

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301/ Strojní inženýrství

Studijní zaměření: 2301R016/ Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční řešení hermetických kabelových průchodků (HKP)
pro reaktory PWR

Autor:

Irina Bondareva

Vedoucí práce:

Ing. Jan Zdebor, Csc.

Konzultant ŠKODA JS a.s.:

Ing. Vladimír Fryč

Akademický rok 2016/2017

Zadání bakalářské práce

Do originálu práce se vloží originál podepsaný vedoucím katedry a děkanem (nečísluje se).
Do kopie práce se vloží kopie zadání

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Na úvod bakalářské práce bych ráda poděkovala Ing. Janu Zdeborovi, Csc. za odborné vedení bakalářské práce, za předání řady zkušeností, rad i připomínek a jeho zájem a čas, který mi věnoval. Dále bych také ráda poděkovala Ing. Vladimíru Fryčovi za odborné připomínky a zkušenosti z praxe a Haně Pekařové, odborné konzultantce z oboru zkoušek těsnosti a kalibrace měřidel

Dále touto cestou bych chtěla poděkovat všem pedagogům a pracovníkům Západočeské univerzity v Plzni za předání nových znalostí a zkušenosti.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala celé rodině za jejich trpělivost a podporu v době celého studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bondareva	Jméno Irina	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 Stavba energetických strojů a zařízení		
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 hermetických kabelových průchodek (HKP) pro reaktory PWR		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	50	TEXTOVÁ ČÁST	48	GRAFICKÁ ČÁST	2
--------	----	--------------	----	---------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce se zabývá Hermetickými kabelovými průchodkami pro jaderné elektrárny. Teoretická část obsahuje popis obecného významu kabelových průchodek a jejich rozdělení. Praktická část se zabývá vlastním konstrukčním řešením modifikaci KP ŠKODA/IST pro instalaci elektrických modulů CONAX a postupem zkoušky těsnosti celkové sestavy hermetické kabelové průchodky pro dané řešení.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Hermetická kabelová průchodka, elektrický modul, hermetická obálka, kontejnment, zkouška těsnosti, biologická ochrana

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bondareva	Name Irina
FIELD OF STUDY	2301R016 Design of Power Machines and Equipment	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zdebor, CSc.	Name Jan
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Delete when not applicable	
	Design of Hermetic cable penetrations for PWR reactors	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Power System Engineering	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	50	TEXT PART	48	GRAPHICAL PART	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor's thesis is concerned with Hermetic cable penetrations for nuclear power plants. The theoretical part entails a description of the general significance of cable penetrations and how they're categorized. The practical part is concerned with my own design on a modification of HKP/ŠKODA/IST intended for the installation of the CONAX electric modules and a procedure of the seal tests of the entire assembly of the hermetic cable penetration for the given solution.
KEY WORDS	Hermetic cable penetration, electric modul, hermetic shell, containment building, seal test, biological protection

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Teoretická východiska práce	12
2.1	Cíle bakalářské práce	12
2.2	Kabelové průchodky	12
2.3	Hermetické kabelové průchodky v bezpečnostním systému jaderné elektrárny	13
3	Současný stav hermetických kabelových průchodků (HKP) pro jaderné elektrárny a jejich rozdělení.....	19
3.1	Hermetické kabelové průchodky s použitím těsnění a izolace na bázi polymerů.....	19
3.1.1	HKP ŠKODA/CONAX	19
3.1.2	HKP ŠKODA/IST.....	22
3.1.3	HKP typu PGKK	24
3.2	Hermetické kabelové průchodky s použitím těsnění na bázi skla.....	27
3.2.1	HKP SCHOTT Eternaloc™.....	27
3.2.2	HKP VISOLA.....	29
3.2.3	HKP Teledyne.....	30
3.3	Hermetické kabelové průchodky s kovo-keramickými uzly.....	32
3.3.1	HKP typu VGKK.....	32
4	Konstrukční návrh.....	34
4.1	Konstrukční návrh primárního a sekundárního adaptéru HKP ŠKODA/IST	34
5	Kvalita a spolehlivost hermetických kabelových průchodků	38
5.1	Technické požadavky na hermetické kabelové průchodky.....	38
5.2	Zkoušky těsnosti.....	39
5.3	Ověření těsnosti sestavy HKP.....	40
5.3.1	Technologické zkoušky těsnosti HKP.....	40
5.3.2	Integrovaná zkouška těsnosti celkové sestavy HKP.....	41
6	Závěr	46
7	Přehled použité literatury.....	47
8	Přílohy.....	I
8.1	Výkresová dokumentace	I
8.2	Obrazová příloha.....	I

Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Univerzální kabelová průchodka „OGNEZA-PM-K“ (Кабельная проходка, 2015).....	13
Obrázek 2-2 Systém fyzických bariér jaderných bloků. (Барьеры безопасности, 2011).....	14
Obrázek 2-3 Situační schéma; (Informační literatura ŠKODA JS a.s.).....	15
Obrázek 2-4 Elektrická průchodka (CONANT Charles W., 1969).....	16
Obrázek 3-1 Hermetická kabelová průchodka ŠKODA/CONAX (Informační materiály ŠKODA JS a.s.).....	20
Obrázek 3-2 Způsoby montáže HKP ŠKODA/CONAX: vlevo – pomocí límců, vpravo – pomocí nerezových kroužků (Informační materiály Škoda JS a.s.).....	21
Obrázek 3-3 Nízkonapěťová hermetická kabelová průchodka – provedení I (Informační materiály ŠKODA JS a.s.).....	22
Obrázek 3-4 Nízkonapěťová hermetická kabelová průchodka – provedení II (Informační materiály ŠKODA JS a.s.).....	23
Obrázek 3-5 Princip zatěsnění vodičů v elektrickém modulu (Informační materiály ŠKODA JS a.s.).....	23
Obrázek 3-6 Hermetický kabelový průchod typu PGKK (Ващук С.П., 2014).....	25
Obrázek 3-7 Hermetická průchodka kontrolních kabelů typu PGKK (Проходки и модули кабельные, герметичные ПГКК, 2016).....	26
Obrázek 3-8 Elektrické moduly MGK a MGK/A-02 (Проходки и модули кабельные, герметичные ПГКК, 2016).....	26
Obrázek 3-9 Starý typ PGKK s běžným modulem (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013),.....	26
Obrázek 3-10 Těleso kabelové průchodky v stěně kontejnmentu po demontáži modulů (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013).....	26
Obrázek 3-11 Čela průchodky jsou nově vybaveny přírubou z nerezové oceli a přístrojem pro měření těsností průchodky (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013),.....	27
Obrázek 3-12 Instalace nových modulů a kabelů. Instalace rozvodové krabice (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013),.....	27
Obrázek 3-13 Zařízení hermetické kabelové průchodky SHOTT (Костюков Н.С., 2004).....	28
Obrázek 3-14 Schéma nízkonapěťové hermetické kabelové průchodky (Electrical penetrations assemblies for VVER type nuclear power plants, 2013).....	30
Obrázek 3-15 Hermetická kabelová průchodka (Teledyne Brown Engineering, 2017).....	31
Obrázek 3-16 Celkový pohled hermetické kabelové průchodky VGKK pro JE Juragua (Костюков Н.С., 2004).....	33
Obrázek 4-1 Řez pláštěm modifikované HKP ŠKODA/IST (Bondareva, 2017).....	35

Obrázek 4-2 Pohled do primární části HKP (Bondareva, 2017)	35
Obrázek 4-3 Pohled do sekundární části HKP (Bondareva, 2017).....	36
Obrázek 4-4 Schéma elektrických modulů CONAX (Informační literatura ŠKODA JS a.s.)	36
Obrázek 4-5 Uložení elektrických modulů CONAX v adaptorech (Bondareva, 2017)	37
Obrázek 5-1 Kontrola těsnosti primárního adaptéru vůči přírubě (Bondareva, 2017)	40
Obrázek 5-2 Kontrola těsnosti sekundárního adaptéru vůči přírubě (Bondareva, 2017)	41
Obrázek 5-3 Těsnění otvoru v sekundární přírubě (Bondareva, 2017)	41
Obrázek 5-4 Schéma zapojení zařízení při integrální zkoušce (Bondareva, 2017)	42
Obrázek 5-5 Zobrazení prostoru, natlakovaného během integrální zkoušky těsnosti celkové sestavy HKP (Bondareva, 2017).....	43
Obrázek 5-6 Grafické znázornění průběhu integrální zkoušky těsností č. 1 - vyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)	44
Obrázek 5-7 Grafické znázornění průběhu integrální zkoušky těsností č. 2 - nevyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)	45

Seznam tabulek

Tabulka 2-1 Maximální výpočtové parametry při havárii	16
Tabulka 5-1 Vybrané hodnoty měření č. 1 pro výpočet - vyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.).....	44
Tabulka 5-2 Výpočet hodnoty netěsnosti č. 1 – vyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.).....	44
Tabulka 5-3 Vybrané hodnoty měření č. 2 pro výpočet - nevyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.).....	45
Tabulka 5-4 Výpočet hodnoty netěsnosti č. 2 - nevyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.).....	45

Přehled použitých zkratk a symbolů

Označení	Legenda	Jednotka
HKP	Hermetická kabelová průchodka	-
PWR	Pressured Water Reactor – tlakovodní reaktor	-
VVER	Vodo – vodní energetický reaktor	-
RBMK	Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj – kanálový reaktor velkého výkonu	-
BWR	Boiling Water Reaktor – varný reaktor	-
HTR	High-Temperature Reaktor – vysokoteplotní reaktor	-
FBR	Fast Breeder Reaktor – množivý reaktor	-
JE	Jaderná elektrárna	-
LOCA	Loss of coolant accident	-
PGKK	Prochodki germetičnyje kontrolnych kabelej	-
VGKK	Vvod germetičnyj kontrolnyj kabelej	-
VGU	Vvod germetičnyj universalnyj	-
MGK	Modul' kabel'nyj germetizirovannyj	-
IEEE	Institut of Electrical and Electronics Engineers	-
IEC	International Electrotechnical Commission	-
M00	absolutní tlak v referenční nádobě	bar
dP	diferenciální změna tlaku v prostoru měřidla	mbar
dP ^{20°C}	diferenciální změna tlaku v prostoru měřidla s korekcí na teplotu 20°C	mbar
M01	teplota na plášti HKP	°C
M02	teplota plynu v referenční nádobě	°C
M03	teplota plynu v prostoru měřidla	°C
q	únik plynů (netěsnost)	Pam ³ s ⁻¹

1 Úvod

V současné době se neustále řeší bezpečnost a spolehlivost provozu jaderných elektráren a také snížení rizika úniku radioaktivních štěpných produktů do atmosféry. Jaderná elektrárna (JE) je průmyslové zařízení, ve kterém se pro výrobu elektrické energie používá tepelné energie vyrobené pomocí řízené jaderné reakce.

Jaderné elektrárny jsou opatřeny řadou speciálních bezpečnostních a pomocných systémů, jejichž funkčnost musí být zachována při všech projektem předpokládaných událostech (běžný a havarijní provoz, zemětřesení, požár apod.). Jedním z bezpečnostních systémů je systém lokalizace havárií, který zahrnuje ochrannou obálku. Tento systém slouží k hermetizaci primárního okruhu v případě havárie. Pod ochrannou obálkou je umístěno hlavní zařízení jaderné elektrárny (jaderný reaktor, cirkulační čerpadla, parogenerátory, primární potrubí a další).

Pro zapojení elektrotechnického zařízení primárního okruhu a pro napájení kontrolních a měřicích přístrojů přes ochrannou obálku elektrárny je proloženo velké množství kabelů. Průchod kabelů přes obálku je zajištěn pomocí speciálního zařízení – hermetických kabelových průchodek (HKP). Jsou jedním z důležitých elementů v systému řízení jaderného reaktoru, a proto spolehlivosti hermetických kabelových průchodek je věnována velká pozornost. Za poslední letá bylo vyvinuto mnoho konstrukcí hermetických kabelových průchodek. A proto jedním z cílů této kvalifikační práce je seznámení se současným stavem hermetických kabelových průchodek ve světě.

Tato bakalářská práce byla zadána společností ŠKODA JS a.s. a v praktické části má za cíl řešit modifikaci HKP ŠKODA/IST pro aplikace elektrických modulů CONAX v jejich konstrukci. A následně vytvořit popis zkoušky těsnosti celkové sestavy HKP pro dané řešení.

V práci je použito volných citací, pod kterými míním zestručnění původního textu. Každý odstavec tohoto textu je na závěr označen, například dle (Kratochvílová, 2017). Vlastní příklady či komentáře autorky k citovanému textu jsou označeny symbolem (IB), zvláště na místech, kde by mohlo dojít k pochybnostem o autorství textu.

2 Teoretická východiska práce

Tato kapitola je zaměřena na teoretická východiska bakalářské práce. V odstavci 2.1 jsou popsány cíle bakalářské práce. Odstavec 2.2 se zabývá obecným popisem hermetických kabelových průchodů. Význam hermetických kabelových průchodů v systému bezpečnosti jaderné elektrárny shrnuje kapitola 2.3.

2.1 Cíle bakalářské práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je v souladu se zadáním:

- recenze současného stavu HKP pro hermetické zóny jaderných reaktorů ve světě
- konstrukční návrh HKP pro průchod kontejnmentem reaktoru PWR
- postup ověření celkové těsnosti sestavy HKP pro dané řešení,
- konstrukční řešení vybraného konstrukčního uzlu.

Význam bakalářské práce je v těchto rovinách – v rovině teoretické souhrn současného stavu HKP pro hermetické zóny jaderných reaktorů ve světě s důrazem na rozbor předností a nedostatků jednotlivých řešení.

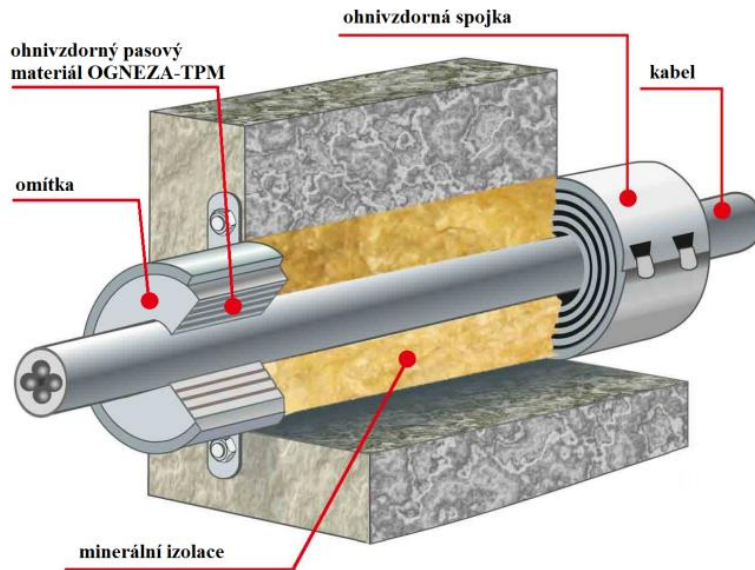
Velký význam je rovněž v rovině praktického přínosu a to v ideovém návrhu konstrukčního řešení modifikace HKP ŠKODA/IST pro instalaci modulů CONAX.

2.2 Kabelové průchodky

Kabelová průchodka je elektrotechnická součást stavby, určená pro vyvedení nebo průchod elektrických kabelů (kabelových tras) přes stěny, příčky a stropní konstrukce (Předpisy požární bezpečnosti).

Průchodky jsou určeny pro utěsnění průchodů kabelů a kabelových systému přes stěny, stropy a jiné stavební konstrukce a také pro odlehčení mechanického tahů vyvolaného hmotností vodičů (kabelů). V případě požáru je jejich cílem zabránit šíření ohně a kouře do přilehlých místností.

Obrázek 2-1 demonstruje konstrukci univerzální kabelové průchodky určené pro instalace ve stavebních konstrukcích vyráběnou firmou OGNEZA (Rusko). Jak je vidět na obrázku je průchod kabelů na koncích ukončen přírubami speciální konstrukce. Prostor mezi nimi je vyplněn minerální vatou. Funkční princip kabelové průchodky je založen na schopnosti ochranného pásového materiálu v přírubách trojrozměrného rozšíření za působení teplot. Při požáru komponenty pásové vložky začínají reagovat a materiál se zvětšuje v objemu a tvoří nehořlavý tepelně-izolační pěnový materiál, který zcela vyplňuje prostor v přírubě průchodky a brání šíření ohně do sousedních prostorů kabelovým vedením. Minerální izolace slouží jako žáruvzdorný materiál na dobu expanze pásové vložky (nejvíce 5 minut).



Obrázek 2-1 Univerzální kabelová průchodka „OGNEZA-PM-K“ (Кабельная проходка, 2015)

Nutnost použití kabelových průchodek lze demonstrovat na příkladu požáru ze dne 27. srpna 2000 na Televizní věži Ostankino (Moskva, Rusko). Při výstavbě této věže nebylo použito kabelových průchodek. Elektrické vedení bylo umístěno ve vertikální šachtě bez rozdělení na hermetické prostory, což způsobilo rychlé šíření ohně ve svislém směru. Jiným příkladem je nevhodná konstrukce kabelových průchodek u hermetických stěn pražského metra, které v době povodní v roce 2002 nezabránilly vniknutí vody do hermetických prostor.

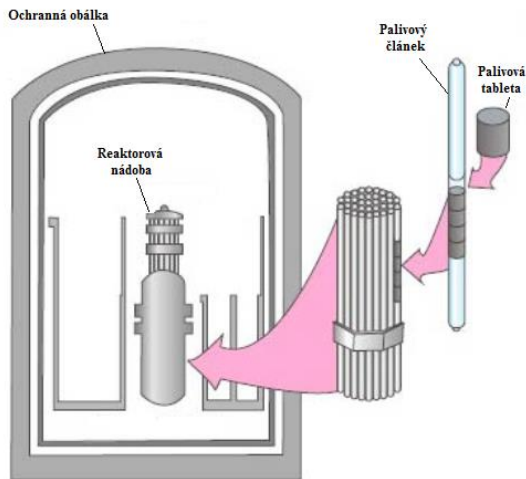
Nejpřísnější požadavky jsou kladeny na kabelové průchodky, které jsou určeny pro instalaci na jaderných elektrárnách. Dané průchodky musí zabezpečit hermetičnost a odolnost proti záření, odolávat vysokým tlakům a seizmickým účinkům a také vysokým teplotám v případě požáru.

