem reaktoru a do aktivní zóny jsou zasunuty na 36 souřadnicích (VVER-440) a na 64 souřadnicích (VVER-1000). Vzhledem k vyhořívání rhodia je nutné pravidelně vyměňovat tato zařízení při údržbě reaktoru za nové. [9] [10] [11]



Obrázek 8 - Rhodiový samonapájecí detektor pro reaktory typu VVER (schéma), zdroj [12]

Princip činnosti

Rhodiový samonapájecí detektor pracuje na principu aktivace rhodia tepelnými neutrony. Po zachytu tepelného neutronu se jádro rhodia začne rozpadat a vyzařovat β (beta) a γ (gama) záření. Část energetických β částic opustí emitor a zachytí se v kolektoru. Jakmile se obvod mezi vodiči od emitoru a kolektoru uzavře, vzniká proudový signál, který je přímo úměrný počtu zachycených neutronů v emitoru. K dosažení čistého signálu se používá tzv. fónový detektor. Fónový detektor slouží k eliminaci parazitních signálů vznikajících v přívodních vodičích. Signály samonapájecích detektorů jsou přepočítávány na hodnoty lineárního výkonového zatížení palivového souboru. [12]

Izolační odpor

Izolační odpor patří mezi základní charakteristiky samonapájecích detektorů DPZ. Jeho hodnota je stanovena použitým izolačním materiálem a kvalitou výroby. Pro správnou funkčnost samonapájecího detektoru je základním předpokladem vysoká hodnota izolačního odporu. Ve většině případů vyřazení detektoru z funkce došlo právě kvůli snížení hodnoty izolačního odporu. Ke snížení hodnoty izolačního odporu dochází vniknutím vlhkosti do izolátoru (většinou průchodkami), mikrotrhlinami v plášti spojovacího vedení, v místě svaru citlivé části detektoru a spojovacího vedení vzniklými mechanickým způsobem nebo korozí. [13]

2.1.2 Měření teploty

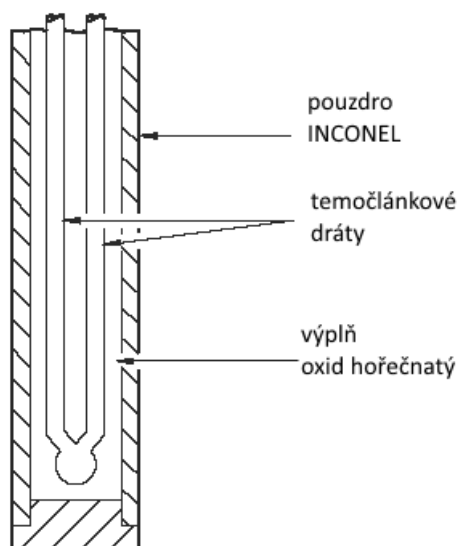
Měření teplot nejsou omezena pouze na uvedená místa, protože těchto měření je poměrně více než měření neutronových toků. Volba míst pro měření teploty musí být provedena takovým způsobem, aby naměřená data bylo možno uvést do vzájemných funkčních vztahů, protože většina potřebných výstupních údajů je získávána výpočtem. Problematika měření teplot v zásadě nepřekračuje rámec tepelně technické praxe. Potíže se objevují převážně u konstrukce vývodů, na které nepříznivě působí dynamickým namáháním proudící chladivo. Pro in-core měření teploty je využíváno *termočlánkových snímačů*. [1]

Termočlánkové snímače teploty

Termočlánkové snímače teploty, tzv. termočláanky pracují na způsobu termoelektrického jevu (přímá přeměna rozdílu teplot na elektrické napětí). Podle nejnovějších poznatků je tento jev založen na specifických vlastnostech elektricky vodivých materiálů. Termoelektrického jevu je u termočláneků dosahováno spojením dvou drátů z různých materiálů. Měří se vždy rozdíl mezi teplotou v místě spojení dvou drátů a teplotou na svorkách (koncovkách) měřicího přístroje. Pokud se změní teplota vodiče, dochází uvnitř vodiče k posunu elektronové hustoty. Matematicky je tato změna vyjadřována jako teplotní gradient. Na teplém konci dochází vlivem zvyšující se kinetické energie k úbytku elektronů a na studeném konci k přírůstku elektronů. Každá část vodiče se tak stává zdrojem napětí.

Termočlánkem je označováno spojení dvou drátů z různých materiálů. Spojení drátů je dosahováno svářením, spájením nebo skroucením. Rozdíl v součtu napětí v jednotlivých drátech z různých materiálů udává měřitelné napětí, které je měřítkem teplotní difference mezi místem spojení obou drátů a koncovkami měřicího přístroje. Pokud by byly použity dva dráty ze stejného materiálu, bylo by v každém drátu stejné napětí a nebylo by možné změřit žádné diferenciální napětí. [14]

Na obr. 9 je znázorněno typické provedení termočláнку. Měrný spoj se ve většině případů nachází ve spodní části opláštění. Vodiče jsou uloženy v pevném kovovém pouzdře. Výplň termočláнку tvoří oxid hořečnatý, jehož úkolem je tlumit otřesy, které by mohly poškodit jemná vlákna a zároveň usnadňuje přenos tepla mezi měrným spojem a médiem v prostředí kolem termočláнку. [15]

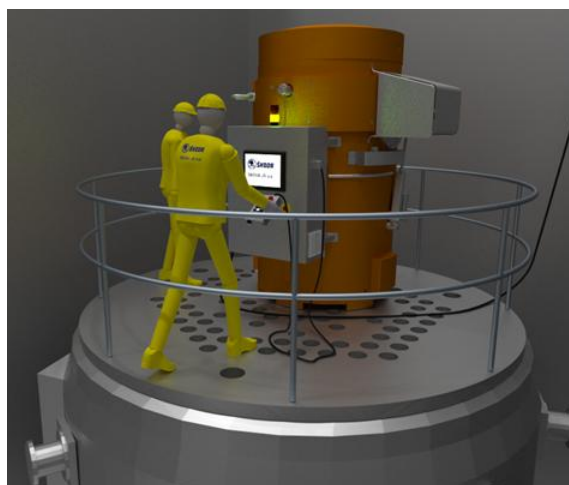


Obrázek 9 - Provedení typického termočláňku, zdroj [15]

2.2 Zařízení na likvidaci čidel neutronového toku a termočláňků

Po vypršení životnosti čidel neutronového toku nebo termočláňků (dále už jen čidel) je nutné tyto komponenty vyměnit za nové a ty staré zlikvidovat. K tomuto účelu slouží zařízení na likvidaci těchto čidel (v technickém slangu označován jako „kničkožrout“).

