



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU

## K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

196587

(11)

(B3)

(61) Autorské osvědčení závislé na autorském  
osvědčení č. 169329

(22) Přihlášeno 19 02 76  
(21) (PV 1077-76)

(40) Zveřejněno 31 07 79  
(45) Vydáno 30 06 82

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 21 C 15/18

(75)

Autor vynálezu SÝKORA DALIBOR ing., PRAHA

(54) Zařízení nízkotlakého systému dlouhodobého havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru

1

Vynález se týká zařízení nízkotlakého systému dlouhodobého havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru, které po havarijním odstavení reaktoru vyvolaném velkou a náhlou ztrátou těsnosti primárního okruhu zajišťuje odvod zbytkového tepla z odstaveného reaktoru. Vynález je založen na využití inherentních vlastností dvojité ochranné obálky pro jaderné energetické centrály podle čs. autorského osvědčení č. 169329, čímž poskytuje vyšší spolehlivost funkce daného systému v důsledku preference pasivně fungujících zařízení.

V současné době mají nejvyšší technickou úroveň i v oblasti technologických bezpečnostních systémů standardní bloky jaderných elektráren s tlakovodními reaktory v Německé spolkové republice, což mimo jiné úzce souvisí se skutečností, že právě v NSR platí pro jadernou energetiku nejprísrnější povolovací předpisy na světě. Dnešní bezpečnostní filosofie těchto dvouokruhových jaderných elektráren počítá s možností havárie primárního okruhu, kterou definuje přetržením primárního potrubí v místě mezi hlavním cirkulačním čerpadlem a reaktorem. Náhlý únik teplotního média z primárního okruhu představuje nejnebezpečnější havarijní stav celé elektrárny a je proto největším potenciálním ohrožením poměrně rozsáhlého okolí jaderné elektrárny. Pro odvrácení následků této projektové havárie jsou navrženy a realizovány systémy nouzového chlazení aktivní zóny reaktoru, které zabráňují především přehřátí a porušení palivových elementů. Významnou úlohu plní současný aktivní nízkotlaký systém havarijního dochlazování, který se uplatňuje v koncové dlouhodobé etapě dochlazování, kdy mimo teplo akumulované v palivu a zařízení odvádí zejména zbytkové teplo generované v zóně reaktoru ještě dlouho po jeho havarijním odstavení. Dosavadní předmětný systém je tvořen několika velkými nízkotlakými havarijními čerpadly, na jejichž funkci začíná zdrojem zajištěného napájení jsou kladeny nejvyšší nároky s hlediska spolehlivosti respektive pohotovosti i rychlosti najetí, dále zásobní nádrží bórované vody, havarijním výměníkem na který navazuje vložený chladicí okruh reprezentovaný čerpadlem a vnějším výměníkem, ze kterého se teplo odvádí obvykle do řeky pomocí čerpací stanice. Jednotlivá zařízení jsou propojena spojovacím potrubím s různými armaturami, které mimo jiné umožňují i napojení sání nízkotlakých havarijních čerpadel na nejnižší místo v kontejneru, jímž je sběrná jímka. Uvedený nízkotlaký dochlazovací systém, zejména má-li zmíněný vložený chladicí okruh, je poměrně rozsáhlý, musí být rychle spuštěn a od samého počátku pracuje plně na principu aktivní funkce. To jsou jeho nevýhody. K těmto jeho nevýhodám technického a provozního charakteru přistupuje i negativní skutečnost

charakteru ekologického spočívající v tom, že přenos akumulovaného a zbytkového tepla do okolí je bezprostřední, tj. bez jakéhokoliv časového zpoždění a navíc většinou do vodního prostředí.

Výše uvedené nevýhody jsou redukovány u zařízení nízkotlakého systému dlouhodobého havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru, založeného na využití vlastností dvojité ochranné obálky podle čs. autorského osvědčení č. 169329, podle vynálezu, který spočívá v tom, že gravitační nádrž bórované vody tvořená vrchním meziprostorem je spojena od ústí spádovým potrubím přes zpětnou armaturu s výtlačkem nízkotlakého havarijního čerpadla a že boční meziprostor je spojen se sekundární stranou havarijního výměníku termosifonovým potrubím přes uzavírací armaturu, pro odvod zbytkového tepla z tlakovodního reaktoru do vody v bočním meziprostoru.