2.3 Hermetické kabelové průchodky v bezpečnostním systému jaderné elektrárny

Bezpečnosti jaderných elektráren se věnuje velká pozornost. Pro zajištění spolehlivého a bezpečného provozu jsou jaderné elektrárny opatřeny řadou bezpečnostních a pomocných systémů. Proti úniku ionizujícího záření a radionuklidů do životního prostředí v moderních jaderných elektrárnách se používá systému vícenásobných fyzických bariér (obrázek 2-2) a také technických a organizačních opatření, sloužících k ochraně a zachování účinnosti těchto bariér.

Systém bezpečnostních bariér jaderné elektrárny:

1. bariéra – hermetický obal palivových tablet, který zabraňuje uniku produktů štěpení pod obálku palivových článků.
2. bariéra – hermetický obal palivových článků (tyčí) zabraňuje uniku produktů štěpení do primárního cirkulačního okruhu.
3. bariéra – hermetický uzavřený primární okruh včetně reaktorové nádoby zabraňuje uniku produktů štěpení pod hermetickou obálku.
4. bariéra – ochranná obálka neboli kontejnment zabraňuje uniku produktů štěpení do okolního prostředí (Bečvář J., 1981).



Obrázek 2-2 Systém fyzických bariér jaderných bloků. (Барьеры безопасности, 2011)

Při uspořádání jaderné elektrárny a jejího zařízení se počítá s řadou zvláštních ochranných opatření, která jsou směřována na lokalizaci havárie při ztrátě těsnosti primárního okruhu nebo jiné havarijní situace. Za tímto účelem je základní zařízení jaderné elektrárny (hlavní cirkulační čerpadla, parogenerátory, potrubní systémy, elektroinstalace apod.) umístěno v hermetických ochranných obálkách, které jsou současně i biologickou ochranou.

Ochranná obálka (hermetická obálka, kontejnment) je poslední fyzickou bariérou na cestě uniku produktů štěpení do okolí. Také slouží k ochraně vnitřního zařízení JE proti poškození zvnějšku. Je to masivní objekt speciální konstrukce se složitým systémem potrubí a kabelových průchodů. Vznikla za účelem snížení uniku radioaktivity do okolí jaderné elektrárny a lokalizace havárie.

První jadernou elektrárnou s ochrannou obálkou byla jaderná elektrárna Connecticut Yankee (USA), která byla uvedena do provozu v roce 1968. Elektrárna měla jeden blok s tlakovodním reaktorem (PWR) a v roce 1996 byla odstavena.

Ochranná obálka jaderné elektrárny musí plnit následující funkce:

- odolávat tlakům a zabránit uniku radioaktivních látek a ionizujícího záření do životního prostředí v případě vnitřní havárie spojené s roztržením hlavního potrubního systému a ztrátě chladiva (havárie LOCA – Loss of coolant accident);
- zajistit snížení tlaků a teploty uvnitř kontejnmentu ve stavu po havárii;
- chránit reaktor a zařízení primárního okruhu od vnějších vlivů jako jsou např.: zemětřesení, hurikány, pád letadla, zásah rakety apod. (Nuclear containments, 2001).

Konstrukce kontejnmentu se může značně lišit v závislosti na typu reaktoru a uspořádání zařízení primárního okruhu, vlastností použitých materiálů a specifických vnějších hrozeb (např. seismicity).

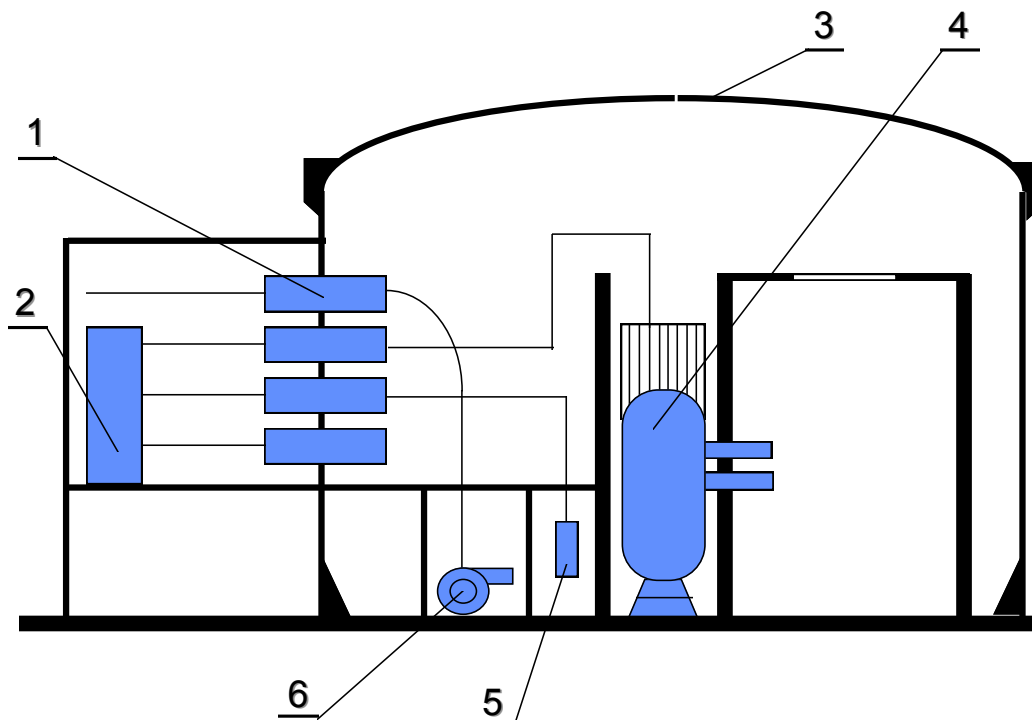
Uvnitř kontejnmentu tlakovodních reaktorů se nachází samotný reaktor, cirkulační smyčky primárního okruhu, hlavní cirkulační čerpadla, parogenerátory a další zařízení. Tlakovodní reaktor je jaderný reaktor chlazený a moderovaný lehkou vodou. Podle provedení je lze rozdělit na 2 základní koncepty: západní (PWR – Pressurized Water Reactor) a východní (VVER – Vodo – vodní energetický reaktor).

Jsou to většinou stavby z betonu vyztuženého nebo předpjatého, nejčastěji válcového tvaru s ocelovým pláštěm uvnitř konstrukce nebo bez něho. Obložení ocelovým pláštěm zlepšuje těsnicí vlastnosti a odolnost vůči zatížení. Kontejnmenty tlakovodních reaktorů jsou velkých rozměrů: obvykle objemy jsou od 75 000 do 100 000 m³, v sovětských a ruských projektech je to od 65 000 m³ do 67 000 m³. Tak velký objem je potřebný pro přenos energie uvolněné při nehodě. Ve většině případů jsou určeny pro vnitřní přetlak 0,5 MPa.

Hlavním faktorem, podmiňujícím důležitost použití hermetického obalu pro tlakovodní reaktory, je nutnost přijmout zatížení od zvýšení tlaku spojeného s roztržením hlavního potrubí primárního okruhu. Pro zmírnění účinků rázové vlny se v kontejnmentu během provozu udržuje mírný podtlak. Hlavním pomocným systémem pro snížení tlaku a kondenzaci páry v případě havárie je systém sprchování, umístěný pod kupolí ochranné obálky (Ragheb M., 2011).

Konstrukce kontejnmentu může obsahovat jednu nebo dvě ochranné obálky. Kontejnmenty s jednou obálkou s vnitřním kovovým pláštěm jsou nejvíce rozšířeným typem, používají se ve většině zemí, včetně Spojených států, Japonska a Ruska. Mají obecně válcový tvar. Dvojitý kontejnment se skládá z vnější, nepředepjaté obálky, pro zajištění ochrany od vnějších vlivů a vnitřní, předepjaté, pro lokalizaci havárie spojené se ztrátou těsnosti primárního okruhu. Konstrukce dvojitého kontejnmentu se začala používat ve Francii pro reaktory s výkonem od 1300 MW, a také v posledních energetických blocích v Belgii. Většina nových projektů jaderných elektráren generace III a III+ je vybavena dvojitým kontejnmentem v souladu s požadavky současné legislativy.

Přes ochrannou obálku jaderné elektrárny je nutno převést velké množství kabelů pro napájení elektrotechnického zařízení primárního okruhu, kontrolních a měřicích přístrojů, ovládacích panelů, elektromotorů a mnoha dalších přístrojů. Vývod kabelů přes ochrannou obálku se provádí pomocí speciálního zařízení – hermetické kabelové průchodky (obrázek 2–3). Místa kabelových průchodů musí zachovat těsnost celé ochranné konstrukce.



Obrázek 2-3 Situační schéma; (Informační literatura ŠKODA JS a.s.)

1- kabelová průchodka, 2- svorkovnicová skříň, 3- kontejnment, 4- vnitro reaktorová měření, 5- vnější neutronová instrumentace, 6- hlavní cirkulační čerpadlo

Hermetické kabelové průchody jsou elementem systému lokalizaci havárie, a proto hrají velkou roli v zabezpečení funkčnosti jaderné elektrárny nejenom v normálním provozu, ale také při havarijních a post havarijních režimech.

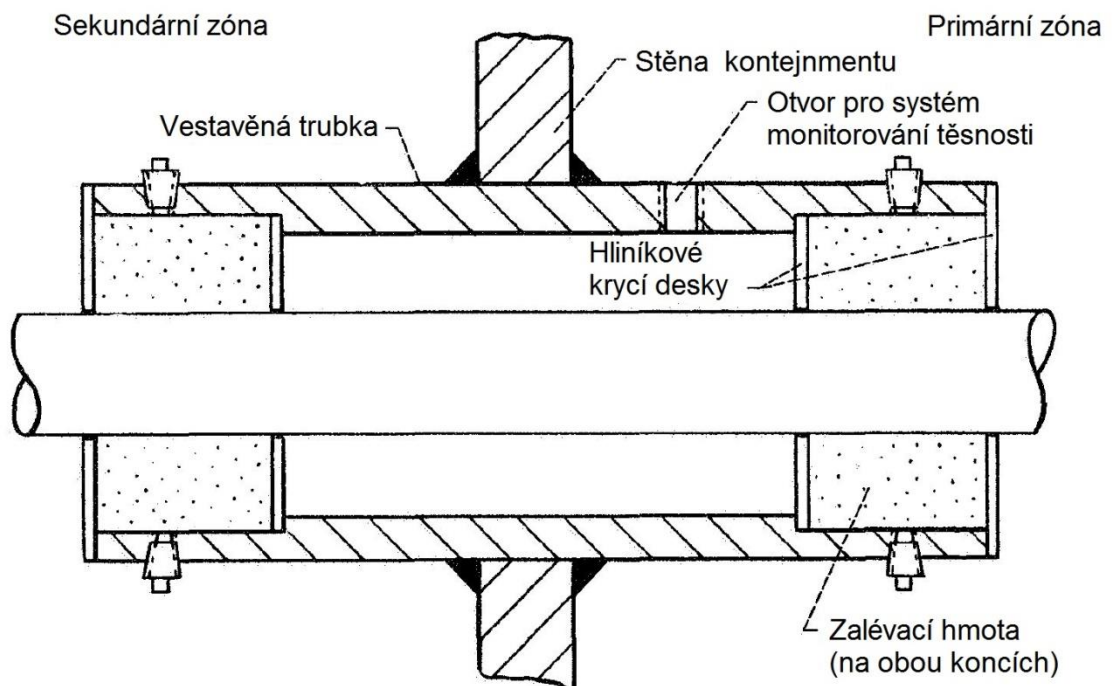
Jejich stavební struktura je závislá na typu konstrukce kontejnmentu, podmínkách provozu, tlaků vznikajících pod obálkou apod. Například maximální parametry při havárii pro kontejnmenty tlakovodních reaktorů jsou o něco nižší než pro kontejnmenty varných reaktorů. Jejich hodnoty jsou uvedeny níže v tabulce 2-1.

	Tlak [MPa]	Teplota [°C]
Tlakovodní reaktory (PWR, VVER)	0,5	150
Varné reaktory (BWR)	0,6	170

Tabulka 2-1 Maximální výpočtové parametry při havárii

Vývoj HKP pro Jaderné elektrárny

Začátek vývoje hermetických kabelových průchodů je založen na průchodkách, které ve své konstrukci používají zalévací těsnicí hmoty na bázi polymerních materiálů. První průchodky použité v konstrukcích jaderných elektráren byly celostní, to znamená, že byly provedené skrz stěnu kontejnmentu bez rozdělení. Těsnění a biologická ochranu kabelů se prováděla různými způsoby. Původně kabely a svazky kabelů se protahovaly přes speciální průchod ve stěně a prostor mezi kabely uprostřed stěny byl vyplněn polymerním těsněním. Na koncích byl prostor vyplněn ocelovým nebo olověným granulátem. Následovně se čela průchodu zamazovala azbestocementovou hmotou, která při ztuhnutí zajišťovala požární ochranu.



Obrázek 2-4 Elektrická průchodka (CONANT Charles W., 1969)

Schematické znázornění elektrických průchodů s použitím jednoho kabelu je ukázáno na obrázku 2-4. Elektrické kabelové průchodky obsahovaly i více kabelů, občas mohlo být i více než osm. Stejná konstrukce průchodky se používala pro všechny typy kabelů: napájecí, kontrolní a měřicí (koaxiální).

Dále průchod kabelů byl zajištěn pomocí speciálních ocelových rour, rozdělených na několik buněk. Přes každou z buněk byl protažen kabel nebo svazek kabelů. Pak konstrukce ze strany sekundární zóny byla založena asbestovou nebo jinou speciální náplní, z primární strany –

epoxidovou (tmel). Hermetickou náplň zpevňovali směsí cementu a asbestu. Pro biologickou ochranu používali ocelový granulát. Ocelová konstrukce se montovala do otvoru v kontejnmentu se zajištěním hermetičnosti, požární odolnosti a radiační ochrany.

V jiných konstrukcích, místo buněk byly vodiče proloženy přes řadu trubek, které byly přivařené k ocelové desce. Takový trubkový blok se betonoval do stavební konstrukce kolmo, nebo pod úhlem 45° pro zajištění radiační bezpečnosti.

Nevýhody této konstrukce, včetně kabelového průchodu zobrazeného na obrázku 2-4:

- použití drahého speciálního kabelu jak v primárních tak i sekundárních zónách,
- potíže s montáží neděleného kabelu (následovně v průchodkách se používá rozdělení kabelu a speciální kabel se používá jenom v primární zóně),
- nedostatečná těsnost mezi pláštěm kabelu a izolací jednotlivých vodičů,
- nedostatečná těsnost mezi izolací vodičů a vodičem a mezi žilami, v případě použití mnohožilových kabelů,
- nízká radiační odolnost těsnicích materiálů,
- většina zalévacích hmot s časem ztratila svoje vlastnosti a údržba průchodek byla hodně náročná,
- výměna kabelů byla poměrně časově náročná operace, při které bylo nutné odstranit veškerou těsnicí hmotu a vyrobít nové kryty tak, aby odpovídaly nové kabeláži.

Z výše uvedených důvodů prošly elektrické kabelové průchodky dalšími etapami vývoje. V dnešní době je moderní kabelová průchodka speciální zařízení, instalované ve stěně kontejnmentu, ke kterému se s obou stran připojují kabely (speciální LOCA kabely – ze strany primární zóny, běžné kabely – ze strany sekundární zóny). Je to samostatné hermetické zařízení, které se montuje do kontejnmentu, a zajišťuje těsnost a radiační ochranu v daném místě stavební konstrukce. Připojení a odpojení kabelů k průchodce nevede k porušení celistvosti konstrukce.

V souladu se současnými bezpečnostními standardy na hermetické kabelové průchodky jsou kladeny vysoké požadavky na zajištění hermetičnosti a pevnosti, spolehlivosti přenosu elektrických signálů, radiační a požární odolnosti všech prvků průchodky a zachování funkčnosti během provozu.

Hermetický kabelový průchod musí splňovat následující technické požadavky:

- zajistit spolehlivý průchod elektrických silových a kontrolních obvodů kontejnmentem
- zajistit biologickou ochranu proti úniku radiace ekvivalentní tloušťce stavební konstrukce z materiálu o hustotě 2,35 t/m³ (pro reaktory VVER 1000/V320);
- odolat zkušebnímu tlaku uvnitř kontejnmentu (0,56 MPa pro reaktory VVER 1000/V320);
- zachovat těsnost a funkčnost v celém rozsahu projektových seizmických vlivů;
- odolávat cyklickým změnám teplot pod obálkou po celou dobu životnosti;
- být odolnými vůči teplotám od – 10 °C do +45 °C;
- být odolnými vůči dezaktivacím roztokům;
- zachovat těsnost hermetické zóny při požáru o teplotě 1000 °C na libovolné z její stran po dobu 90 minut.

Hermetické kabelové průchodky musí spolehlivě pracovat při všech režimech provozu jaderné elektrárny. Požadovaná životnost průchodky je 40 až 60 let.

Jako příklad havárie v systému kabelových průchodek lze uvést požár na JE Brouns Ferry (USA) v roce 1975, který vznikl při kontrole těsnosti průchodky. V té době bylo zvykem kontrolovat těsnost průchodky pomocí plamínku svíčky, od které se vznítil polyuretan používaný pro těsnění průchodky a oheň se šířil přes izolace kabelů.

Problematice spolehlivosti kabelových průchodek v projektech jaderných elektráren se věnuje velká pozornost, zvláště po řadě havárií na jaderných elektrárnách. O tom svědčí náročné požadavky a normy, které se vztahují k hermetickým kabelovým průchodkám.

3 Současný stav hermetických kabelových průchodek (HKP) pro jaderné elektrárny a jejich rozdělení

Každá hermetická kabelová průchodka je unikátním výrobkem a vyrábí se podle individuálních požadavků. Konstrukce HKP a požadavky na její vlastnosti jsou závislé na konstrukci ochranné obálky jaderné elektrárny a na její instalaci. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3 maximální výpočtové parametry tlaku a teploty uvnitř kontejnmentu jsou rozličné pro různé typy reaktorů.