Stávající zařízení na likvidaci čidel neutronového toku a termočláňků pracuje na principu navíjení čidla pomocí navíjecího mechanismu na rotující čep. Robustní konstrukce tělesa navíjecího mechanismu slouží jako stínící bariéra proti ionizujícímu záření. Uvnitř tělesa se nachází rovnací mechanismus, podávací mechanismus, navíjecí mechanismus, přitlačné válce, vyklápěcí mechanismus a odsávací zařízení (slouží k odtahu uvolněných aktivních částic uvnitř navíjecího zařízení). [16]



Obrázek 10 - Zařízení na likvidaci čidel se stávajícími ochrannými prvky

2.3.1 Proces likvidace čidel

Před zahájením likvidace jednotlivých čidel je nutné zařízení ustavit na vodící desku, která se nachází na opěrném kroužku. Blok ochranných trub (BOT) je spolu s plošinou bloku ochranných trub spuštěn na dno šachty revize bloku ochranných trub.

Čidlo je likvidováno způsobem odstřižení a navíjení. Pro odstřižení čidla je nutné, aby obsluha zařízení vešla do prostoru uvnitř opěrného kroužku a ručně přestříhla konektorovou část čidla pákovými nůžkami. Po odstřižení je nutné ručně zasunout konec čidla do kladek podávacího mechanismu navíjecího zařízení. Následně obsluha opouští prostor opěrného kroužku a přesunuje se na vodící desku, kde pomocí ovládacích prvků navíjecího zařízení ovládá celý proces navíjení. Po navinutí celého čidla na rotující čep vznikne klubko, které po odsunutí rotujícího čepu spadne do zásobníku vyklápěcího mechanismu. Po ukončení celého procesu navíjení je zařízení odstaveno z vodící desky a ustaveno na transportní kontejner, kam se dané klubko navinutého čidla uloží. [16]

2.3.2 Ochranné prvky

Zařízení na likvidaci čidel vnitroreaktorové instrumentace a jeho jednotlivé komponenty je nutné chránit jak proti účinkům vnějšího okolí, tak v neposlední řadě je nutné myslet na ochranu vnějšího okolí od případného úniku radiace z vnitřku zařízení. Ochranou od vnějšího okolí je ve většině případů myšlena ochrana proti nechtěné manipulaci, případným nárazům nebo jiným faktorům, které mohou vzniknout při provozu nebo manipulaci se zařízením.

K odstínění radioaktivního záření se používají kovy (např. olovo) nebo slitiny kovů velké hustoty. Obecně platí, že čím vyšší hustota a tloušťka materiálu, tím dochází k většímu odstínění radioaktivního záření. S odstíněním záření souvisí i konstrukce ochranných prvků. Pokud je prvek koncipován na místo, které je potencionálním místem úniku radioaktivního záření, je nutné, aby daná konstrukce obsahovala prvky, které souvisejí s odstíněním tohoto záření.

Ochranné prvky těchto zařízení jsou konstruovány tak, aby splňovali podmínky technické praxe a ničím neomezovaly chod a funkci zařízení. Ve většině případů se jedná o jednoduché konstrukce, které jsou lehce smontovatelné a umožňují obsluhu zařízení případnou rychlou částečnou demontáž v případě potřeby. Rychlá částečná demontáž hraje velkou roli v provozu a při kontrole daných mechanismů.

3 Funkční analýza a návrh řešení

3.1 Podávací mechanismus

3.1.1 Popis činnosti mechanismu

Podávací mechanismus slouží převážně k vtahování čidla do zařízení a následně k plynulejšímu a bezproblémovému navíjení čidla na rotující čep. Nachází se jak uvnitř tak i vně zařízení (prochází stěnou zařízení). Je tedy nutné ochránit tu část podávacího mechanismu, která se nachází vně zařízení.

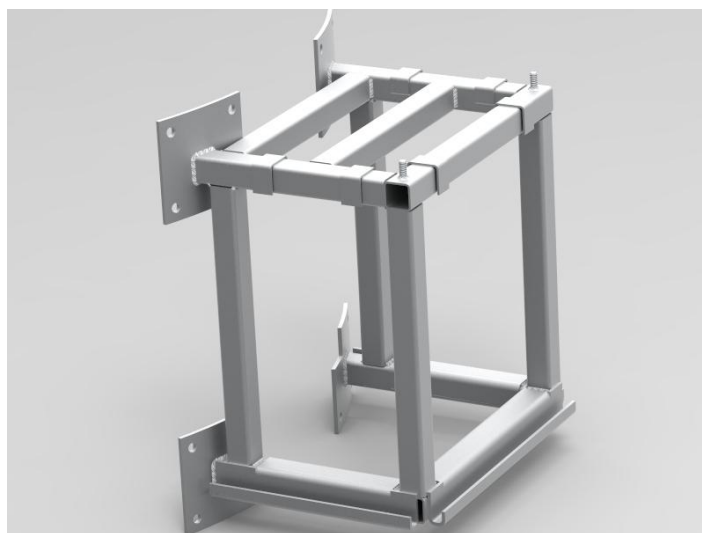
3.1.2 Návrh řešení

Požadavky:

Provedení ochranných prvků vnější části podávacího mechanismu by mělo být takové, aby umožňovalo jednoduchou demontáž a zavěšení olověných desek z důvodu možných průniků radioaktivních částic z vnitřku zařízení.