Dalšími výhodami jsou především tyto skutečnosti: odpadají dosavadní samostatné respektive jednoúčelové většinou ocelové velké zásobní nádrže bórované vody. Za druhé, zařízení nízkotlakého systému dlouhodobého havarijního dochlazování se stává po dobu samospádové dopravy bórované vody zařízením se zcela pasivní funkcí; odpadá nutnost rychlého spuštění a provozu nízkotlakých havarijních čerpadel i následující přepojování jejich sání ze zásobních nádrží na sběrnou jímku v průběhu havárie. Za třetí, sekundové množství bórované vody dopravované do havarovaného primárního okruhu samospádem, lze v případě potřeby zvětšit oproti původnímu výkonu nízkotlakých havarijních čerpadel a to pouze zvětšením počtu anebo světlosti příslušných potrubí. S touto skutečností souvisí i možnost eventuálního snížení výkonu nízkotlakých havarijních čerpadel vzhledem k časovému poklesu zbytkového výkonu reaktoru. Za čtvrté, o nátokovou výšku bórované vody ve vrchním meziprostoru se zmenší dopravní výška jak vysokotlakých havarijních čerpadel, tak zejména čerpadel sprchového systému, pokud tato vůbec neodpadnou. Za páté, napojením sekundární strany havarijních výměníků na vodu bočního meziprostoru dvojité ochranné obálky je dána možnost vypuštění vložených chladicích okruhů. Přitom samocirkulačním prouděním zabezpečený přenos zbytkového tepla z havarijního výměníku do velké zásoby vody v bočním meziprostoru vykazuje principiálně maximální možnou funkční spolehlivost. Za šesté, jak zásoba bórované vody ve vrchním meziprostoru, tak i zásoba chladicí vody v bočním meziprostoru jsou obostranně chráněny, tj. chráněny před vnitřními i vnějšími vlivy. Za sedmé, v souvislosti se snižováním parametrů, popřípadě i počtu různých havarijních čerpadel, sniží se i nároky na velikost a pohotovost systému zajištěného elektrického napájení respektive na velikost a rychlost rozběhu dieselgenerátorů.

Na připojených výkresech je znázorněno na obr. 2 zjednodušené dispoziční řešení předmětného systému včetně jeho hlavních návazností na příslušné základní technologické zařízení jaderné elektrárny, a na obr. 1 korigované schéma havarijních systémů včetně jejich vazeb na primární okruh a oba meziprostory dvojité ochranné obálky. Primární okruh je zde znázorněn jednou smyčkou tvořenou tlakovodním reaktorem **31**, parním generátorem **32**, hlavním cirkulačním čerpadlem **33** a primárním potrubím **34**. Na primár je napojen havarijní akumulátor **36** vysokotlaké havarijní čerpadlo **35** přes trojcestný volicí ventil **37** a nízkotlaké havarijní čerpadlo **21** přes havarijní výměník **30**. Čerpadlo sprchového systému **11** je spojeno se sprchou **12**. Součástmi dvojité ochranné obálky jsou sběrná jímka **13**, vrchní meziprostor **14** a boční meziprostor **15**. K funkční výstroji vrchního meziprostoru **14** patří kruhová přepážka **16**, přepad **17**, samočinná připouštěcí diferenciální armatura **18**, vypouštěcí armatura **24**, ústí **25** a dělicí stěna **26**. K bočnímu meziprostoru **15** mimo už neočíslovaný přepad, který zde určuje maximální hladinu vody, je přiřazeno jen termosifonové potrubí **27** s uzavíracími armaturami **28**, které je napojeno na sekundární stranu havarijního výměníku **30**, což je právě pro toto schéma typické. Druhým význakem schéma je existence spádového potrubí **22** se zpětnou armaturou **23** a jeho zapojení mezi ústí **25** a výtlačkem nízkotlakého havarijního čerpadla **21**. Zbývá dodat, že rychločinná armatura **29** demonstruje možnost přímého napojení alespoň části sprch **12** na bórovanou vodu gravitační zásobní nádrže tvořenou vrchním meziprostorem **14**. Vzhledem k tomu, že funkce převážně většiny zařízení výše popsaného schéma je dobře známa z odborné literatury a mimoto mnohdy plyne z názvu zařízení, stačí popsat jen funkci nových zařízení a jejich vazeb. Při velké poruše primárního okruhu dojde k prudkému výtoku teplotnosného média z primárního okruhu, což je znázorněno vlnovkou se šipkou a k rychlému poklesu tlaku zbylé parovodní směsi v primárním okruhu. Nejprve se rozběhne vysokotlaké havarijní čerpadlo **35**, čímž dojde k dopravě poměrně malého množství bórované vody z vrchního meziprostoru **14** přes trojcestný volicí ventil **37** do příslušné větve primárního potrubí **34**, eventuálně přímo do tlakovodního reaktoru **31**. Protože pokles tlaku v primáru pokračuje, zafunguje pak havarijní akumulátor **36**, čímž dojde především k znovuzaplavení aktivní zóny v tlakovodním reaktoru **31**. Při dalším poklesu tlaku v primárním okruhu pod hodnotu tlaku bórované vody ve zpětné armatuře **23**, nastane samospádový průtok bórované vody ústím **25**, spádovým potrubím **22**, zpětnou armaturou **23** a tím nastane i její doprava do havarovaného primárního okruhu. Tato etapa dochlazování trvá několik desítek minut. Přitom se bórovaná voda protéká primárem shromažďuje spolu s dříve uniklým teplotnosným médiem ve spodní části vnitřního prostoru ochranné obálky, jehož nejnižším místem je sběrná jímka **13**. Obnažením ústí **25** se