Hermetické kabelové průchodky lze rozdělit podle napětí a použitých elektrických modulů:

- vysokonapěťové;
- nízkonapěťové silové;
- nízkonapěťové pro řídicí obvody;
- nízkonapěťové pro měření.

Hermetické kabelové průchodky a jejich komponenty jsou vyráběné z kovů a dalších materiálů: polymerů, skla, keramiky a kompozitních materiálu. Tyto materiály (s výjimkou kovů) v konstrukci HKP se používají jako těsnění a izolace. Kovy jsou dostatečně odolné vůči záření a proto celková odolnost HKP vůči záření je závislá především na odolnosti materiálů těsnění a izolace. Těsnicí prvky používané v HKP musí být dostatečně pevné pro zachování hermetičnosti kontejnmentu za všech podmínek (Костюков Н.С., 2004).

Proto lze hermetické kabelové průchodky dále rozdělit na tři základní skupiny podle způsobů těsnění a izolace vodičů:

- těsnění na bázi polymerů;
- těsnění sklem;
- těsnění na bázi keramiky a kovo-keramických prvků.

3.1 Hermetické kabelové průchodky s použitím těsnění a izolace na bázi polymerů.

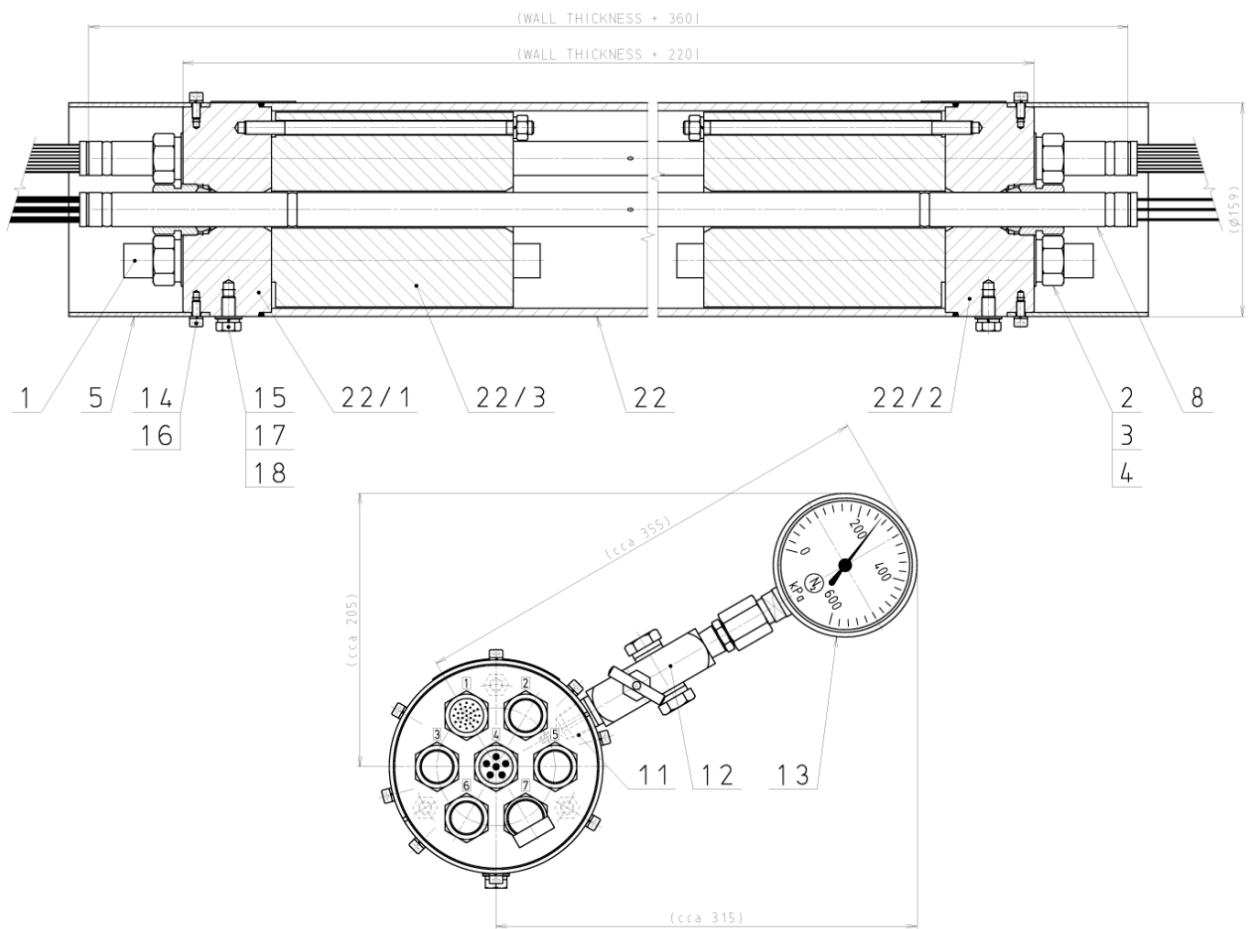
První skupinou hermetických kabelových průchodek uvedených v dané bakalářské práci jsou HKP na bázi polymerů. Nejznámější průchodky tohoto typu jsou průchodky CONAX (materiál pro těsnění je polysulfon), IST (materiál pro těsnění je speciální zálivka na bázi křemičitého písku a epoxidu) a průchodky typu PGKK (materiál pro těsnění je polymerní směs). Průchodky typu PGKK byly používány na elektrárnách na území bývalého Sovětského svazu i na starších jaderných elektrárnách v zemích východní Evropy. Epoxidová pryskyřice se používala i v konstrukci dalších průchodek jako Amphenol, Crouse-Hinds, Westinghouse a General Electric.

Hermetické kabelové průchodky pro jaderné elektrárny s těsníci a izolačními prvky na bázi polymerů v dané práci jsou představeny průchodkami ŠKODA/CONAX a ŠKODA/IST vyráběnými společnostmi ŠKODA JS a.s. a průchodkami typu PGKK.

3.1.1 HKP ŠKODA/CONAX

HKP ŠKODA/CONAX jsou hermetické kabelové průchodky vyráběné společností ŠKODA JS a.s. v licenci americké firmy Mirion Technologies (IST-Conax Nuclear).

Hermetická kabelová průchodka ŠKODA/CONAX je tvořena trubkou z nerezové oceli o vnějším průměru 159 mm (pozice 22), která je na koncích přivařena k primární (pozice 22/1) a sekundární přírubě (pozice 22/2), rovněž z nerezové oceli (obrázek 3–1).



Obrázek 3-1 Hermetická kabelová průchodka ŠKODA/CONAX (Informační materiály ŠKODA JS a.s.)

Délka průchodky je určena tloušťkou stěny, pro kterou je uvažovaná. Obvyklá délka je dána tloušťkou stěny +360 mm. Na obou přírubách jsou ještě umístěny dělené odnímatelné kryty z nerezového plechu, které slouží jako mechanická ochrana elektrických modulů vystupujících z průchodky. Průchodka ŠKODA/CONAX o průměru 159 mm obsahuje maximálně 7 elektrických modulů, pozice 8 (obrázek 3–1).

Průchodky ŠKODA/CONAX umožňují rovněž instalaci modulů s optickými vlákny pro přenos světelných signálů. Optický modul může obsahovat maximálně 8 optických vláken, které jsou na koncích opatřeny konektory.

Na sekundární přírubě průchodky je umístěn manometrový komplet s ventilem, pozice 12 (obrázek 3–1), který monitoruje tlak dusíku ve vnitřním prostoru průchodky. Po uzavření ventilu je možné manometr demontovat (např. pokud je vyžadovaná pravidelná kalibrace) bez ztráty tlaku plynu uvnitř průchodky.

V případě, že zákazník nepožaduje instalaci všech 7 elektrických modulů v průchodce, je možné některé moduly nahradit zátkami. Jako zátky jsou použity tyče z nerezové oceli o stejném průměru jako elektrické moduly. V případě potřeby je možné následně u již instalované průchodky tyto zátky demontovat a nahradit je rovněž elektrickými moduly.

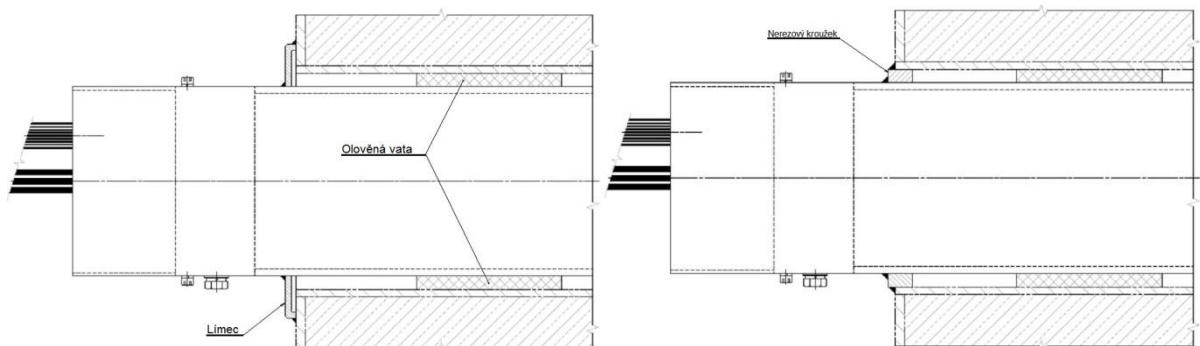
Biologické stínění v průchodce je řešeno vložení olověného stínění. Toto stínění, pozice 22/3 (obrázek 3–1), je rozděleno na dvě části, jedna se nachází u primární příruby, druhá u sekundární příruby. Tloušťka tohoto stínění je vždy volena tak, aby stínicí schopnosti odpovídaly minimálně stínícím schopnostem betonu příslušné stěny, kde je průchodka instalována.

Minimální prokázaná životnost průchodek je 40 let za těchto provozních podmínek:

- teplota prostředí: do 120 °C;
- relativní vlhkost: 100 % (normální provoz), 100 % (havárie);
- maximální obdržaná radiační dávka: $2,25 \times 10^6$ Gy (gama) $4,13 \times 10^7$ Gy (beta);
- LOCA podmínky: 180 °C, 510 kPa;
- seizmická odolnost: 15g SSE, 5g OBE;
- těsnost průchodek vyhovuje po celou dobu životnosti požadavkům norem IEEE 317 a IEC 772 1×10^{-3} Pam³/s;
- při výrobě je garantována celková těsnost 1×10^{-4} Pam³/s.

Průchodka je dodávána natlakovaná dusíkem s již instalovanými elektrickými moduly, popřípadě zátkami. Při montáži se průchodka vsune do zabudované trubky ve stěně, vystředí se pomocí klínek a do mezikruží mezi tělesem průchodky a vnitřním povrchem vestavěné trubky se napěchuje z obou stran určité množství olověné vaty. Olověná vata slouží jako biologické stínění prostoru mezikruží a zároveň udrží průchodku ve vystředěné pozici, tudíž po napěchování lze odstranit vystředovací klínek.

Následně dojde k přivaření pláště průchodky buď pomocí límců z nerezové oceli k obličovce stěny, nebo pomocí nerezových kroužků, které se vsunou do prostoru mezikruží mezi pláštěm průchodky a vestavěnou trubkou (obrázek 3–2).



Obrázek 3-2 Způsoby montáže HKP ŠKODA/CONAX: vlevo – pomocí límců, vpravo – pomocí nerezových kroužků
(Informační materiály Škoda JS a.s.)

Límce mohou být opatřeny rovněž ventilem, pomocí něhož se může provádět zkouška těsnosti montážních svarů. Límce nebo kroužky (dle přání zákazníka) jsou součástí dodávky průchodek.

Firma ELOX PROM dříve také vyráběla hermetické kabelové průchodky typu CONAX v licenci francouzské firmy Auxitrol, která pracovala na základě licence americké firmy CONAX. Firma již vyrábí vlastní HKP.

Její průchodky jsou instalovány na jaderných elektrárnách takových zemí jako Rusko, Bulharsko, Indie, Čína, Slovensko a Ukrajina. Dané průchodky jsou vhodné k instalaci na jaderných elektrárnách s reaktory typů VVER a RBMK.

3.1.2 HKP ŠKODA/IST

Hermetické kabelové průchodky ŠKODA/IST jsou vyráběny společností ŠKODA JS a.s., v licenci americké firmy Mirion Technologies (IST CONAX NUCLEAR). Hermetické kabelové průchodky jsou vhodné k instalaci na běžných jaderných elektrárnách s reaktory typu VVER, PWR, BWR i experimentálních reaktorech.

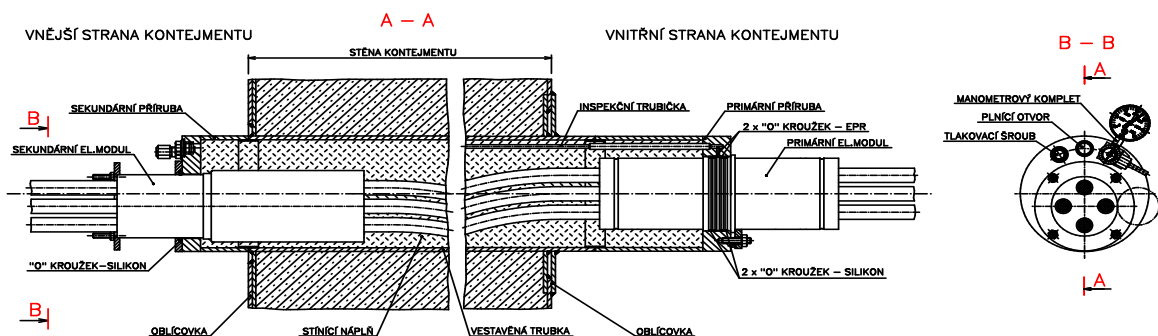
Hermetické kabelové průchodky ŠKODA/IST jsou vyráběny ve dvou provedeních:

Provedení I – bez ochranné trubky

Na obrázku 3–3 je ukázaná konstrukce nízkonapěťové HKP v provedení I. U tohoto provedení jsou elektrické moduly umístěny v přírubách, které se přivařují k základní vestavěné trubce procházející kontejnmentem. Velikost přírub zde musí souhlasit s průměrem vestavěné trubky. Výhodou tohoto provedení je snazší manipulace při montáži, zvláště ve stísněných prostorech, vzhledem k flexibilním kabelům spojujícím oba moduly. Nespornou výhodou je také nižší cena.

U tohoto provedení je možné průchodku dodávat rovněž bez elektrického modulu – tzv. vystrojený díl. U vystrojeného dílu jsou k zatěsnění primární a sekundární příruby použity ocelové zátky (princip utěsnění je stejný jako u elektrického modulu). Po vyjmutí zátek a odstranění stínící náplně je možné dodatečně instalovat elektrický modul.

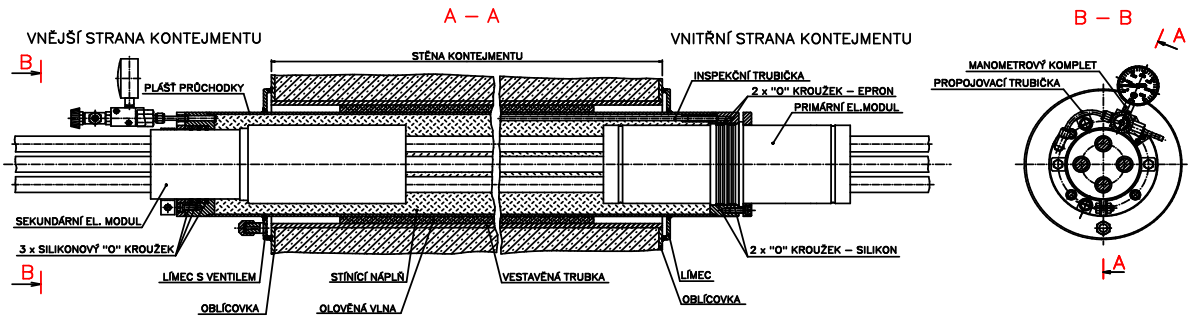
Rovněž u průchodek s elektrickým modulem je možno po odsátí stínící náplně provést výměnu elektrického modulu za jiný modul nebo instalací zátek změnit průchodku na vystrojený díl.



Obrázek 3-3 Nízkonapěťová hermetická kabelová průchodka – provedení I (Informační materiály ŠKODA JS a.s.)

Provedení II – v ochranné trubce

Na obrázku 3–4 je ukázaná konstrukce nízkonapěťové HKP v provedení II. U tohoto provedení jsou elektrické moduly umístěny v ocelové nerezové trubce o průměru 159 mm. Tato trubka se pak k základní vestavěné trubce nebo obličovce přivařuje pomocí límců. Nezáleží zde tedy na průměru základní vestavěné trubky. Hlavní výhodou je u tohoto provedení snazší a rychlejší montáž, což je výhodné především pro výměnu průchodek při odstávkách pracujících jaderných elektráren. Další výhodou je, že průchodka zachovává svoji těsnost i při netěsnosti vestavěné základní trubky. Možnost výměny elektrického modulu po odsátí stínící náplně zůstává zachována stejně jako v provedení I.



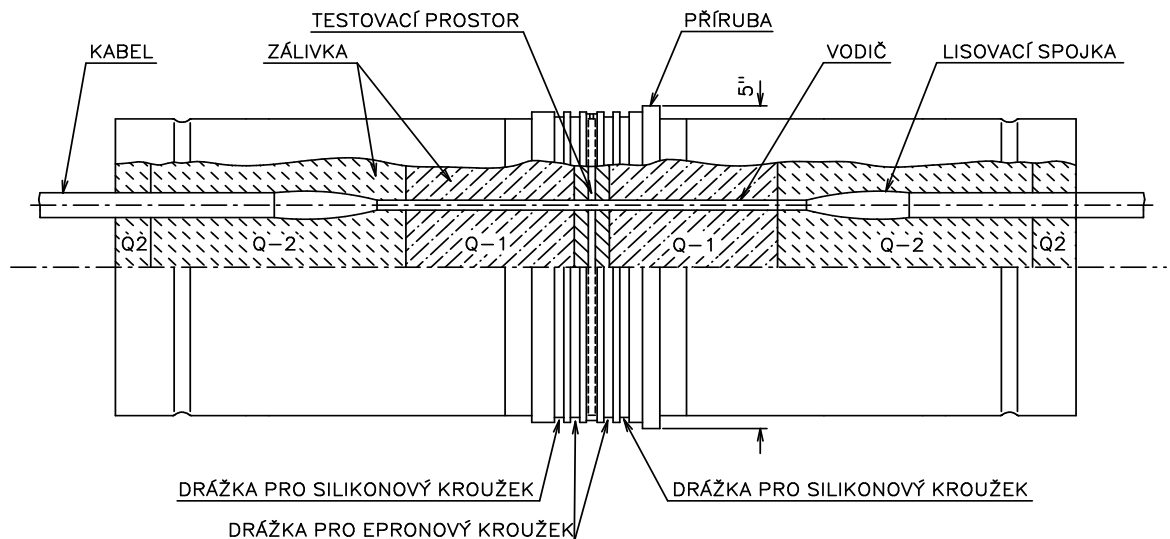
Obrázek 3-4 Nízkonapěťová hermetická kabelová průchodka – provedení II (Informační materiály ŠKODA JS a.s.)