Pro konstrukci ochranného prvku podávacího mechanismu, bylo použito čtvercových ocelových profilů (dále už jen ječků), které svařením k sobě vytvoří konstrukční rám (obrázek 11). Průřezové rozměry ječků jsou 40x40x3mm. Rám je pomocí čtrnácti šroubů M12x30 přichycen k zařízení na čtyřech místech. K odstínění radioaktivních částic slouží olověné desky, které jsou obehnané kolem rámu ze stran a ze shora. Spodní část je odkrytá. Olověné desky, nacházející se po stranách rámu, jsou usazeny do držáků, které jsou ke konstrukci přivařeny. V horní části jsou opřeny o opěrný plech. Horní deska je na rámu usazena pomocí navařené kulatiny. Tloušťka olověných desek je 10mm. Jako ochrana desek z vnějšku slouží plechový kryt tloušťky 3mm, který je tvořen ze dvou částí. Boční a vrchní kryt. Vrchní kryt upevňuje boční a je k rámu uchycen dvěma křídlovými maticemi M10. Oba kryty jsou vyrobeny z pozinkované ocele.

Celá sestava je k vidění na obrázku 12.

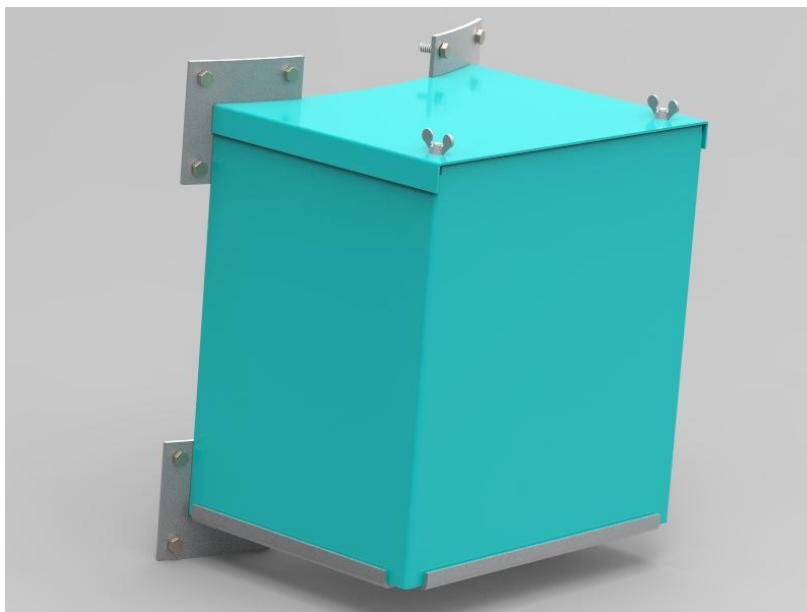


Obrázek 11 – Ochranný prvek pohybového mechanismu - Rám

3.1.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Po technické stránce se jedná o velmi jednoduchou konstrukci, která je lehce vyrobitelná a smontovatelná. Olověná deska uchycená na horní části rámu je po sundání vrchního krytu lehce odnímatelná. To zajišťuje rychlou manipulaci a případnou kontrolu zařízení uvnitř. Materiál rámu je z nelegované oceli obvyklých jakostí 11 373 (S235JRG1) se zaručenou svařitelností. Zaručená svařitelnost je v tomto případě nutná, neboť montáž jeklů k sobě je prováděna právě svářením. Rozhodováno bylo mezi tímto materiálem a materiálem 11 523 (S35530). Jak je z výpočtu níže patrné, tak není potřeba takové meze kluzu, jakou materiál 11 523 disponuje, proto byl vybrán materiál 11 373. Hmotnost samotné konstrukce se pohybuje kolem 25kg. To umožňuje jednoduchou manipulaci na pracovišti pro dělníky. U výroby krytů se rozhodovalo mezi pozinkovanou a nerezovou ocelí. Použití nerezové oceli by zvýšilo odolnost proti chemické korozi. Ovšem nahoru by šla i cena. Rozhodnutí použití pozinkované oceli padlo z toho důvodu, že zařízení není vystavováno takovým vlivům, kde by se výhoda nerezového materiálu výrazně projevila.

Z ekonomického hlediska se jedná o běžné materiály používané v průmyslové praxi. Lehce dostupné a co se týče oceli tak levné. Výrobu a úpravu dílu pro montáž lze provést na strojích běžně dostupných v dílnách.



Obrázek 12 – Ochranný prvek podávacího mechanismu - Sestava

3.2 Pohybový mechanismus

3.2.1 Popis činnosti mechanismu

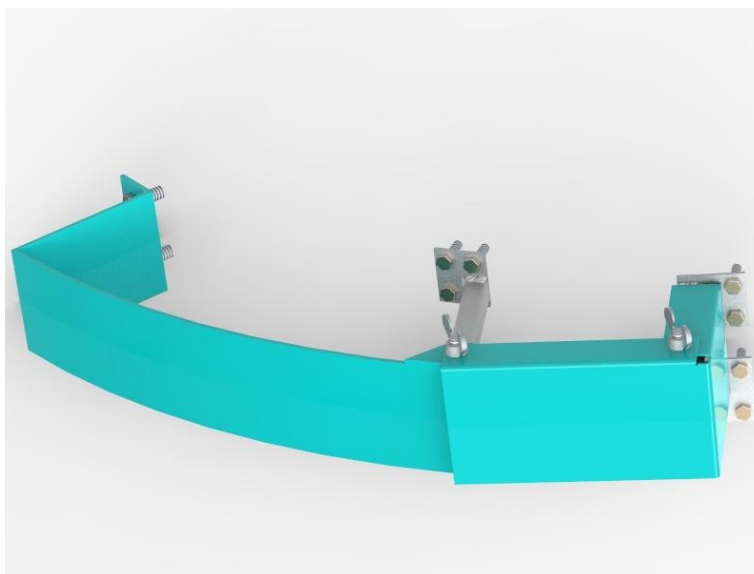
Pohybový mechanismus slouží k ovládání unášече AP pouzdra, které se nachází uvnitř zařízení (manipulace s pouzdrem).