ukončí samospádová doprava bórované vody. Přitom její určité množství zadržené kruhovou přepážkou **16** a vymezené ústím **25** zůstává ve vrchním meziprostoru **14**, aby jeho vypuklé dno bylo po celé ploše stále zaplaveno. Teprve poté, pro koncovou etapu dochlazování, se musí spustit nízkotlaké havarijní čerpadlo **21**, které nasává teplou vodu ze sběrné jímky **13** a dopravuje ji přes havarijní výměník **30**, v němž se tato voda ochladí, znovu do porušeného primárního okruhu. Odvod tepla z havarijního výměníku **30** se koná pomocí samocirkulace velké zásoby chladicí vody nacházející se v bočním meziprostoru **15**, která proudí vlivem teplotního rozdílu a příznivé dispozice termosifonovým potrubím **27**, na které navazuje systém již neočíslovaného potrubí a armatur vodního hospodářství jaderné elektrárny. Zbývá poznamenat, že pro částečné vyrovnání nepříznivého vlivu protitlaku v ochranné obálce při havárii je zde instalována samočinná připouštěcí diferenciální armatura **18**, která část parovzdušné směsi připustí v průběhu havarie do vrchního meziprostoru **14**. Je evidentní, že stejný požadavek s ještě vyšší spolehlivostí funkce může zajistit prosté potrubí s beztlakovou nádobou tvořící vodní uzávěr. Na obr. 2 je stylizovaně nakresleno dispoziční uspořádání výše uvedeného a funkčně popsaného zařízení, jehož očíslování je zde zachováno. Přístupují zde jen vnitřní uzavřená obálka **1** a vnější uzavřená obálka **2**, mezi nimiž se nachází jak vrchní meziprostor **14**, tak boční meziprostor **15**. Dále, pro úplnost prostorové představy, je nakreslen i polární jeřáb **19** s lávkou **20**, z níž je přístup ke všem zařízením umístěným pod stropem dvojité ochranné obálky. K nim budou náležet i již neznázorněné vodotěsné uzavíratelné vstupy do vrchního meziprostoru **14**. Popis funkce pro obr. 2 je zbytečný.

Orientační úvahy výpočtového charakteru byly podloženy parametry příslušných systémů respektive havarijních čerpadel uvažovaných ve studii jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem o tepelném výkonu 3000 MWt. Koncepce dvojité ochranné obálky vycházela z dvojitého kontejnmentu realizovaného na belgické jaderné elektrárně o elektrickém výkonu 900 MWe.

Lze předpokládat, že po důkladném teoretickém a experimentálním ověření se předmětný systém dochlazování uplatní zejména u jaderných elektráren s odběrem tepla, pro které vzhledem k blízkosti hustě osídlených oblastí už sama dvojitá ochranná obálka s vodními meziprostory je přitažlivá pro zvýšení ochrany okolí. Důležitým aspektem je též zvýšení spolehlivosti odvodu zbytkového tepla z reaktoru i jeho lokalizace ve velkokapacitní zásobě chladicí vody uvnitř bočního meziprostoru ochranné obálky. Tato skutečnost je v souladu s trendem neustálého růstu požadavků kladených na bezpečnost jaderných elektráren.

## PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Zařízení nízkotlakého systému dlouhodobého havarijního dochlazování tlakovodního jaderného reaktoru, založené na využití vlastností dvojité ochranné obálky pro jaderné energetické centrály podle čs. autorského osvědčení č. 169329, vyznačené tím, že gravitační nádrž bórované vody tvořená vrchním meziprostorem (**14**) je spojena od ústí (**25**) spádovým potrubím (**22**) přes zpětnou armaturu (**23**) s výtlačkem nízkotlakého havarijního čerpadla (**21**) a boční meziprostor (**15**) je spojen se sekundární stranou havarijního výměníku (**30**) termosifonovým potrubím (**27**) přes uzavírací armaturu (**28**) pro odvod zbytkového tepla z tlakovodního reaktoru (**31**) do vody v bočním meziprostoru (**15**).