Princip zatěsnění

Základním těsnícím elementem průchodek je elektrický modul o průměru 5" (125 mm), který má dvě části – primární a sekundární. Elektrické moduly jsou zatěsněny v přírubách pomocí těsnících silikonových a epronových O-kroužků (obrázek 3-5).

Elektrický průchod modulem je zajištěn pomocí holých měděných vodičů, které jsou zality speciálními zálivkami Q_1 a Q_2 na bázi epoxidu, s vysokým obsahem křemíku.

V primárním elektrickém modulu je vytvořena testovací komůrka, která je natlakovaná dusíkem. Prostor komůrky je propojen s prostorem mezi O-kroužky a přírubou a tlak je inspekční trubičkou vyveden na kontrolní manometr na sekundární straně.



Obrázek 3-5 Princip zatěsnění vodičů v elektrickém modulu (Informační materiály ŠKODA JS a.s.)

U průchodek provedení II je rovněž vnitřní prostor tělesa průchodky tlakován dusíkem.

Průchodky provedení II vyrobené do roku 1996 mají ještě jeden kontrolní manometr – pro kontrolu tlaku dusíku vnitřního prostoru tělesa průchodky. Průchodky provedení II vyrobené po roce 1998 včetně mají při provozu prostor kontrolní komůrky v primární části elektrického modulu propojen s vnitřním prostorem tělesa průchodky. Vnitřní prostor tělesa průchodky pak slouží jako zásobárna dusíku pro kontrolní komůrku, což umožňuje mnohonásobné prodloužení intervalu doplňování dusíku do průchodky. Po jednoduché demontáži propojení mezi prostorem kontrolní komůrky a ochranné trubky na sekundární straně průchodky, zůstává zachována možnost rychlého vyzkoušení těsnosti primárního modulu na pokles tlaku v kontrolní komůrce. Součástí průchodek nízkého napětí a průchodek kabelů

řídících obvodů jsou rovněž jednožilové flexibilní kabely (popřípadě více žilové párové a koaxiální kabely). Tyto kabely odpovídají vždy normě IEC 332-3A a na přání zákazníka normě IEC 331 (180 min). Kabely vycházející z primárního modulu odpovídají požadavkům LOCA. Připojení kabelu k holým měděným vodičům v modulech se provádí pomocí lisovacích spojek. U vyšších průřezů od 6 mm² se lisuje na kabel koncovka se závitem, která je na vodič v modulu našroubována. Tyto lisované spoje jsou při výrobě pravidelně kontrolovány zkouškou na vytržení kabelu a zaručují bezpečný spoj po celou dobu životnosti průchodky.

Jako biologická ochrana je v průchodkách použit ilmenit (FeTiO₃) nebo ocelový granulát.

U obou typů průchodek je možné provést výměnu elektrického modulu bez demontáže přírub nebo ochranné trubky.

Základní údaje:

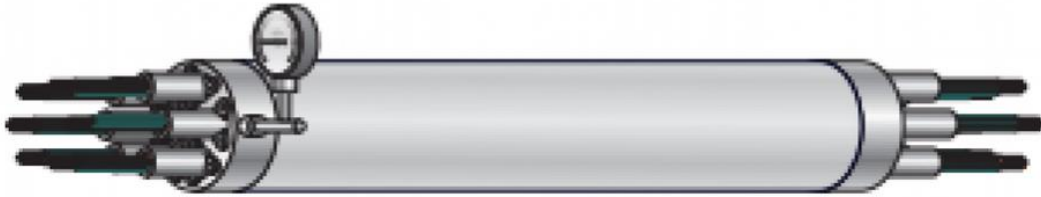
- těsnost průchodek po dobu jejich životnosti je lepší než $1 \times 10^{-3} \text{ Pam}^3 \text{ s}^{-1}$. Při výrobě je garantována těsnost $1 \times 10^{-4} \text{ Pam}^3 \text{ s}^{-1}$;
- průchodky mají dvě těsnostní bariéry – primární a sekundární modul;
- maximální absorbovaná dávka za životnost průchodky je 200 Mrad;
- průchodky vyhovují podmínkám maximální havárie LOCA (rovněž dané průchodky byly vystaveny extrémním LOCA podmínkám);
- průchodky jsou seismicky odolné (pro každou lokalitu se provádí zkouška nebo výpočet);
- průchodky odolávají beze ztráty těsnosti působení ohně o teplotě 1000 °C déle než 90 minut a plní funkci protipožární přepážky;
- životnost průchodek je 40 let.

3.1.3 HKP typu PGKK

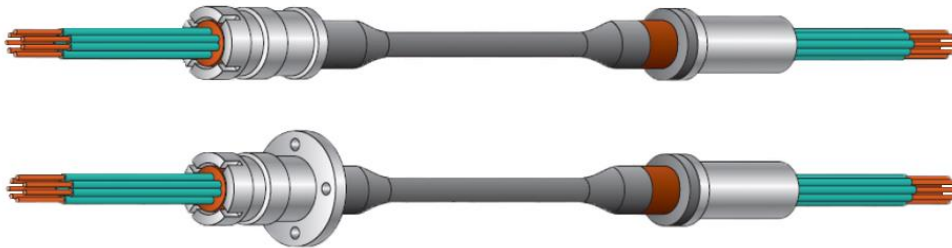
Daný typ průchodek byl převážně používán na jaderných elektrárnách na území bývalého Sovětského Svazu. Základem PGKK (průchodky hermetizované kontrolních kabelů) jsou kabely s polymerní izolací.

Zjednodušené schéma konstrukce hermetické kabelové průchodky typu PGKK je ukázaná na obrázku 3–6. Jednotlivé části ukazují 1 – zařízení hermetizace kabelových svazků, 2 – konzola, 3 – pouzdro průchodky, 4 – vestavená trubka, 5 – obličovka kontejnmentu, 6 – nátrubek pro kontrolu těsnosti průchodky, 7 – zátka, 8 – nátrubek pro kontrolu těsnosti prstence, 9 – ochrany kryt, 10 – prstenec, 11- azbestová šňůra, 12 – biologická ochrana, 13 – ochranná obálka.

Hermetické kabelové průchodky typu PGKK s použitím nových moderních technologií výroby modulů těsnících elementů v současné době vyrábí firma PAO OEMZ (Opytnyj elektromontažnyj zavod) v Rusku.

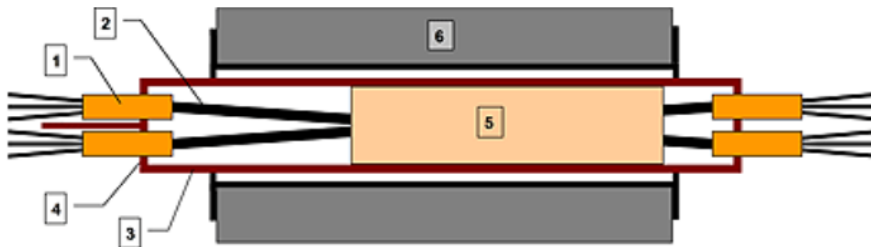


Obrázek 3-7 Hermetická průchodka kontrolních kabelů typu PGKK (Проходки и модули кабельные, герметичные ПГКК, 2016)



Obrázek 3-8 Elektrické moduly MGK a MGK/A-02 (Проходки и модули кабельные, герметичные ПГКК, 2016)

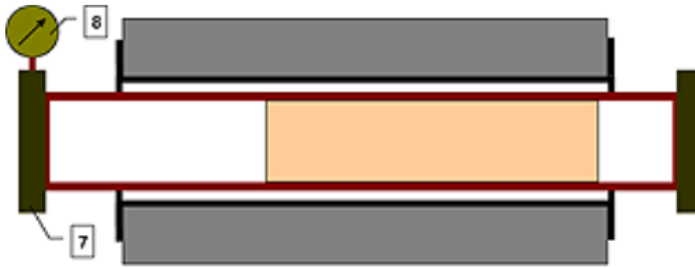
Obnovou sovětských průchodek typu PGKK se zabývala také firma VISOLA (Maďarsko) pro Jadernou elektrárnu Paks (Maďarsko). Obnova zastaralých kabelových průchodek spočívala v záměně starých eklektických modulů na moduly vyvíjený firmou VISOLA.



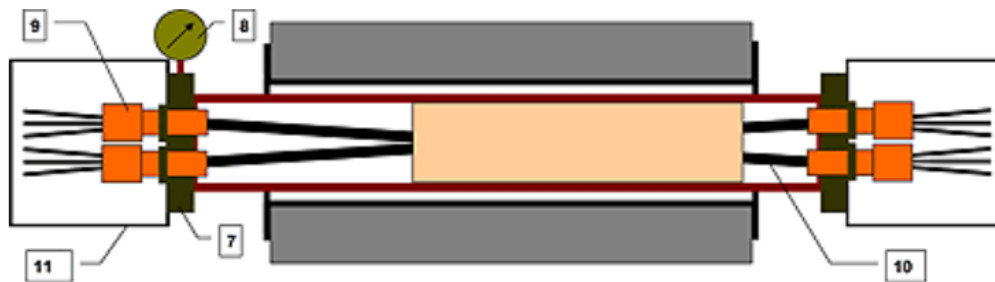
Obrázek 3-9 Starý typ PGKK s běžným modulem (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013),
1 – starý modul, 2 – starý kabel, 3 – tělo průchodky, 4 – čelní strana tělesa 5 – biologická ochrana, 6 – stěna kontejneru



Obrázek 3-10 Těleso kabelové průchodky v stěně kontejneru po demontáži modulů (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013)



Obrázek 3-11 Čela průchodky jsou nově vybaveny přírubou z nerezové oceli a přístrojem pro měření těsnosti průchodky (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013),
7 – nová příruba, 8 – manometr



Obrázek 3-12 Instalace nových modulů a kabelů. Instalace rozvodové krabice (Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК, 2013),
9 – nový modul, 10 – nový kabel, 11 – rozvodová krabice

3.2 Hermetické kabelové průchodky s použitím těsnění na bázi skla.

Druhou skupinou hermetických kabelových průchodek jsou průchodky na bázi skla. V porovnání s polymery sklo má řadu výhod:

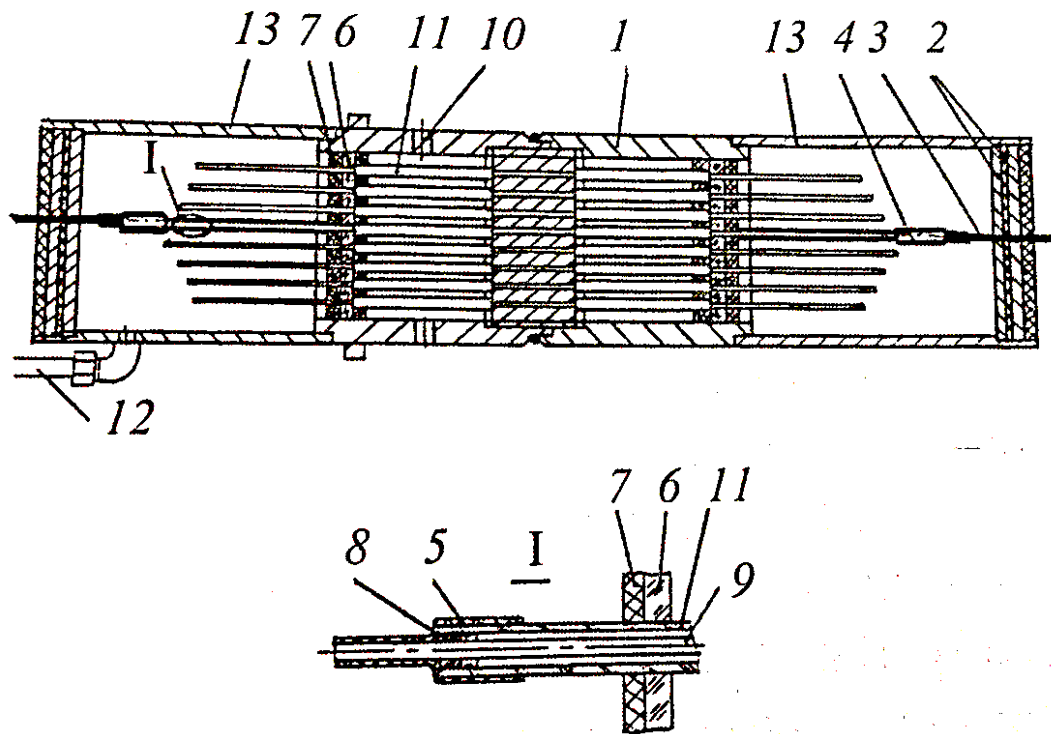
- vyšší odolnost vůči radiaci v porovnání s polymery;
- není hořlavé;
- nerozkládá se za působení zvýšených teplot;
- vysoká odolnost vůči chemickým aktivním dezaktivacím roztokům.

Známé jsou průchodky používající sklo ve své konstrukci jako O'Brien, Physical Sciences a VIKING.

V současné době největším výrobcem HKP s použitím těsnicího systému sklo-na-kov je firma Shott Electronic Packaging GmbH, jejíž licenci pro výrobu svých průchodek používá firma VISOLA, která ovšem navrhla vlastní úpravu pro možnost využití průchodek pro elektrárny typu VVER.

3.2.1 HKP SCHOTT Eternaloc™

Hermetické kabelové průchodky SCHOTT Eternaloc™ jsou vyvinuté německou firmou Shott Electronic Packaging GmbH a jsou nainstalovány na 50 jaderných elektrárnách s reaktory typu PWR (tlakovodní reaktor), BWR (varný reaktor), HTR (vysokoteplotní reaktor) a FBR (rychlý množivý reaktor).



Obrázek 3-13 Zařízení hermetické kabelové průchodky SHOTT (Костюков Н.С., 2004)

Pro lepší představu na obrázku 3–13 je schematicky znázorněno zařízení jednoho ze starších typů hermetických kabelových průchodek SHOTT, které se skládá z následujících částí: 1 – plášť průchodky, 2 – izolační hmoty, 3 – napájecí kabel, 4- kabelový konektor, 5 – smršťovací díl, 6 – spoj sklem, 7 – izolační hmota, 8 – tvrdá pájka, 9 – měděný vodič, 10 – otvor pro kontrolu těsnosti, 11 – trubice, 12 – spojení se systémem ochrany, 13 – ochranný box.

Těleso průchodky (pozice 1) se skládá ze dvou částí. Uvnitř tělesa jsou umístěny trubky (pozice 11), které jsou na koncích těla průchodky utěsněny skelnou pájkou (pozice 6) a izolační hmotou (pozice 7). Přes trubky prochází měděné vodiče (pozice 9), které jsou na koncích hermeticky zatavené tvrdou pájkou (pozice 8). Čela hermetické průchodky jsou chráněna pomocí ochranných boxů (pozice 13). Vstup pro napájecí kabel přes pouzdro je izolován hmotou (pozice 2). Kontrola těsnosti průchodky se provádí přes otvor (pozice 10). Skleněná pájka se nachází v čele konstrukce průchodky, a proto musí vydržet zatížení tepelnou roztažností, seizmické a vibrační, a také zatížení tlakem vzduchu při pevnostních zkouškách a během provozu. Maximální tlak je 0,56 MPa. Takové zatížení na spoj kov-sklo může vést k vytlačení čelního skleněného disku nebo k jeho posunutí se ztrátou hermetičnosti. Při výrobě zde také může docházet k nerovnoměrnému rozložení teploty v celém průřezu čelního skleněného disku, což může vést k nerovnoměrnému rozložení napětí ve spojích kov-sklo. Pak zvýšení teploty za provozu může vyvolat praskliny na povrchu skla, což vede ke znehodnocení celé průchodky. Proto průchodky podrobené tepelným účinkům je po havárii nutno měnit. A protože v průchodkách SHOTT je takových spojů kov-sklo velké množství, pak pravděpodobnost ztráty těsnosti jednoho z nich je velmi velká (Костюков Н.С., 2004).

V současné době je firmou vyvíjen a uveden na trh nový typ průchodky SCHOTT Eternaloc™. Pro její hermetizaci se používá skla, odolného proti stárnutí, které zajišťuje spolehlivou práci díky své odolnosti vůči ohni a tlaku. Tento systém těsnění sklo-na-kov také brání úniku páry, radiace a tlaku.

Moduly průchodky se skládají hlavně z:

- kovového pláště s hermeticky utěsněným vodičem;
- těsnicí systém sklo-na-kov;
- koncové kabelové spojky (odolné vůči havárii spojené se ztrátou chladiva a utěsněné pomocí smršťovacích trubek nebo elastomerních těsnění);
- kabelových koncovek;
- kovového krytu pro ochranu kabelového vedení.

Těsnicí systém sklo-na-kov kabelové průchodky se skládá z kovového pláště, těsnicí hmoty ze skla (skleněná preforma - tableta) a kovového vodiče, které se spojí v montážním přípravku. Celá sestava se zahřívá na teplotu, při které se sklo stává kapalným a vyplní prostor mezi kovovými částmi. Během ochlazování při dosažení teploty skelného přechodu sklo tuhne. Při dalším chlazení kovový plášť se smršťuje více než vodič a izolační těsnění ze skla (díky vyššímu koeficientu tepelné roztažnosti), čím vzniknou radiální tlakové síly na skleněné těleso. Toto stlačení vede ke zvýšení pevnosti spoje a jeho utěsnění a to i za vysokých teplot, působení tlaku a cyklickém tepelném namáhání. Po pájení se kovový plášť pokrývá ochrannou vrstvou proti korozi.