3.2.2 Návrh řešení

Požadavky:

V tomto případě je nutné ochránit mechanismus, jehož oba dva konce jsou mimo zařízení (pravá a levá strana). Ochranný mechanismus pravé sestavy (obrázek 14) je obdobou sestavy levé (obrázek 13). Nutné odstínění.

Ochranné zařízení se skládá z rámu, olověných desek a krytů. První část ochranného zařízení se skládá ze svařovaného rámu. Rám je svařen z ocelových čtvercových profilů 20x20x2 a držáků pro olověné desky. Olověné desky jsou zasunuty do držáků, kterými je zamezen další jejich pohyb. Desky jsou z vnější strany chráněny krytem, který je ohnutý do tvaru rámu a uchycen na vrchní části rámu pomocí křídlových matic M10. Rám je k zařízení přichycen jedenácti šrouby M8x30. Druhá část ochranného zařízení je tvořena krytkou ze skruženého plechu a na stranách ohnutého. Ke krytce je pro uchycení k zařízení přivařen úchyt s otvory pro šrouby. Krytka je k rámu uchycena na jeho levé straně (pro pravou sestavu je krytka uchycena na pravé části) a na druhé části uchycena k zařízení. Přichycení krytky k rámu zabraňuje samovolnému vysunutí olověné desky. Pro manipulaci s deskami je nutná demontáž to krytky. K zařízení je krytka přichycena dvěma šrouby M12x30.

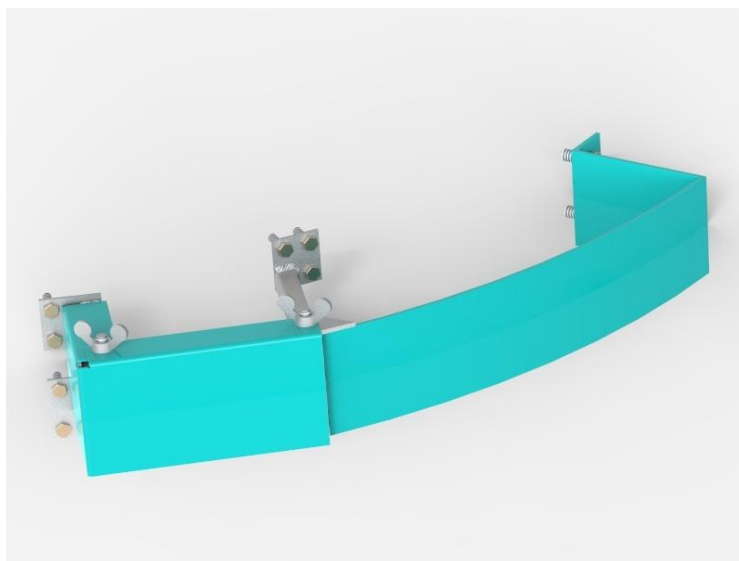


Obrázek 13 – Ochranný prvek pohybového mechanismu – levá sestava

3.2.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Při konstrukci tohoto ochranného prvku byl kladen důraz na odstínění případného radioaktivního záření. Rozhodovalo se mezi použitím jednoho nebo dvou držáků pro olověné desky. U verze s jedním spodním držákem by docházelo ke špatné manipulaci při demontáži nebo nasazování krytu na rám. Deska by vypadávala. Proto bylo přistoupeno k řešení i s horním držákem, kdy se mezi tyto dva kryty zasune deska a společně obě desky na sebe

dolehnu. Jako v předchozím případě se pro materiál krytu uvažovalo mezi použitím pozinkované či nerezové oceli. Byla vybrána opět pozinkovaná ocel, jelikož ani tato konstrukce není vystavována takovým vlivům, kde by se výhoda nerezového materiálu výrazně projevila a finančně se to vyplatilo. Levá sestava je komponentně totožná s pravou sestavou. Rozdíl mezi nimi je takový, že u levé sestavy krytka chránící zbytek mechanismu je od rámu orientovaná na levou stranu (obrázek 13). U pravé sestavy pak na pravou stranu (obrázek 14).



Obrázek 14 - Ochranný prvek pohybového mechanismu - pravá sestava

3.3 Stříhací mechanismus

3.3.1 Popis činnosti mechanismu

Stříhací mechanismus slouží ke stříhání čidel uvnitř zařízení.

3.3.2 Návrh řešení

Jednoduchý ochranný prvek podobný jako u podávacího mechanismu. Rozdíl je v tom, že v tomto případě není nutné odstínění radioaktivního záření.

Ochranný prvek (obrázek 15) se skládá ze svařovaného rámu, který je k zařízení uchycen dvanácti šrouby M12x30. Pro rám bylo použito čtvercových ocelových profilů materiálu 11 373 s průřezem 40x40x3. K svařovanému rámu je pomocí osmi šroubů M8x60 připevněn ocelový kryt tloušťky 5mm.



Obrázek 15 - Ochranný prvek stříhacího zařízení – sestava

3.3.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

V tomto případě ochranného prvku se nekladl důraz na odstínění radioaktivního záření. Pro konstrukci bylo použito stejných čtvercových profilů jako v případě podávacího mechanismu s průřezem 40x40x3 materiálu 11 373. Tento materiál je dostatečný pro funkci dané konstrukce. Není zapotřebí dražších a kvalitnějších materiálů s vyšší pevností, protože v tomto případě konstrukce svařovaného rámu musí vydržet pouze působení vlastní váhy a váhy ochranného krytu. Ochranný kryt mechanismu je z pozinkované oceli. Je možné použít i nerezovou ocel ale to zbytečně zvyšuje náklady na výrobu daného krytu. Použití lepšího materiálu by se finančně vyplatilo v případě, když by materiál musel odolávat výrazné chemické korozi. Do takovéhle situace by se dané zařízení při provozu vůbec nemělo dostat.