Konce kabelů jsou spojené s vodiči pomocí konektorů, zalisováním nebo pájkou, pak jsou izolované pomocí smršťovací bužírky a zalité elastomerem pro zajištění elektrických vlastností i v případě havárie. Na koncích jsou namontované kryty z nerezové oceli pro mechanickou ochranu kabelů. Krabicové rozvody na obou stranách kontejnmentu poskytují další ochranu elektrického systému (Electrical Penetration Assemblies for Nuclear Power Plants, 2017).

Technické charakteristiky uváděné výrobcem:

- míra ochrany: IP 54;
- teplotní odolnost: do ≥ 200 °C / 8 h;
- odolnost vůči tlaku: do ≥ 20 bar;
- dávka záření: $0,5 \times 10^6$ Gy gama záření (případně až 5×10^6 Gy);
- únik netěsnostmi (pouze průchodky): $< 1 \times 10^{-6}$ cm³ / sec. Helia;
- únik netěsnostmi (u zabudovaných průchodek): $< 1 \times 10^{-3}$ cm³ / sec. Helia,
- seizmická odolnost: do 5g / 5; 100 Hz ve 3 osách.

Výrobce uvádí následující výhody konstrukci průchodek SCHOTT Eternaloc™:

- Velký počet vodičů procházejících jednou průchodkou dosahující 120 pro provedení se spojkou a 500 pro variantu s přírubou, což snižuje potřebný počet kabelových průchodek přes kontejnment jaderné elektrárny.
- Vodiče a těsnicí elementy použité v konstrukci průchodky jsou odolné vůči stárnutí.
- Pro spojení vodičů průchodky s propojovacími kabely se používá speciálních spojek konstruovaných pro použití na jaderných elektrárnách a jednoduchých na montáž.
- Prokázaná životnost průchodek vzhledem k použitým materiálům je 50 let.

3.2.2 HKP VISOLA

Dalším výrobcem hermetických kabelových průchodek s těsněním na bázi skla je firma VISOLA OOO. Firma vyrábí průchodky v licenci německé firmy Shott Electronic Packaging GmbH. Konstrukce HKP je zobrazená na obrázku 3-13.

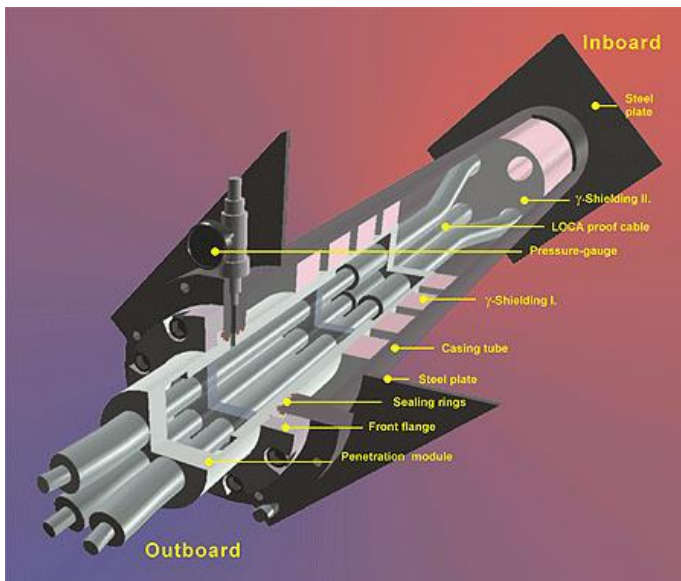
Komponenty průchodky jsou umístěné v silnostěnném pouzdru z nerezové oceli. Na koncích průchodky jsou speciální příruby.

Třemi základní prvky tělesa průchodky jsou:

- modul HKP který je na čelních stranách pevně spojen s přírubou. Pro těsnění modulu v přírubě se používají těsnicí kroužky Viton O- a kovové kroužky C-;
- vedoucí kabely, které jsou připojeny k modulu;
- dvojitě stínění gama záření.

Pro jaderné elektrárny typu VVER bylo potřeba opatřit hermetickou kabelovou průchodku ochranou proti záření gama. Tato úprava byla provedená firmou VISOLA.

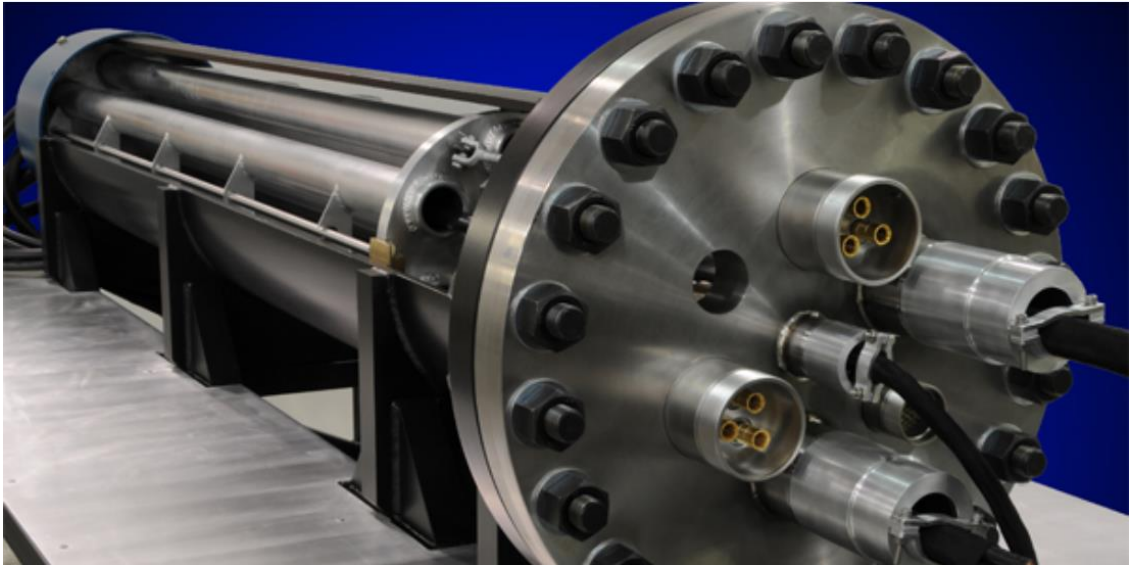
Byla navržena ochranná vložka proti gama záření ze směsi epoxidové pryskyřice a různých přísad s vysokou hustotou. Hustota vložky dosahuje $4,59 \text{ g/cm}^3$. Schopnost daného materiálu stínit gama záření byla zjištěna pomocí analýzy celého spektra gama záření na experimentálním jaderném reaktoru.



Obrázek 3-14 Schéma nízkonapěťové hermetické kabelové průchodky (Electrical penetrations assemblies for VVER type nuclear power plants, 2013)

3.2.3 HKP Teledyne

Hermetické kabelové průchodky na bázi skla pro americký trh vyrábí firma TELEDYNE BROWN ENGINEERING. Tato firma od roku 1965 navrhuje a vyrábí elektrické kabelové průchodky pro komerční jaderné, námořní a obranné trhy. Její HKP jsou nainstalované na desítkách jaderných elektráren na území Spojených států a odpovídají standardu IEEE 317.



Obrázek 3-15 Hermetická kabelová průchodka (Teledyne Brown Engineering, 2017)

Vodiče v elektrickém modulu průchodky jsou zatěsněné z obou stran. Těsnění hermetických kabelových průchodek je řešeno pomocí taveného skla. Izolační vlastnosti skla jsou ideální pro použití v jaderných aplikacích, protože sklo je odolné vůči radiaci. Sklo je stabilním, anorganickým materiálem s vysokou mechanickou pevností a tuhostí a odolností vůči cyklickému teplotnímu namáhání.

Firma má zajímavé řešení pro spojení koncovek kabelů pomocí speciálních jednoduchých spojek, které jsou vidět a obrázku 3-15. Výsledkem je rychlejší a elegantní instalace s menším počtem chyb při zapojení a podstatně nižší náklady na pracovní sílu s tím, že se eliminuje časová náročná operace pro připojení vnějších kabelů k elektrickému modulu.

HKP instalované na jaderných elektrárnách a ponorkách jsou bezúdržbově provozované více než 45 let. Firma v současnosti nabízí HKP s životností 60 let a zaručenou hermetičností, kde únik $< 1 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 / \text{sec}$. Kabelové průchodky mají odolnost vůči teplotnímu šoku v rozmezí -40 °C až 204 °C. Jsou definované na tlak 11,75 bar a jsou schopné zajistit požární bariéru po dobu 2 hodin.

3.3 Hermetické kabelové průchodky s kovo-keramickými uzly.

Dalším typem hermetických kabelových průchodek jsou průchodky, které pro systém hermetizace ve své konstrukci používají keramické materiály. Aktivně se vyvíjel daný typ hermetických HKP v Rusku. Jako první byly navrženy průchodky typu VGU pro průchod silových (napájecích) kabelů, které pracovaly na jaderných elektrárnách od roku 1972. Daná konstrukce byla vyvinuta v ústavu NPO Elektrokemika v Rusku. Unifikovaná řada průchodek typů VGU je určena pro JE s jakýmkoliv typem reaktoru.

Hermetické kabelové průchodky pro kontrolní kabely se vyvíjeli v Amurském vědeckém centru Akademie věd Rusku od roku 1987. Vývoj VGKK (vвод герметичных контрольных кабелей) byl spojen s výstavbou JE Juragua (Kuba), která nebyla dostavěna.

Princip hermetizace a technický popis daného typů průchodek je dále uveden na příkladu hermetických kabelových průchodek typů VGKK (Костюков Н.С., 2004).

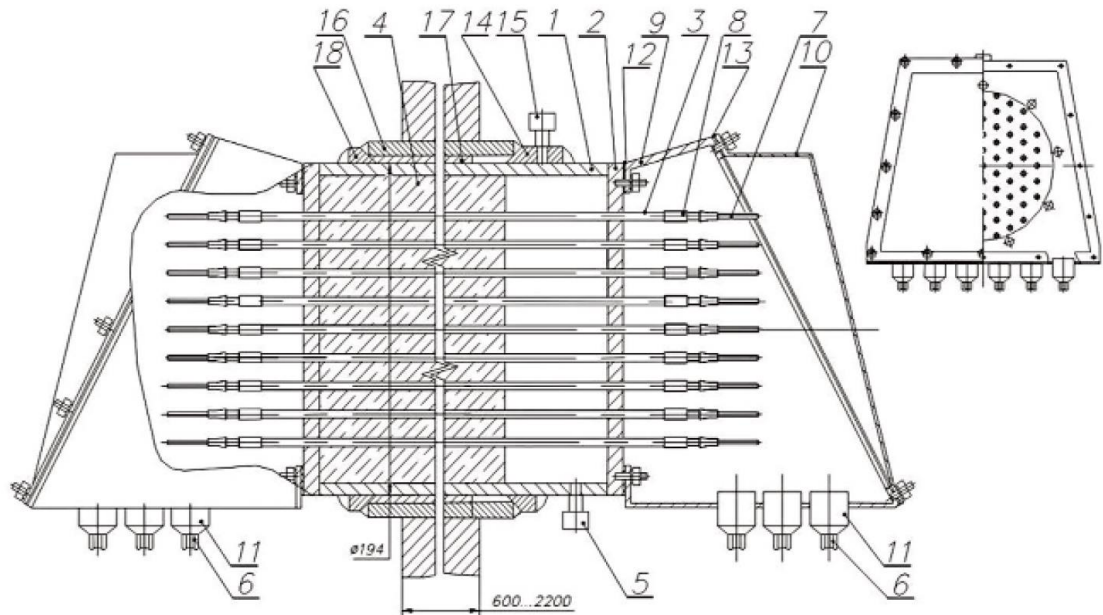
3.3.1 HKP typu VGKK

HKP typu VGKK (obrázek 3-17) jsou určeny pro průchod kabelů přes ochranné betonové stěny a stropní konstrukce o tloušťce 600 - 1500 mm s ocelovým pláštěm s obou stran o tloušťce 6 - 8 mm. VGKK mohou být použité i pro kontejnery bez ocelového pláště nebo s pláštěm z jedné strany. Je to spojeno s tím, že průchodka je pak připojena přímo k vestavěné trubce.

Základní část konstrukce se skládá z tělesa (pozice 1) na jehož čelech jsou přivařené příruby (pozice 2), přes otvory které jsou protažené kabelové moduly (pozice 3), které jsou přivařené nebo připájené k přírubám. Uvnitř tělesa je betonový blok (pozice 4) sloužící jako biologická ochrana. Všechny svařované a pájené spoje musí být hermetické při testování tlakem 0,56 MPa. Kontrola těsnosti se provádí přes nátrubek (pozice 5).

Vnější kabel (pozice 6) se připojuje k vodičům (pozice 7) modulů a izoluje se speciálním přípojným zařízením. Místo pro spoje a izolátory (pozice 8) se nachází uvnitř ochranného krytu, který se skládá ze skříně (pozice 9) a odnímatelného víka (pozice 10). Vnější kabely prochází skrz těsnění. Hermetizace v místech spojů v ochranném krytu se zajišťuje těsněním (pozice 12 a 13) z radiačně odolné gumy. Na tělo průchodky je přivařen montážní kroužek (pozice 14) s nátrubkem (pozice 15).

Při standardní zkoušce požární odolnosti se teplota dodržuje na 1000 °C po dobu 90 minut. Konstrukce ochranných krytů průchodky VGKK poskytuje ochranu kabelových spojů – během požárních zkoušek teplota pod krytem nepřekročila 390 °C. Je to spojeno s konstrukcí dvojité stěny ochranných krytů. Prostor je vyplněn kaolinem rozemletým na jemný prášek.



Obrázek 3-16 Celkový pohled hermetické kabelové průchodky VGKK pro JE Juragua (Костюков Н.С., 2004)

1 – těleso průchodky, 2 – koncové příruby, 3 – kabelové moduly, 4 – betonový blok (biologická ochrana), 5 – nátrubek pro kontrolu těsnosti průchodky, 6 – vnější kabely, 7 – vodiče, 8 – izolátory, 9 – těleso krytu, 10 – víko krytu, 11 – těsnicí uzly, 12,13 – těsnicí kroužky, 14 – montážní kroužek, 15 – nátrubek, 16 – vestavená trubka, 17 – biologická ochrana, 18 – montážní kroužek.

V teplotním rozsahu 500 – 600°C v kaolinu probíhá chemická reakce za vzniku vody. Reakce je endotermická a při ní se spotřebovává velké množství tepla. Při dalším zvýšení teploty se kaolin přeměňuje na mullit a plní funkci tepelného izolátoru.

Keramika použitá v konstrukce HKP odolná radiačnímu záření a za vyšších teplot, než polymery a sklo, zachovává izolační vlastnosti, má vysokou mechanickou pevnost a odolnost vůči dezaktivacím směsím (Костюков Н.С., 2004).

4 Konstrukční návrh

Společnost ŠKODA JS a.s. v současné době vyrábí dva typy hermetických kabelových průchodek a to ŠKODA/CONAX a ŠKODA/IST, konstrukční provedení kterých bylo popsáno v Kapitolách 3.1.1 a 3.1.2. Každá z daných průchodek má své výhody a nevýhody v určitých aplikacích.

Pro některé aplikace společnost ŠKODA JS a.s. potřebovala použití elektrických modulů CONAX v konstrukci průchodky ŠKODA/IST. Proto se následující kapitola bakalářské práce zabývá řešením modifikace hermetické kabelové průchodky ŠKODA/IST za účelem možnosti instalovat moduly CONAX do této průchodky. V této části práce byly navrženy speciální díly pro průchodku ŠKODA/IST, které jsou instalované do tělesa průchodky. Tyto díly umožňují použití elektrických modulů CONAX v konstrukci průchodky ŠKODA/IST. Protože primární a sekundární uložení se od sebe liší, byly navrženy dva díly, které jsou dále v textu označeny jako primární a sekundární adaptéry.

Také je zde nutné uvést, proč se vlastně přistoupilo k danému řešení.

Například, při záměně hermetických kabelových průchodek na Jaderné elektrárně Mochovce v některých aplikacích pro radiační měření firmou MGPI, bylo vyžadováno pro stínění koaxiálních kabelů použití speciálních modulů CONAX, se kterými měla tato firma dobré zkušenosti. U těchto elektrických modulů pro koaxiální kabely je zaručený izolační stav a stínění kabelu je po celé délce vodiče tvořeno měděnou trubkou, což zaručuje dokonalé stínění kabelu uvnitř průchodky. Dané elektrické moduly se používají například pro průchod slabých signálů pro radiační měření během provozu elektrárny. Klasické řešení průchodky ŠKODA/IST průchod těchto elektrických modulů svojí konstrukcí neumožňuje.

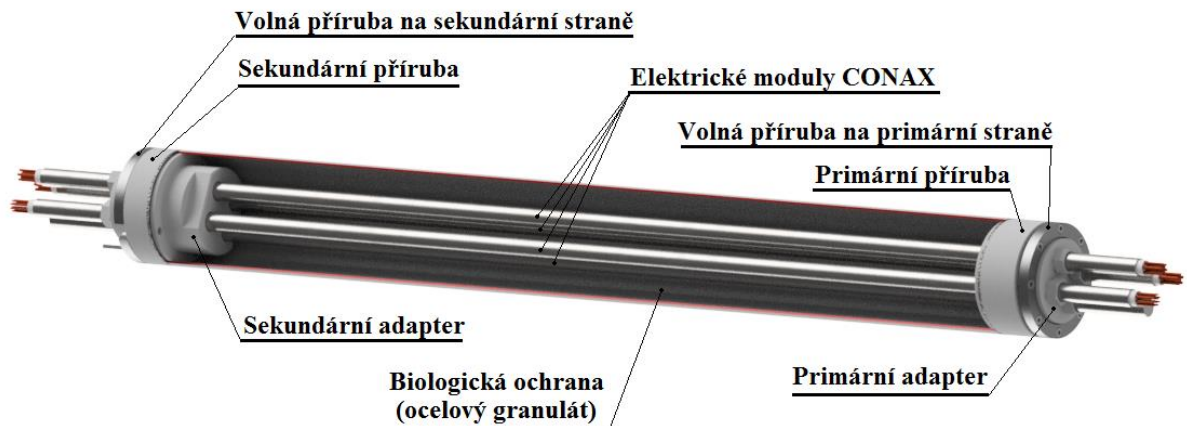
Dalším důvodem je to, že přenos speciálních optických signálů přes elektrické moduly průchodky ŠKODA/IST je obtížný. Tento problém se dá řešit použitím speciálních modulů CONAX s optickými vlákny pro přenos světelných signálů.