3.4 Senzory

3.4.1 Popis činnosti mechanismu

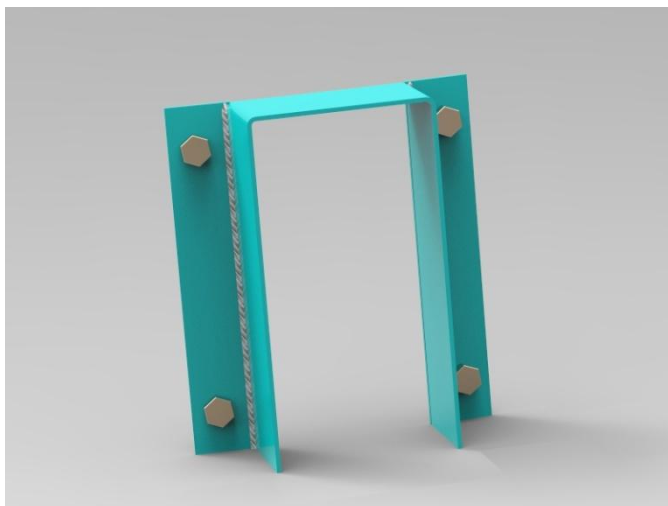
Senzory slouží k detekci stavu zařízení (poloha čidla a mechanismů).

3.4.2 Návrh řešení

Požadavky:

Nutný přístup ze spodu pro kabel. Umožňovat kontrolu LED diody.

Ochranný prvek jednotlivého senzoru se skládá z jednoduché svařované konstrukce tří plechových výpalků (obrázek 16). K výpalku krytu, který se ze shora usadí na desku senzoru, jsou ze stran přivařeny úchyty, kterými se zajišťuje přilnutí na zařízení následné spojení. Jako spojovací prvky jsou použity čtyři šrouby M8. Ochranný prvek vrchního senzoru má úchyt pouze na levé straně (obrázek 17). Materiál výpalků je 11 373.



Obrázek 16 - Ochranný prvek senzoru

3.4.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Pro senzory byly konstruovány dva druhy těchto ochranných krytů. Liší se mezi sebou pouze počtem úchyťů. U všech senzorů jsou k jejich ochranným prvkům konstruovány dva úchyty. Pouze u vrchního senzoru je tomu jinak. Vrchní senzor má kryt pouze s jedním úchytem (obrázek 17). Od druhého úchyty vrchního senzoru bylo opuštěno z důvodu nedostatku prostoru v místě uchycení. Senzor se totiž nachází vedle krytu pravé sestavy pohybového mechanismu, který by zasahoval do konstrukce toho ochranného prvku. Nezahrnutí druhého úchyty nemá vliv na funkci krytu, jelikož se jedná pouze o preventivní ochranné opatření, které nenese žádnou jinou zátěž než vlastní váhu. Pro lepší uchycení ochranného prvku k zařízení je vhodné před navařením úchyťů ke krytu tyto úchyty ohnout. Materiál pro tento ochranný prvek byl zvolen 11 373. Z důvodu své funkčnosti není nutné dávat dražší a kvalitnější materiál.



Obrázek 17 - Ochranný prvek vrchního senzoru

3.5 Přesunový mechanismus

3.5.1 Popis činnosti mechanismu

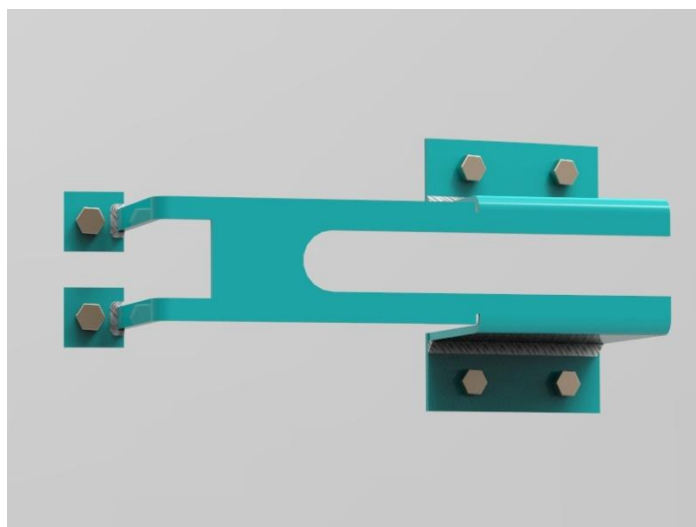
Přesunový mechanismus slouží k přestavování vnitřního mechanismu pro jednotlivá čidla.

3.5.2 Návrh řešení

Požadavky:

V tomto případě jde pouze o preventivní ochranu páky a čepů u vnějšího spojení s hřídelí, jejímž pohybem dojde k přestavění vnitřního mechanismu. Nutný volný pohyb páky a přístup k čepům.

Ochranný prvek (obrázek 18) je vytvořen svařením celkově 5 vypálených a ohnutých plechů. K uchycení krytu k zařízení slouží dva druhy úchyty. Přední a zadní úchyty. Přední úchyty jsou přivařeny na přední „nohy“ krytu a zadní z boku na zadní „nohy“. Jako spojovacího prvku je použito šesti šroubů M8x30. Zařízení chrání mechanismus z čelní části. Přístup k čepům je možný z horní a spodní části. Kryt obsahuje otvor pro volný pohyb páky.

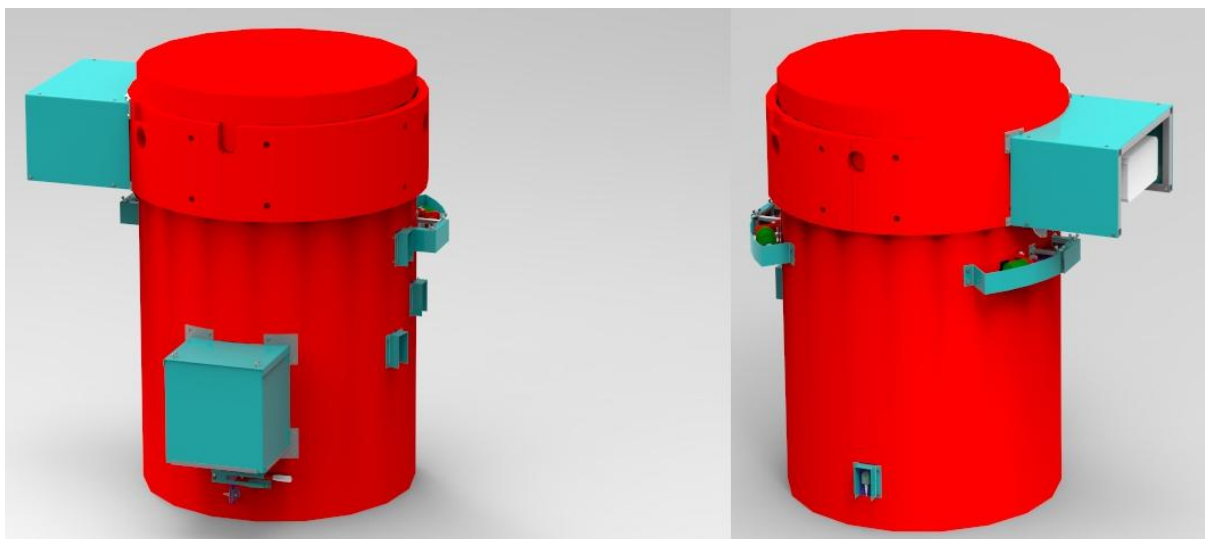


Obrázek 18 - Ochranný prvek přesunového mechanismu

3.5.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

U této konstrukce byl kladen důraz na jednoduchost. Jiný materiál než 11 373 zde nebyl uvažován. V levé části konstrukce (v oblasti „nohou“), byl řešen úchyt k zařízení. Rozhodovalo se mezi oddělenými úchyty (viz obrázek 18) nebo o jednom velkém úchyty, který by byl navařen k oběma „nohám“ zároveň. Od původního zamýšlení udělat jeden úchyt se opustilo z důvodu nutného ohybu toho komponentu sestavy. V případě navržení úchyty jako dva samostatné úchyty dochází k tomu, že dané úchyty jsou tak malé, že k uchycení k zařízení není potřebný ohyb výpalku. Tvar výpalku se vlivem silového působení šroubu lehce uchytí k zařízení. Tímto je docíleno zkrácení procesu výroby o jednu operaci, s čím souvisí i zmenšení finančních nákladů na výrobu.

3.6 Výsledné celkové řešení

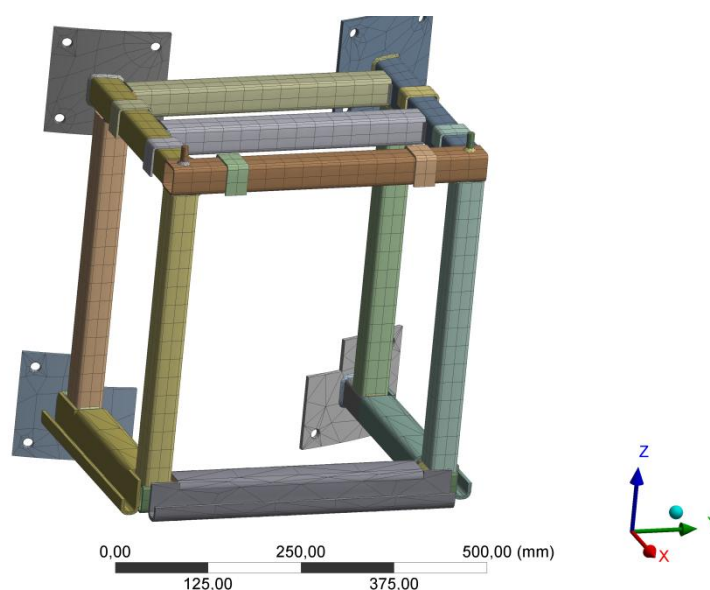


Obrázek 19 - Výsledná sestava zařízení s navrženými konstrukčními prvky

4 Základní pevnostní ověření vybraného konstrukčního uzlu

Pro základní pevnostní ověření jedné z ochranných konstrukcí byla vybrána ochranná konstrukce podávacího mechanismu. Ochranná konstrukce podávacího mechanismu (dále už jen konstrukce) byla vybrána pro svou velikost, váhu. Konstrukce byla počítána zatížení seismickým vlivem, který může vzniknout za provozu.

Výpočet byl proveden v programu ANSYS R16.2 Static Structural. Z důvodu studentské licence programu, bylo nutno sestavit výpočetní síť na max. 32 000 uzlů/elementů. Konstrukce byla zatížena zrychlením ve 3 směrech (x, y, z). Dále bylo zahrnuto i gravitační zrychlení.



Obrázek 20 - Výpočtová model - výpočetní síť

Výpočet byl řešen ekvivalentní statickou metodou. Metoda ekvivalentního statického seizmického zatížení se používá tehdy, jestliže konstrukce či technologické zařízení představují z hlediska mechaniky jednoduchou soustavu s jedním nebo dvěma stupni volnosti a jestliže cílem seizmického výpočtu je pouze určení seizmických sil a momentů v kotvení do stavby, nebo určení napjatosti v některém kritickém průřezu, kdy taková jednoduchá náhrada evidentně postačí.

Náhradní statické seizmické zatížení, působící ve směru i -tého stupně volnosti, se vypočte ze vzorce

$$F_i = k * m_i * a_{fi}$$

kde: a_{fi} – spektrální zrychlení odpovídající i -té složce seizmického buzení a vypočtené nebo odhadnuté základní frekvenci vlastních kmitů, určené z příslušného seizmického spektra odezvy s rozšířenými špičkami pro daný útlum

k – koeficient, který má hodnotu

1,0 – v případě, kdy základní frekvence vlastních kmitů, odpovídající tvaru kmitů s dominantní modální hodnotou je určena výpočtem

1,2 – ve všech ostatních výpočtech

F_i – ekvivalentní statické zatížení, odpovídající i -té složce seizmického buzení v prostoru

m_i – hmota odpovídající i -té složce seizmického buzení a vypočtené či odhadnuté základní frekvenci vlastních kmitů, určené z příslušného seizmického spektra odezvy s rozšířenými špičkami

Jelikož hmotnost si výpočtový software vypočítá sám z příslušného modelu, je tedy nutné zadat do softwaru příslušné zrychlení vynásobené daným koeficientem.