Proto bylo nutné navrhnout speciální adaptér pro průchod elektrických modulů CONAX průchodkou ŠKODA/IST. Dané konstrukční řešení by dovolilo, v určitých případech, na již instalovaných HKP ŠKODA/IST (bez záměny celé průchodky) aplikovat speciální optické a koaxiální elektrické moduly CONAX.

4.1 Konstrukční návrh primárního a sekundárního adaptéru HKP ŠKODA/IST

Jak již bylo zmíněno, pro určité aplikace je třeba použití speciálních elektrických modulů CONAX v konstrukci HKP ŠKODA/IST, proto bylo třeba provést modifikaci daného typu průchodky se zachováním určitých konstrukčních prvků.

Na obrázku 4-1 je zobrazena modifikovaná průchodka ŠKODA/IST, ve které jsou primární a sekundární elektrické moduly IST nahrazeny speciálními adaptéry, do kterých jsou instalovány elektrické moduly CONAX. Plášť průchodky, primární, sekundární a volné příruby zůstávají beze změn. Jejich konstrukce je daná licencí americké firmy Mirion Technologies.



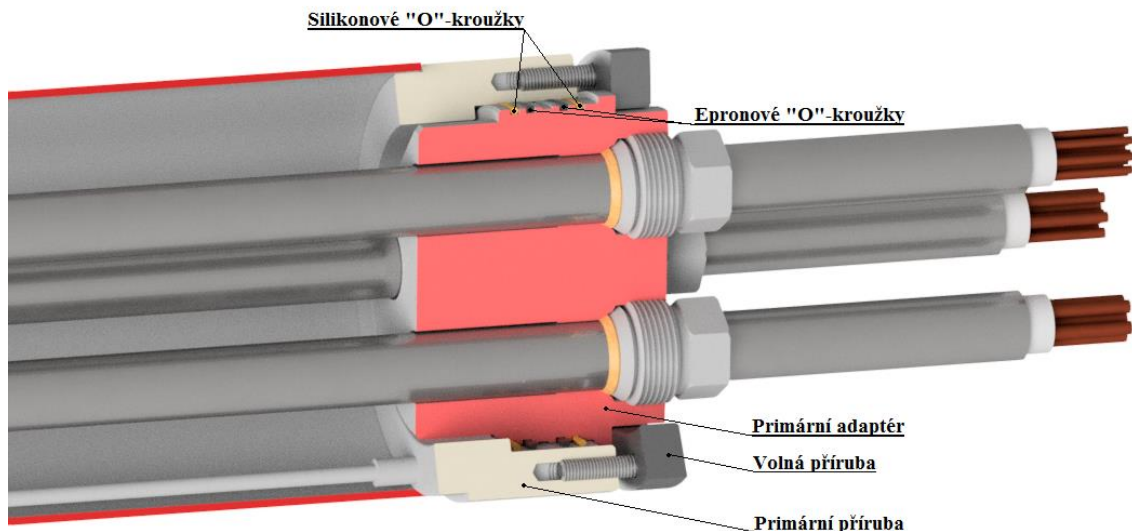
Obrázek 4-1 Řez pláštěm modifikované HKP ŠKODA/IST (Bondareva, 2017)

Primární a sekundární adaptéry

Těsnění adaptérů je v obou přírubách provedeno stejným způsobem jako těsnění elektrického modulu u konstrukce průchodky ŠKODA/IST.

Popis primární části HKP

Pomocí volné příruby je primární adaptér přitažen k primární přírubě. Tento spoj je utěsněn pomocí těsnicích silikonových a epronových O-kroužků (obrázek 4-2). Rozměry O-kroužků jsou dané licenci pro HKP ŠKODA/IST. Mezi dvojicí těsnicích kroužků se nachází drážka tzv. „testovací prostor“, pomocí kterého se poté zkouší těsnost daného uzlu.

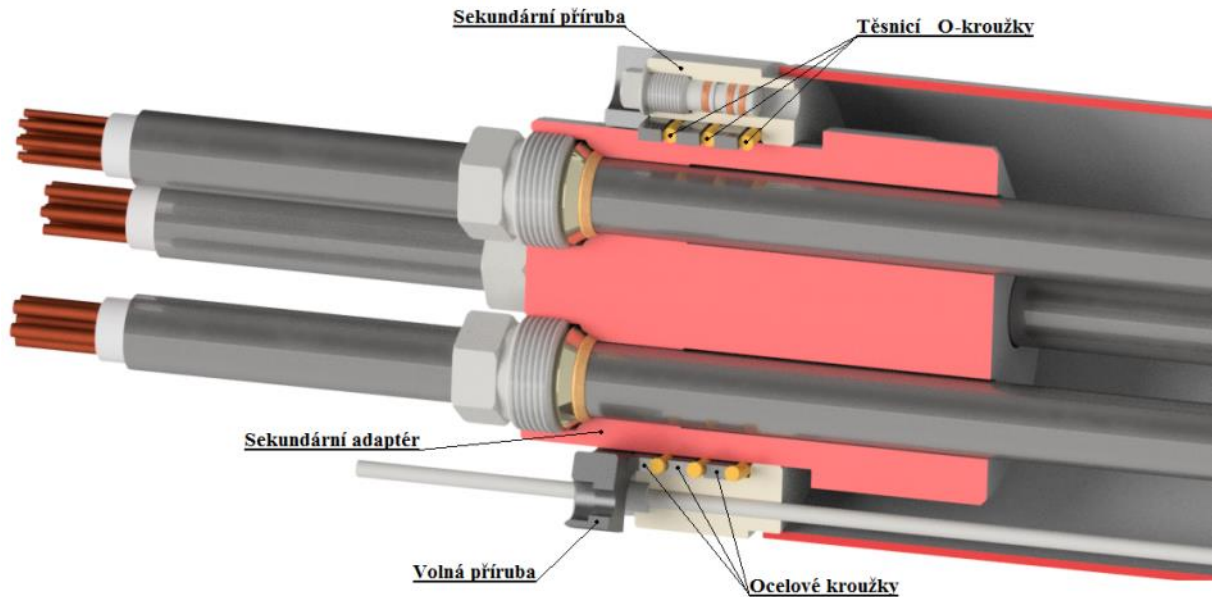


Obrázek 4-2 Pohled do primární části HKP (Bondareva, 2017)

Popis sekundární části HKP

Sekundární adaptér je vložený do sekundární příruby. Těsnění adaptérů v přírubě je zajištěno řadou těsnicích a ocelových kroužků (obrázek 4-3). Zde se při utažení volné příruby k sekundární přírubě přitlačí ocelové kroužky s obdélníkovým průřezem k těsnicím

kroužkům, a tím se zajistí těsnost daného uzlu. Těsnost se poté zkontroluje pomocí otvoru v sekundární přírubě.



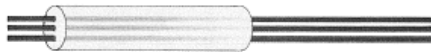
Obrázek 4-3 Pohled do sekundární části HKP (Bondareva, 2017)

Elektrické moduly CONAX (obrázek 4-4), dodávané firmou Mirion Technologies, se skládají z trubky z nerezové oceli, ve které jsou zatěsněny měděné vodiče opatřené kaptonovou izolací. Při výrobě jsou na vodiče navlečeny po obou stranách modulu kruhové polysulfonové tablety s otvory pro vodiče. K vlastnímu zatěsnění vodičů v modulu dojde při rotačním kování modulů, při kterém dojde k jejich protažení a redukci průměru. Průměr modulů po redukci je u modulů používaných u průchodek ŠKODA/CONAX 1“. Každý elektrický modul má ve středu svého ocelového pláště napříč vyvrtaný komunikační otvor, který zajišťuje propojení vnitřního prostoru průchodky s vnitřním prostorem elektrických modulů, což umožňuje rovněž monitorování těsnosti vodičů v elektrických modulech spolu s celkovou těsností průchodky.

IT BEGINS WITH FULLY INSULATED CONTINUOUS CONDUCTORS ①...



RESILIENT SEALS ② ARE ADDED...



THEN A STAINLESS STEEL TUBE ③...

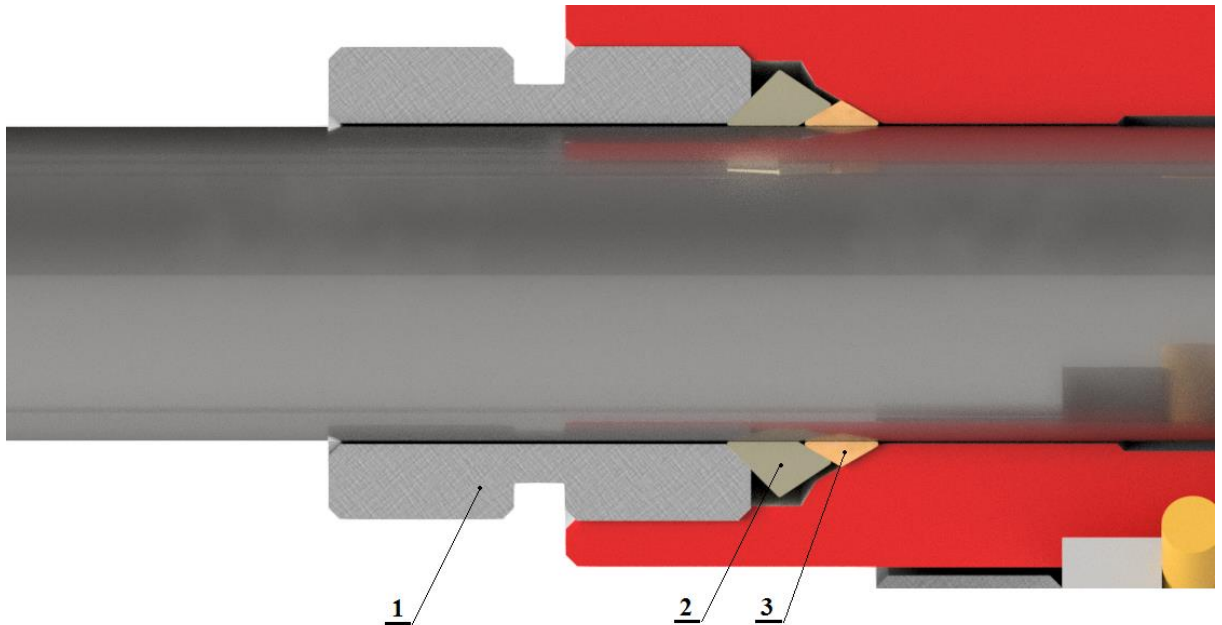


IS REDUCED, COMPRESSING THE SEALANTS AROUND THE CONDUCTORS INTERLOCKING ALL THREE ELEMENTS CREATING A CONDUCTOR FEEDTHROUGH MODULE...



Obrázek 4-4 Schéma elektrických modulů CONAX (Informační literatura ŠKODA JS a.s.)

Způsob uložení elektrických modulů CONAX v přírubě, nebo v daném případě v adaptérech (primárním a sekundárním) je přesně dán licencí. Jsou poté utěsněny v primárním a sekundárním adapteru pomocí speciálního těsnicího systému, tvořeného objímkou se závitem (pozice 1), přitlačným kroužkem z nerezové oceli (pozice 2) a těsnícím měděným kroužkem (pozice 3) – (obrázek 4-5). Ocelový kroužek je zde z toho důvodu, aby se krouticí moment při utahování objímky nepřenášel na měděné těsnění. Díky tomu je měděný kroužek pouze vtlačován přes ocelový. Dané těsnění kov-na-kov se dá považovat za dokonalé.



Obrázek 4-5 Uložení elektrických modulů CONAX v adaptérech (Bondareva, 2017)

Elektrické moduly se zde také dají nahradit zátkami (tyče z nerezové oceli o stejném průměru jako elektrický modul). Tyto tyče jsou zatěsněny v primární i sekundární přírubě stejným způsobem jako elektrické moduly.

Biologické stínění pro dané řešení zůstává stejné jako i u průchodky ŠKODA/IST a to je ocelový granulát. Granulát se zasypává pomocí dvou otvorů na sekundární straně průchodky ve svislé poloze. Tyto otvory jsou po zasypaní granulátem utěsněny pomocí speciálních zátek s těsnícími O-kroužky.

5 Kvalita a spolehlivost hermetických kabelových průchodek

Vysoká kvalita a spolehlivost hermetických kabelových průchodek je daná řadou faktorů: dlouholetými zkušenostmi a vývojem výrobku, radiační, korozní a teplotní odolností materiálů, objemem kvalifikačních zkoušek, které jsou předepsané mezinárodními normy a standardy.

V mezinárodní praxi jsou široce používány normy a standardy mezinárodních organizací IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, česky „Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství“) a IEC (International Electrotechnical Commission, český „Mezinárodní elektrotechnická komise“).

5.1 Technické požadavky na hermetické kabelové průchodky

V souladu s platnými normami bezpečnosti se na hermetické kabelové průchodky kladou vysoké požadavky na zabezpečení hermetičnosti, pevnosti a spolehlivosti přenosu elektrického signálu a jeho formy. Radiační a požární odolnost všech elementů průchodky musí zachovávat provozuschopnost během předem určené životnosti.

Hermetické kabelové průchodky jsou vyráběny v souladu s následujícími základními normy:

IEEE Std.317-1983 – *IEEE Standard for Electrical Penetrations Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations.* Tato norma popisuje stavbu hermetické kabelové průchodky a předepisuje požadavky na její konstrukci, kvalifikaci, testování a montáž ve struktuře kontejnment pro stacionární jaderné elektrárny. Požadavky této normy jsou velmi podobné evropské normě publikovanou organizací IEC; **IEC 60772** – *Electrical Penetrations Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations.*

IEEE Std. 323-1983 – *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power generating Stations.* Norma popisující požadavky na zařízení kvalifikační třídy 1E, které musí být použito v jaderných elektrárnách. Uvedené v tomto standardu požadavky zahrnují principy, postupy a metody kvalifikace.

IEEE Std. 344-1987 – *IEEE Recommended Practices for Seismic Qualifications of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.* Zařízení kvalifikační třídy 1E pro jaderné elektrárny musí být bezpečné v případě seizmické činnosti. V normě se uvádí pokyny pro metody seizmické kvalifikace s možností výběru z nabízených variant, pro koncové uživatele. Používá se pro zajištění toho, aby zařízení mohlo splňovat požadavky na provozuschopnost během a po zemětřesení s bezpečným vypnutím.

IEC 60502 – *Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables for Rates Voltages from 1kV up to 30kV.* Tato norma specifikuje konstrukce, rozměry a požadavky na zkoušky silových kabelů s extrudovanou pevnou izolací pro distribuční sítě a průmyslová zařízení. Tato norma zahrnuje kabely s následujícími vlastnostmi: snížení šíření plamene, nízká emise kouře a bezhalogenová emise při působení ohni.

IEC 60332-3 – *Test on Electric Cables under Fire Conditions.* Norma se aplikuje na kabelové průchodky, které ve své konstrukci používají kabely. A tato norma říká, že použité v konstrukce HKP kabely musí být oheň nešířící.

IEC 60331 – *Fire-resisting Characteristics of Electric Cables*. Zde se uvádí, že kabely musí být funkce schopné za požáru a to minimálně 180 minut. Tato norma se aplikuje na průchodky, v konstrukci kterých jsou použity kabely.

5.2 Zkoušky těsnosti

Hermetické kabelové průchodky jsou v průběhu vývoje podrobeny řadě kvalifikačních zkoušek v souladu s výše uvedenými normy.

Zkoušky těsnosti jsou hlavním kontrolním parametrem, který určuje vhodnost výrobku pro další zkoušky a po zkouškách. Těmto zkouškám musí být podrobená každá hermetická kabelová průchodka. A proto dalším bodem, který řeší tato bakalářská práce je postup ověření celkové těsnosti HKP.

Jak již bylo zmíněno, hermetičnost primární zóny na jaderné elektrárně zajišťuje ochranná obálka. Každé zařízení, které prochází kontejnmentem do hermetické zóny jaderné elektrárny, má projektem vypočítanou dovolenou hodnotu netěsnosti. Tak je tomu i u hermetických kabelových průchodek.

Parametry pro povolenou netěsnost hermetických kabelových průchodek jsou stanoveny normy IEEE Std.317 a IEC 772. Tyto normy stanovují požadavek na povolenou celkovou netěsnost HKP ve výrobě (při předání zákazníkovi), což je $1 \times 10^{-4} \text{ Pam}^3 \text{ s}^{-1}$. Pro HKP po montáži na jaderné elektrárně hodnota celkové netěsnosti je snížena o řád a je to $1 \times 10^{-3} \text{ Pam}^3 \text{ s}^{-1}$, do této hodnoty se započítává i netěsnost která může být způsobena zabudováním průchodky do ochranné obálky.

Norma stanovuje hodnotu dovolené netěsnosti HKP a výrobce je proviněn tuto hodnotu prokázat. To znamená, že výrobce může navrhnout metodu zkoušení, která je schopná tyto hodnoty změřit a vyhodnotit.

Pro firmu ŠKODA JS a.s. zkoušky těsnosti provádí firma TĚSNOST Plzeň s.r.o. A veškerá informace týkající se zkoušek těsnosti, která je uvedena v této bakalářské práci byla čerpaná ze zkušebních postupů (návodů) vydaných firmou TĚSNOST Plzeň s.r.o. pro účely společnosti ŠKODA JS a.s. a také během konzultací.

Zkoušky těsnosti konstrukce HKP, prováděné ve společnosti ŠKODA JS a.s. se dají rozdělit podle místa provedení na:

- zkoušky těsnosti ve výrobě;
- zkoušky těsnosti u zákazníka (po zabudování do kontejnmentu jaderné elektrárny).

Dále se zkoušky těsnosti ve výrobě dají rozdělit na *zkoušky technologické*, během kterých se vyzkoušejí jednotlivé detaily. Těsnosti jednotlivých uzlů jsou propočítané tak, aby součet hodnot maximální netěsnosti každého uzlů byl nižší, než je parametr dovolené netěsnosti podle normy. Na základě těchto zkoušek výrobce zjistí, jestli je montáž dílčích částí provedena správně a ukáže hodnotu netěsnosti každého spojovaného uzlu.

Poté, co jsou všechny jednotlivé uzly vyzkoušeny, následuje po celkové montáži sestavy HKP *integrální zkouška těsnosti*, která prokazuje zákazníkovi (jaderné elektrárně) splnění normou stanovených hodnot povolené netěsnosti.

Při zkouškách těsnosti je nutné dodržovat čistotu zkoušeného povrchu. Proto všechny zkoušené části musí být suché, prosté tuku a olejů. Nesmí na nich lpět prach ani jiné nečistoty, které by mohly uzavřít případné netěsnosti a tím ovlivnit zkoušku těsnosti. Některé těsnicí plochy musí být vhodným způsobem chráněny také proti mechanickému poškození.

Existuje několik metod zkoušení těsnosti celkové sestavy HKP.

První možností je *měření změny tlaku mezi HKP a referenční nádobou*. V tomto případě se průchodka natlakuje přibližně na 0,56 MPa (absolutní tlak ve zkušebním prostoru je pak 0,66 MPa) a měří se pokles tlaku za čas referenčním snímačem tlaku s potřebnou citlivostí. Danou metodu používá společnost ŠKODA JS a.s. pro integrální zkoušku těsnosti. Jako pracovní plyn se zde používá dusík.

Další možnost je *zkouška heliová – vakuová-přetlaková*. Princip této zkoušky je v tom, že průchodka se natlakuje heliem (také se používá přetlaku kolem 0,56 MPa). Zkoušený vzorek se dá do vakuové komory, kde se pomocí detektorů helia měří, jaké množství plynu do komory pronikne. Tato zkouška by byla podstatně méně časově náročná, avšak helium u elektrického zařízení snižuje izolační stavy a při následujících napěťových zkouškách by mohlo dojít k prorážení tohoto plynného media. Z tohoto důvodu se neprovádí.

5.3 Ověření těsnosti sestavy HKP.

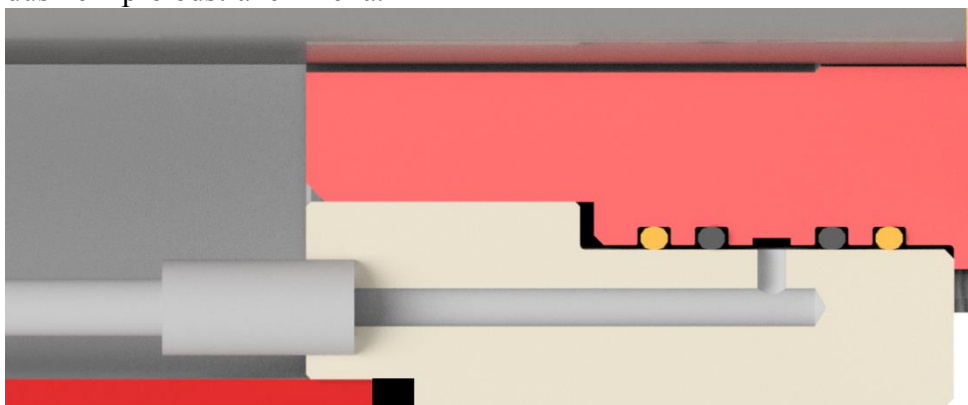
5.3.1 Technologické zkoušky těsnosti HKP.

Integrální zkoušce těsnosti celkové sestavy HKP musí předcházet zkoušky technologické, které mají za účel stanovit netěsnost jednotlivých podsestav a tím zabránit případné montáži vadného dílu.

Pro jednotlivá technologická měření jsou vždy stanoveny hodnoty povolené netěsnosti. Technologické zkoušky těsnosti se dělají na primárních a sekundárních O-kroužcích, svařovaných dílech a zalévaných částech HKP. Také se provádí zkoušky těsnosti zátek, kterými jsou utěsněny otvory pro zasypání granulátu.

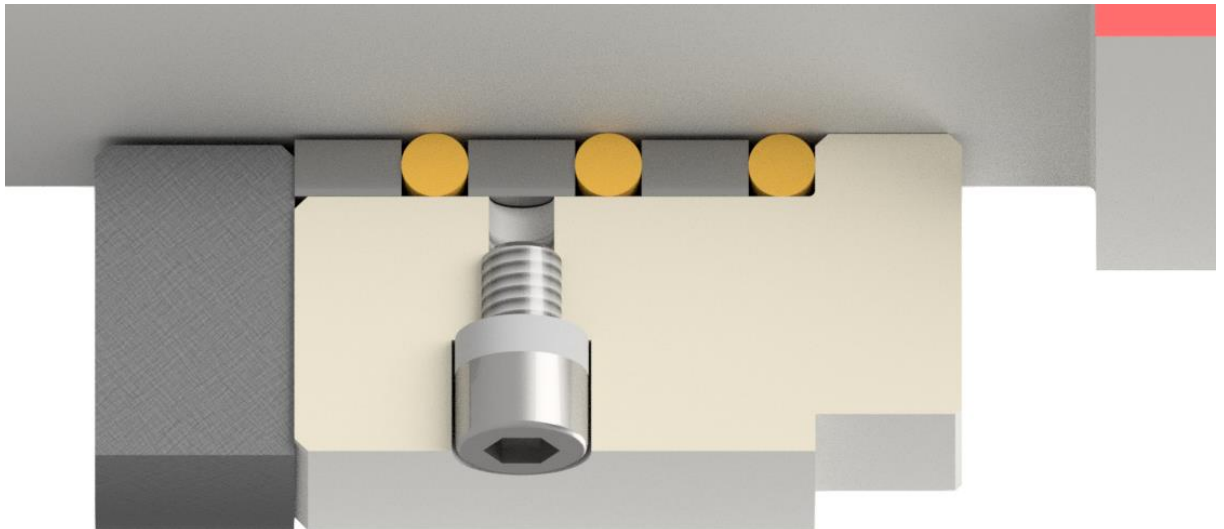
Na obrázku 5-1 je zobrazen řez primární části HKP. Kontrola těsnosti vnější a vnitřní dvojice O-kroužků primárního adaptéru probíhá po montáži primárního adaptéru a příruby do pláště HKP a před zasypáním vnitřního prostoru HKP granulátem.

V daném případě je možné provést zkoušku těsnosti s použitím zkušebního plynu – helia (prostor není propojený s prostorem elektrických modulů). Prostor mezi O-kroužky se natlakuje heliem a pomocí detektoru helia (např. atmosférická sonda) se lokalizuje a zaznamenává případná netěsnost. Po zkoušce je možné provést proplach zkušební komůrky dusíkem pro odstranění helia.



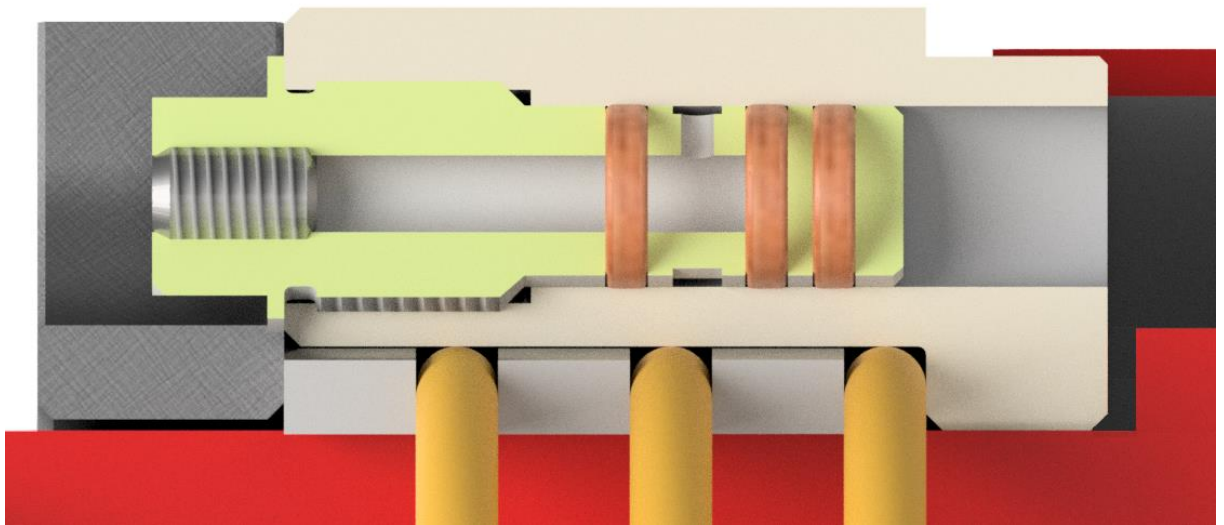
Obrázek 5-1 Kontrola těsnosti primárního adaptéru vůči přírubě (Bondareva, 2017)

Pro kontrolu těsnosti sekundárního adaptéru vůči přírubě je na přírubě umístěn tzv. komunikační otvor (obrázek 5-2), přes který se natlakuje zkušební prostor. Zkouška těsnosti probíhá podobně jako zkouška primárních O-kroužků. Zkouška se provádí po montáži sekundárního adaptéru a příruby do pláště HKP a před zasypáním granulátů. Po zkoušce je otvor utěsněn pomocí grafitového těsnění a šroubu.



Obrázek 5-2 Kontrola těsnosti sekundárního adaptéru vůči přírubě (Bondareva, 2017)

Dále na obrázku 5-3 je ukázán způsob utěsnění zátek. Po zasypaní granulátem se otvor utěsní pomocí speciální zátky se závitem s třemi těsnícími kroužky, mezi kterými je umístěna drážka. Při zkoušce těsnosti se napojí přípravek přes otvor v zátku a natlakuje se prostor mezi těsněním. Poté se sleduje pokles tlaku. Po zkoušce se do otvoru vloží grafitové těsnění a zajistí se stavěcím šroubem.

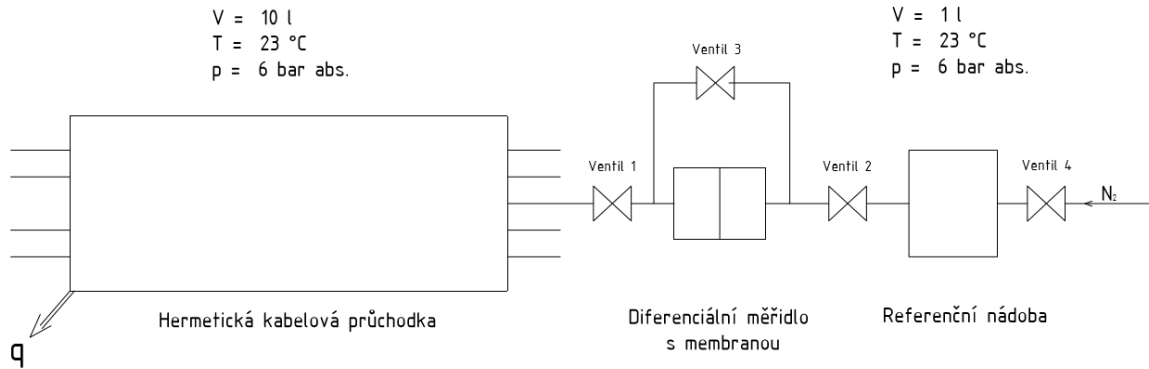


Obrázek 5-3 Těsnění otvoru v sekundární přírubě (Bondareva, 2017)

5.3.2 Integrální zkouška těsnosti celkové sestavy HKP.

Pro popis integrální zkoušky celkové těsnosti sestavy HKP pro dané řešení bylo použito zkušební postupu (návodky), vypracovaného firmou TĚSNOST Plzeň s.r.o. pro účely společnosti ŠKODA JS a.s.

Pomocí integrální zkoušky těsnosti se stanovuje hodnota netěsnosti celkové sestavy HKP (propojeného vnitřního prostoru), která musí prokázat splnění normy. Zkouška se provádí po zasypaní průchodky granulátem, montáží zátek a manometrového kompletu.



Obrázek 5-4 Schéma zapojení zařízení při integrální zkoušce (Bondareva, 2017)

Na obrázku 5-4 je ukázané schéma zapojení zařízení při integrální zkoušce sestavy HKP. Referenční nádoba, měřidlo a HKP jsou propojeny sadou ventilů. Na diferenciální měřidlo je ještě napojena měřicí ústředna, která zaznamenává změnu průhybu membrány.

Kritérium měření je poměrně malá hodnota ($1 \times 10^{-4} \text{Pam}^3 \text{s}^{-1}$) a proto se pro měření používá diferenciální snímač tlaku s citlivosti 50 Pa.

Při měření změny tlaku se současně měří i teplota plynu ve zkoušeném a referenčním objemu. V případě referenční nádoby je termočlánek ponořený dovnitř a měří skutečnou hodnotu plynu, kdežto u průchodky je termočlánek umístěn na plášti.

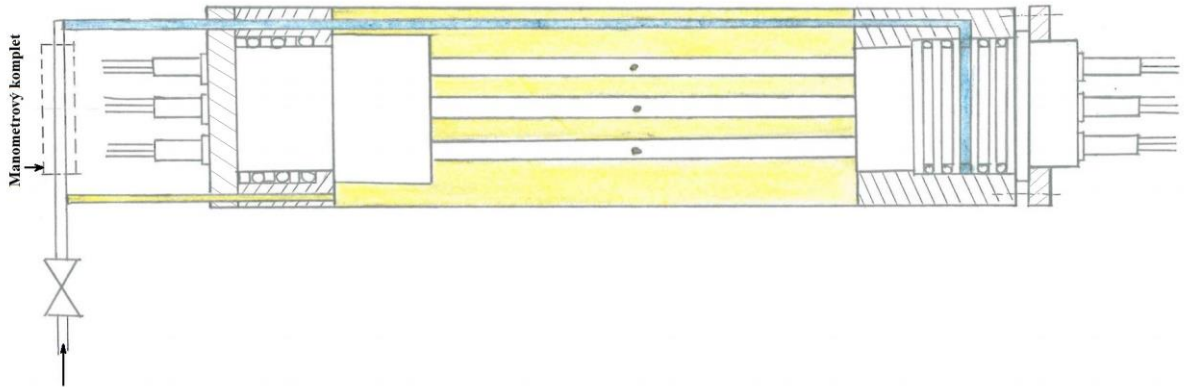
Přes ventil 4 je do celé zkušební sestavy přiváděn dusík. Referenční a zkušební objem jsou natlakované na předepsaný tlak (6 bar abs.).

Při natlakování vzniká kompresní teplo, a protože v celkové sestavě máme zařízení o různých objemech, tak je potřeba čas na vyrovnání tlaků a teploty. Po ustálení tlaku se ventily 3 a 4 uzavřou a průběžně se zaznamenávají hodnoty teploty a změny tlaků HKP a referenční nádoby.

Po uzavření ventilu 3 je prostor mezi HKP a referenční nádobou rozdělen pouze tenkou membránou v diferenciálním měřidle. Takže v případě netěsnosti q na straně průchodky začne klesat tlak a membrána se začne prohýbat, na což zareaguje senzor a zaznamená to. Výsledky se poté dají vyhodnotit. Toto platí pro ideální případ, to znamená, že jsou teploty HKP a referenční nádoby konstantní. Jestliže v HKP začne růst teplota, narůstá pak i tlak a membrána se začne prohýbat na opačnou stranu. Daný výsledek nejde správně vyhodnotit. Je potřeba počkat na vyrovnání teplot, nebo se musí udělat opatření, aby se při zvýšení teploty u HKP zvyšovala i teplota u referenční nádoby. Z tohoto důvodu musí být zařízení umístěno co nejbližší k měřenému kusu a pokud je to možné, celá sestava se musí nacházet v temperovaném prostředí. Pro tento typ zkoušky je ve společnosti ŠKODA JS a.s. postavená speciální izolovaná místnost s klimatizací, která pomáhá udržet téměř konstantní teploty během měření.

HKP je složité zařízení, jež se skládá z určitého počtu dílů a elektrických modulů. V těchto dílech jsou umístěny různé otvory a použité různé materiály. Z toho důvodu je zapotřebí mnohem více času na vyrovnání teplot a tlaku než u referenční nádoby. Proto se zkušební vzorek po natlakování nechává nějakou dobu stát pro ustálení teplot a tlaků (>12 hod.). Při vyhodnocení měření se musí brát v úvahu výkyvy teplot. Čím jsou větší změny teplot, tím je delší doba měření.

Po vyhovující integrální zkoušce těsnosti se přetlak dusíku v prostoru hermetické kabelové průchodky snižuje na 0,26 MPa.



Obrázek 5-5 Zobrazení prostoru, natlakovaného během integrální zkoušky těsnosti celkové sestavy HKP (Bondareva, 2017)

Na obrázku 5-5 jsou zobrazené prostory, které jsou přes nátrubky během integrální zkoušky těsnosti natlakované. Modrou barvou je zde znázorněná větev, kterou se zkouší primární O-kroužky. Trubička je protažená přes sekundární část do primární příruby, kde je napojená na komunikační otvor.

Přes kratší trubičku, která je protažená pouze sekundární přírubou, prochází další větev (žlutá barva). Tímto prostorem se zkouší těsnost elektrických modulů vůči adaptérům, a pomocí komunikačních otvorů v pláštích modulů se zkouší axiální těsnost samotných elektrických modulů.

Z tohoto obrázku je vidět, že integrální zkouškou těsnosti se zkouší poměrně velký prostor a velký počet spojů a hodnotí se celková netěsnost sestavy HKP. Je zde také pochopitelné, že identifikace místa úniku plynů v celkové sestavě je problematická.

V případě zjištění velké netěsnosti v sestavě HKP po integrální zkoušce je možnost aplikovat detekční kapalinu, která může ukázat, kde se netěsnost nachází. Problém je ale v tom, že tímto způsobem je možné identifikovat únik $1 \times 10^{-3} \text{ Pam}^3 \text{ s}^{-1}$ (přes jednu netěsnost). Poté ale záleží na tom, jestli zkušební plyn uniká jednou nebo více netěsnostmi. V případě, že je těchto netěsností na průchodce více, bublinkovou metodu nelze použít.