Pro příslušný směr (x , y - horizontální a z - vertikální) byly vzaty ze spektra odezvy maximální hodnoty, vynásobeny koeficientem 1,2 a tímto výsledným zrychlením zatížena konstrukce. Spektrum odezvy bylo bráno pro poměrný útlum 4%.

Hodnoty potřebné pro výpočet jsou brány z tabulek 3-4.

Výpočet zrychlení pro zatížení:

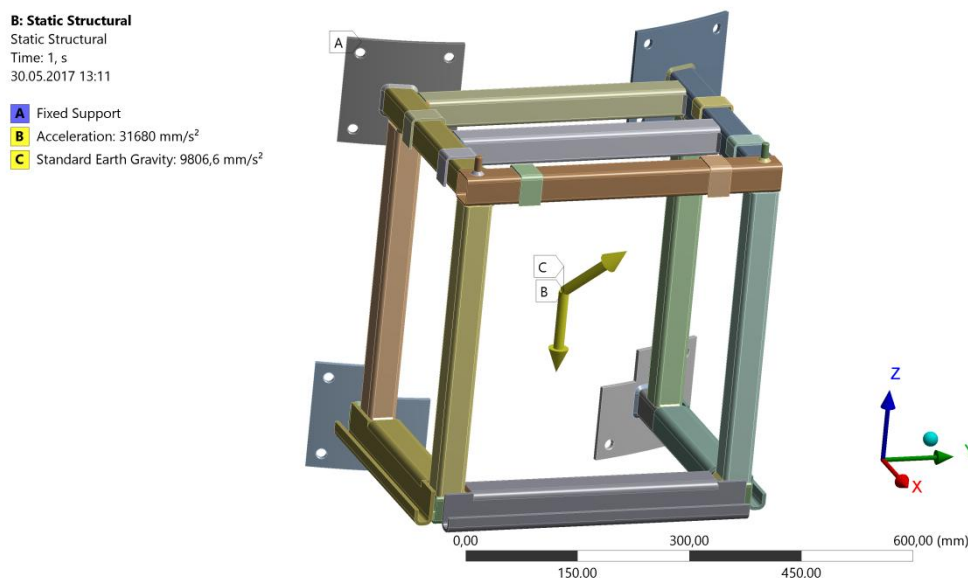
Horizontální směr: $a = 1,2 * 13,68 = 16,42 \text{ m/s}^2$

Vertikální směr: $a = 1,2 * 17,96 = 21,55 \text{ m/s}^2$

Objekt 800 Venkovní obestavba, horizontální směr v úrovni +36,60					Objekt 800 Venkovní obestavba, vertikální směr v úrovni +36,60				
Frekvence [Hz]	Zrychlení pro daný kritický útlum				Frekvence [Hz]	Zrychlení pro daný kritický útlum			
	Útlum 2%	Útlum 4%	Útlum 5%	Útlum 7%		Útlum 2%	Útlum 4%	Útlum 5%	Útlum 7%
0,2	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0
0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01
1,1	0,64	0,64	0,64	0,64	1,68	1,08	1,08	1,08	1,08
2,9	14	10,19	9,61	8,62	2,87	8,76	6,79	6,33	5,2
4,2	16,1	13,68	12,84	11,39	4,75	10,52	7,89	7,3	6,43
6	16,1	13,68	12,84	11,39	6,07	23,06	17,96	15,94	12,81
6,5	13,66	12,75	12,18	10,8	7,37	23,06	17,96	15,94	12,81
7	13,11	9,75	9,29	8,55	8,58	19,86	14,31	12,88	11,32
9,22	13,11	9,75	9,29	8,55	11,11	10,2	7,99	7,99	7,99
10,5	7,49	6,78	6,25	5,33	14,64	4,96	4,96	4,96	4,08
12,5	6,02	5,29	4,67	4,67	20,2	3,21	3,21	3,21	3,21
15,5	3,78	3,78	3,78	3,78	33	2,44	2,44	2,44	2,44
31	3,17	3,17	3,17	3,17					
33	3,08	3,08	3,08	3,08					

Tabulka 3-4 - Hodnoty zrychlení pro daný kritický útlum při určité frekvenci - horizontální a vertikální směr [16]

Na obrázku 21 je možné vidět průběh výpočtu. Praporek A ukazující na levý horní úchyt rámu značí pevné ukotvení pro výpočet. To samé platí i pro zbylé tři úchyty. Praporek B značí zrychlení, kterým je zatížena konstrukce a praporek C značí gravitační zrychlení. Všechna zrychlení byla zadávána v mm/s^2 . Zatěžované zrychlení bylo zadáno ve třech směrech (x, y, z) a vektorovým součtem všech směrů vyšel směr výsledného zrychlení jako je na obrázku. Celková hodnota pro směr výsledného zrychlení vyšla $31\,680\text{ mm/s}^2$, což přibližně odpovídá hodnotě $31,68\text{ m/s}^2$. Gravitační zrychlení odpovídá opačnému směru „zetové“ souřadnice a jeho běžně zadávané hodnotě $9806,6\text{ mm/s}^2$. Ve výpočtu je zahrnuta hmotnost celé sestavy včetně krytů a olověných desek.

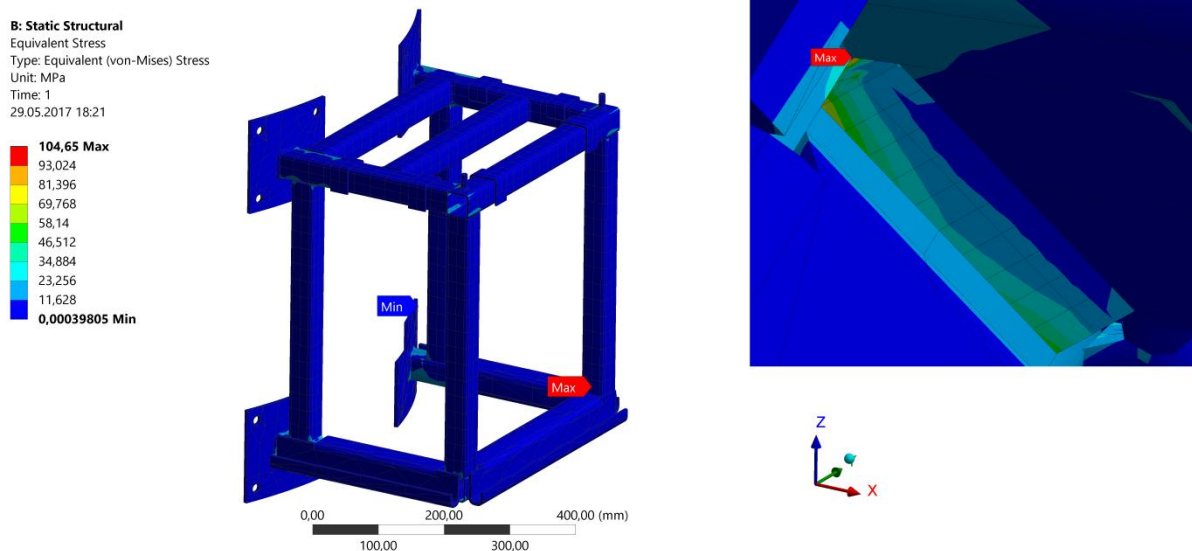


Obrázek 21 – Výpočtový model – průběh výpočtu

Hodnoty do výpočtu byly brány ze zdroje [16].

Z analýzy vyšlo maximální redukované napětí o hodnotě přibližně 105MPa a to v oblasti svaru. Tato hodnota byla porovnána s mezí kluzu daného materiálu. Hodnota meze kluzu nelegované oceli 11 373 obvyklých jakostí je 186 MPa. Hodnota meze kluzu daného materiálu je větší než výsledné redukované napětí. Daná konstrukce tím pádem vydrží zadané namáhání, aniž by došlo k deformaci, která by mohla ohrozit pevnost konstrukce. [17]

Výsledek analýzy je zobrazen na obrázku 22.



Obrázek 22 - Výpočtový model – výsledné napětí

5 Závěr

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem ochranných prvků zařízení na likvidaci čidel vnitroreaktorové instrumentace. Důraz byl u některých mechanismů kladen především na možnost odstínění radioaktivního záření, které v malém množství prochází skrz stěnu zařízení do okolí. Navržené prvky jsou konstruovány tak, aby splňovaly podmínky pro provoz v technické praxi a byly lehce výrobitelné. To otevírá výrobcí cestu k výběru mezi více možnostmi optimálních a vhodných variant, které může použít.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] **BEČVÁŘ, J. a kol.** *Jaderné elektrárny*. Praha : SNTL, 1981.
- [2] SlidePlayer. 7. *RADIOEKOLOGIE*. 7.1. *RADIOAKTIVITA - Typy radioaktivního záření alfa = 2 protony + 2 neutrony - malá pronikavost - velká ionizační schopnost beta*. [Online] Transkript z prezentace. [Citace: 19. 01 2017.] http://images.slideplayer.cz/8/2021892/slides/slide_38.jpg.
- [3] CEZ. *Jaderný reaktor*. [Online] [Citace: 19. 01 2017.] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/anim/tyc0.gif>.
- [4] Státní úřad pro jadernou bezpečnost. *Typy reaktorů*. [Online] [Citace: 16. 01 2017.] <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/informace-o-typech-reaktoru/typy-reaktoru/>.
- [5] **HEŘMANSKÝ B.** *Jaderné reaktory*. Praha : SNTL, 1981.
- [6] **ŠTURC, M.** SlidePlayer. *Jaderná elektrárna. Princip funkce – Štěpení jader*. [Online] [Citace: 18. 01 2017.] http://images.slideplayer.cz/11/3004285/slides/slide_9.jpg.
- [7] OENERGETICE. *Svět jaderných reaktorů: Rozdíly mezi PWR a VVER*. [Online] [Citace: 24. 01 2017.] <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/svet-jadernych-reaktoru-rozdily-mezi-pwr-a-vver/>.
- [8] **WILSON I., FOREJT V., IAEA.** *Přehled samonapájecích detektorů používaných v energetických reaktorech*. [Online] [Citace: 14. 02 2017.] http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/002/32002552.pdf.
- [9] **MRÁZEK, J.** IAEA. *Provozní zkušenosti s detektory měření neutronového toku na JE Dukovany*. [Online] [Citace: 30. 01 2017.] http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/002/32002555.pdf.
- [10] SKODA JS. *Kanály měření neutronového toku*. [Online] [Citace: 30. 01 2017.] <http://www.skoda-js.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/zarizeni-pro-jaderne-elektrany-typu-vver-a-rbm/kanaly-mereni-neutronoveho-toku.shtml>.
- [11] U.S.NRC. *Westinghouse Technology System Manual - Section 9.2 - Incore Instrumentation System*. [Online] [Citace: 30. 01 2017.] <https://www.nrc.gov/docs/ML1122/ML11223A264.pdf>.
- [12] **ZDEBOR, J.** *Technologická měření na primárním okruhu*. Plzeň : Přednáška na ZČU, 2016.
- [13] **ERBEN, O.** IAEA. *Detektory vnitroreaktorového měření a monitorování radiačního pole v aktivní zóně reaktoru*. [Online] [Citace: 31. 01 2017.] http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/002/32002551.pdf.
- [14] GUENTHER. *Konstrukce a funkce termočlánků*. [Online] [Citace: 14. 02 2017.] <https://www.guenther.eu/805a74a9-7235-cdf2-2323-717e02f019e4?Edition=cz>.

[15] E-KONSTRUKTER. *Termočlánky: Konstrukce, využití a účinnost*. [Online] [Citace: 14. 02 2017.] <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/termoclanky-konstrukce-vyuziti-a-ucinnost>.

[16] *Vnitropodnikové materiály ŠKODA JS*.

[17] **LEINVEBER J., VÁVRA P.** *Strojírenské tabulky*. Úvaly : ALBRA, 2011.