Další možností je také zkouška heliová-přetlaková. Při této zkoušce se průchodka natlakuje heliem a atmosférickou sondou se sbírají informace o tom, kde je největší koncentrace helia. Po takto provedené zkoušce je ale nutné provést důkladný proplach HKP dusíkem za účelem odstranění zbytků helia.

Na závěr této kapitoly jsou pro názornost uvedeny výsledky dvou integrálních zkoušek těsnosti sestavy hermetických kabelových průchodek, které prováděla firma TĚSNOST Plzeň s.r.o.

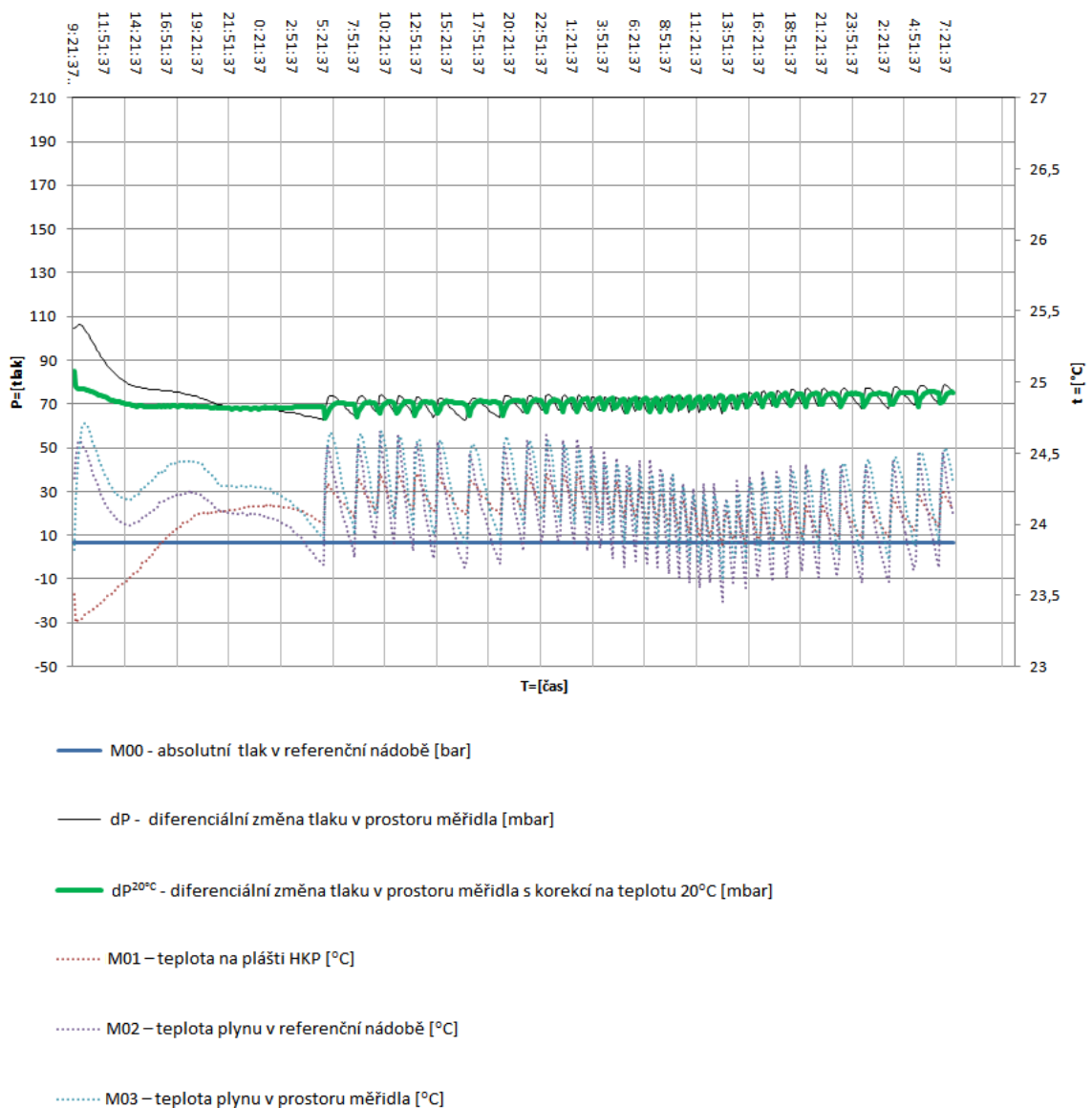
Jednotlivé integrální zkoušky těsností jsou označeny:

- č. 1 – vyhovující integrální zkouška těsnosti;
- č. 2 – nevyhovující integrální zkouška těsnosti.

Na obrázcích 5-6 a 5-7 jsou uvedeny grafy, znázorňující průběhy integrálních zkoušek těsnosti č. 1 a č. 2 sestavy HKP. Při porovnání grafů je vidět, že průběh hodnoty diferenciální změny tlaku dP v případě zkoušky těsnosti č. 2 má tendenci k růstu, což značí o netěsnosti na straně hermetické kabelové průchodky.

V tabulkách 5-1 a 5-3 jsou uvedeny vybrané hodnoty z celkového průběhu měření zkoušek těsnosti. Za zmínku stojí i doba, po kterou měření probíhala. V případě zkoušky těsnosti č. 1 byla doba měření přibližně 95 hodin. V případě zkoušky těsnosti č. 2 – 162 hodin. Tabulky 5-2 a 5-4 ukazují výpočet hodnoty netěsnosti.

Grafické znázornění měřených hodnot tlaku v závislosti na čase a teplotě



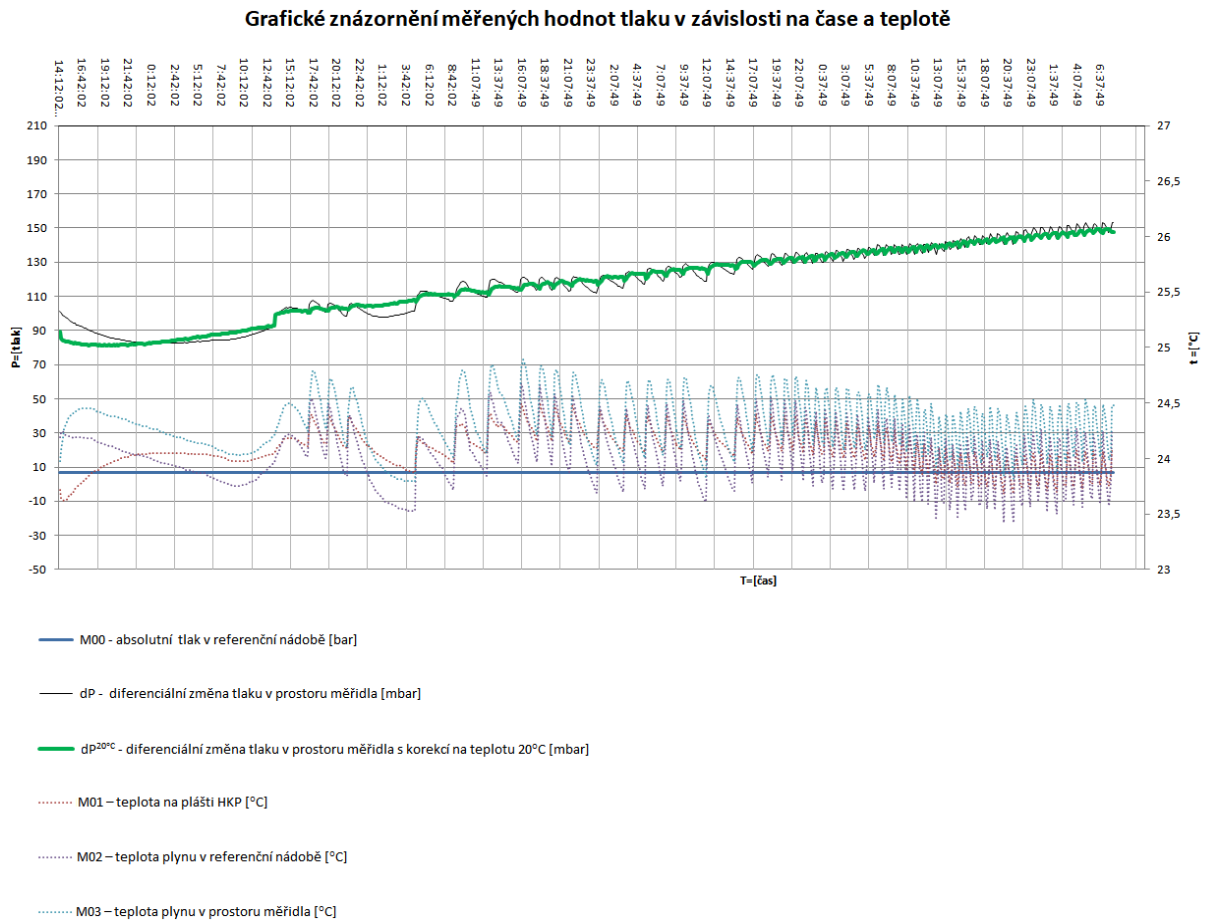
Obrázek 5-6 Grafické znázornění průběhu integrální zkoušky těsnosti č. 1 - vyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)

Vybrané hodnoty měření pro výpočet							
Datum	Čas	M00 [bar]	M01[°C]	M02[°C]	M03[°C]	dP [mbar]	dP20°C [mbar]
2. 4. 2017	0:01:37	6,773	24,15	24	24,19	69,4	71,80
3. 4. 2017	0:01:37	6,769	23,97	23,77	23,98	71,3	74,85

Tabulka 5-1 Vybrané hodnoty měření č. 1 pro výpočet - vyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)

Výpočet	Vzorec výpočtu: $q = V \cdot dP / t$		
Čas	1 den	86400	s
Rozdíl tlaku (dP20°C mbar)	dP	3,04	mbar
Objem	V	6,6	l
Vypočítaná hodnota netěsnosti	q	$2,32 \times 10^{-4}$	mbar/s
	q	$2,32 \times 10^{-5}$	Pam3/s

Tabulka 5-2 Výpočet hodnoty netěsnosti č. 1 – vyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)



Obrázek 5-7 Grafické znázornění průběhu integrální zkoušky těsnosti č. 2 - nevyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)

Vybrané hodnoty měření pro výpočet							
Datum	Čas	M00 [bar]	M01 [°C]	M02 [°C]	M03 [°C]	dP [mbar]	dP ^{20°C} [mbar]
26. 3. 2017	0:07:49	6,749	24,16	24,1	24,49	133,9	133,37
27. 3. 2017	0:07:49	6,746	24,07	24,26	24,49	150,5	144,19

Tabulka 5-3 Vybrané hodnoty měření č. 2 pro výpočet - nevyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)

Výpočet	Vzorec výpočtu: $q = V \cdot dP / t$		
Čas	1 den	86400	s
Rozdíl tlaku (dP ^{20°C} mbar)	dP	10,82	mbar
Objem	V	9,2	l
Vypočítaná hodnota netěsnosti	q	$1,15 \times 10^{-3}$	mbarl/s
	q	$1,15 \times 10^{-4}$	Pam ³ /s

Tabulka 5-4 Výpočet hodnoty netěsnosti č. 2 - nevyhovující výsledek (Informační materiály TĚSNOST Plzeň s.r.o.)

6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou hermetických kabelových průchodků, určených pro instalaci na jaderných elektrárnách.

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo seznámit s pojmem a významem hermetických kabelových průchodků a poskytnout přehled o jejich současném stavu ve světě. Zde je popsán vývoj průchodků a způsoby jejich rozdělení. Také jsou zmapované výrobce kabelových průchodků a typy průchodků, vyráběných v současné době. Pro splnění tohoto úkolu bylo

Cílem praktické části práce bylo rozpracovat konstrukční návrh hermetické kabelové průchodky, který spočíval v modifikaci HKP ŠKODA/IST. V této části je popsán konstrukční návrh přechodových adaptérů (primárního a sekundárního), které propojí klasickou HKP ŠKODA/IST s elektrickými moduly CONAX. Daná modifikace umožní montáž speciálních koaxiálních elektrických modulů CONAX a také modulů CONAX pro průchod optických signálů do průchodků typu IST. Tyto adaptéry je pak možné aplikovat i na již instalované průchodky ŠKODA/IST. Dané konstrukční řešení obsahuje prvky, které byly osvědčeny v praxi.

Celá modifikace HKP ŠKODA/IST spočívala v záměně klasického elektrického modulu IST, skládajícího z primární a sekundární části, na sestavu primárního a sekundárního adaptérů, přes které jsou pak protažené elektrické moduly CONAX.

Dalším bodem praktické části bylo popsat postup ověření celkové těsnosti sestavy hermetické kabelové průchodky pro dané konstrukční řešení. Během zpracování této části se došlo k závěru, že jak pro zkoušení celkové těsnosti sestavy HKP a také dílčích podsestav lze použít postupů zkoušek těsnosti, které byly navrženy firmou TĚSNOST Plzeň s.r.o. pro účely společnosti ŠKODA JS a.s. a které jsou také popsány v této práci.

3D model sestavy HKP a výkresová dokumentace jsou provedeny počítačově v softwaru Autodesk Inventor. 3D model následovně byl využit pro vytvoření obrázku, které jsou uvedeny v Kapitolách 4 a 5 této práci.

7 Přehled použité literatury

AKKUYU NÜKLEER A.Ş. *Барьеры безопасности* [online]. 2011 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.akkunpp.com/barery-bezopasnosti>

BEČVÁŘ, Josef. *Jaderné elektrárny*. 2. opr. vyd. Praha: SNTL, 1981. 634 s.

CONANT, Charles W. *Experience with and improvements in containment vessel penetrations*. 1969.

IAEA Safety Standards Series . *Design of reactor containment systems for nuclear power plants* [online]. Vienna, 2004, 127 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1189_web.pdf

IEEE Standards Association. *317-1983 - IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations* [online]. 2003 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/317-1983.html>

IEEE Standards Association. *323-1983 – IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations* [online]. 1996 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/323-1983.html>

IEEE Standards Association. *344-1987 – IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations* [online]. 1993 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/344-1987.html>

International Electrotechnical Commission. *IEC 60332-3 - Tests on electric cables under fire conditions* [online]. 2000 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/1482>

JACOBUS, Mark J. *Aging of cables, connections, and electrical penetration assemblies used in nuclear power plants*. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (USA). Div. of Engineering; Sandia National Labs., Albuquerque, NM (USA), 1990.

Nuclear containments: state-of-art report. — Stuttgart: Fédération internationale du béton, 2001. — P. 19—22. — 117 p. — ISBN 2-883-94-053-3.

Ogneza: Огнезащитные материалы. *Кабельная проходка* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <https://ogneza.com/kabelnyie-prohodki>

RAGHEB, M. “Containment Structures.” *Probabilistic, Possibilistic and Deterministic Safety Analysis. Nuclear Applications*, [https://netfiles. uiuc. edu/mragheb/www/NPRE](https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE), 2011, 20457.

SCHOTT AG. *Electrical Penetration Assemblies for Nuclear Power Plants* [online]. 2017 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: http://www.schott.com/epackaging/english/lft/power_plants.html

ŠKODA JS a.s. *Hermetické kabelové průchodky* [online]. 2016 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.skoda-js.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/zarizeni-pro-jaderne-elektrarny-typu-vver-a-rbmk/hermeticke-kabelove-pruchodky.shtml>

Teledyne Brown Engineering. *Nuclear Penetration Assemblies* [online]. 2017 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://tbe.com/energyenvironment/nuclear-penetration-assemblies>

VISOLA Электро-изоляционная Технология ООО. *Electrical penetration assemblies for VVER type nuclear power plants* [online]. 2013 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://visola.hu/en/fields-of-activity/manufacturing/cable-penetrations/schott>

VISOLA Электро-изоляционная Технология ООО. *Модули кабельных проходок с эпоксидной изоляцией для возобновления кабельных проходок типа ПГКК* [online]. 2013 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://visola.hu/ru/fields-of-activity/manufacturing/cable-penetrations/epoxy>

ВАЩУК, С.П. *Разработка герметичных вводов контрольных кабелей повышенной надежности для атомных станций*. Благовещенск, 2014. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Амурский государственный университет. Vedoucí práce д.т.н., профессор Н.С. Костюков.

ГОСТ Р 53310-2009. *Проходки кабельные, вводы герметичные и проходы шинпроводов. Требования к пожарной безопасности. Методы испытаний на огнестойкость*. М.: Стандартинформ, 2009

КОСТЮКОВ, Н.С.; ЕРАНСКАЯ Т.Ю. *Диэлектрики и радиация: Герметичные кабельные вводы для АЭС*. М.: Наука, 2004. 236 с. ISBN 5-02-033285-2

ОЭМЗ. *Проходки и модули кабельные, герметичные ПГКК* [online]. 2016 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://oemz-ua.com/jenergetika-i-ajes/prohodki-i-moduli-kabelnie-germetichnie-pgkk/>

Пожарная безопасность. Проектирование и эксплуатация. *Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость кабельных проходок и герметичных кабельных вводов* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://www.fireman.ru/bd/npb/npb237-97.htm>

8 Přílohy

Přílohy jsou rozděleny na výkresovou dokumentaci a obrázky zpracované elektronicky.

8.1 Výkresová dokumentace

Příloha č. 1 – Výrobní výkres primárního adaptéru – BP2017_01

Příloha č. 2 – Výrobní výkres sekundárního adaptéru – BP2017_02

8.2 Obrazová příloha

Obsahem přílohy jsou obrázky dokumentující podrobně navrhované varianty. Obrázky jsou v elektronické podobě na přiloženém DVD ROM. Soubory jsou uloženy ve složkách s názvem následujících kapitol.

Obrázek 4-1 Řez pláštěm modifikované HKP ŠKODA/IST

Obrázek 8-2 Pohled do primární části HKP

Obrázek 8-3 Pohled do sekundární části HKP

Obrázek 4-5 Uložení elektrických modulů CONAX v adaptorech

Obrázek 5-1 Kontrola těsnosti primárního adaptéru vůči přírubě

Obrázek 5-2 Kontrola těsnosti sekundárního adaptéru vůči přírubě

Obrázek 5-3 Těsnění otvoru v sekundární přírubě

Obrázek 5-4 Schéma zapojení zařízení při integrální zkoušce

Obrázek 5-5 Zobrazení prostoru, natlakovaného během integrální zkoušky těsnosti celkové sestavy HKP