

G21C 15/18 (2006.01)

G21C 15/26 (2006.01)

G21C 1/02 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKAÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

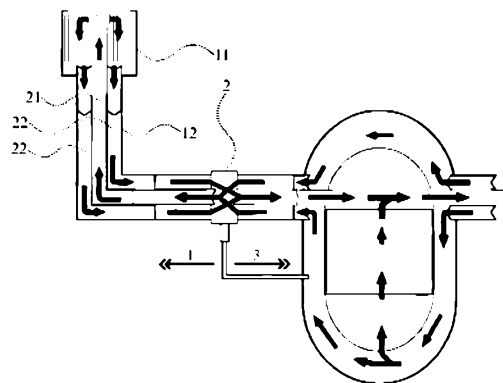
(21) Číslo přihlášky: 2020-656
(22) Přihlášeno: 08.12.2020
(40) Zveřejněno: 26.01.2022
(Věstník č. 4/2022)
(47) Uděleno: 16.12.2021
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 26.01.2022
(Věstník č. 4/2022)

(56) Relevantní dokumenty:
EP 3132450 A1; US 2016322121 A1; WO 2017127937 A1.

(73) Majitel patentu:
ÚJV Řež, a. s., Husinec, Řež, CZ
(72) Původce:
Ing. Petr Hájek, CSc., Praha 6, Suchbát, CZ
(74) Zástupce:
MACHU IP | patentová kancelář, Mgr. Matěj
Machů, Ph.D., Václavské náměstí 804/58, 110 00
Praha 1, Nové Město

(54) Název vynálezu:
**Pasivní systém se zvýšenou spolehlivostí pro
odvod zbytkového tepla z jaderného
reaktoru a způsob na něm prováděný**

(57) Anotace:
Pasivní systém se zvýšenou spolehlivostí pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru zahrnující tepelný výměník (11), komín (12) tvořený dvoukanálovým potrubím a zařízení (2) pro přesměrování toku s vnitřním kanálem (21) opatřeným ventilem, který odděluje segment kanálu (21) na straně (3) reaktoru od segmentu kanálu (21) na straně (1) tepelného výměníku (11), a vnějším kanálem (22) opatřeným alespoň jedním ventilem v přepážce, která odděluje segment kanálu (22) na straně (3) reaktoru od segmentu kanálu (22) na straně (1) tepelného výměníku (11). Segment kanálu (21) na straně (1) tepelného výměníku (11) je alespoň jedním spojovacím kanálem spojen se segmentem kanálu (22) na straně (3) reaktoru a segment kanálu (22) na straně (1) tepelného výměníku (11) je spojen alespoň jedním spojovacím kanálem se segmentem kanálu (21) na straně (3) reaktoru s tím, že každý ze spojovacích kanálů je opatřen alespoň jedním ventilem.



Pasivní systém se zvýšenou spolehlivostí pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru a způsob na něm prováděný

5 Oblast techniky

Vynález spadá do oblasti havarijních chladicích zařízení pro jaderné reaktory obsahujících vícecestné ventily s uzavíracími členy otočnými na čepu ovládanými tekutinou sloužícími ke změně směru toku tekutiny.

10

Dosavadní stav techniky

15 Odvod zbytkového tepla je klíčovou otázkou bezpečnosti všech jaderných reaktorů, jelikož na rozdíl od ostatních typů tepelných elektráren není produkce tepla po odstavení jaderného reaktoru nulová. Jedná se o takzvaný zbytkový výkon, který v prvních vteřinách po odstavení reaktoru dosahuje jednotek procent nominálního výkonu a dále exponenciálně klesá. Je tedy produkován dlouhodobě a musí být odváděn mimo samotnou aktivní zónu, aby nedošlo k jejímu přehřátí.

20 Pro různé typy jaderných reaktorů existuje mnoho principů a na ně navázaných systémů odvodu zbytkového tepla. Na tyto systémy jsou kladeny extrémní nároky, co se týká spolehlivosti a robustnosti, protože při jejich selhání může dojít k těžké havárii jaderného reaktoru při níž hrozí riziko časného nebo velkého úniku radiace a radioaktivních látek. Moderním trendem je vyrábět tyto systémy takzvané pasivní, což znamená, že princip jejich funkce je založen pouze na působení fyzikálních zákonů (příkladně gravitace, magnetismus či rozdíl tlaků), a nepotřebují tak ke své činnosti umělé zásahy, jako jsou například pohon motorem, manuální otevření či spuštění. Velkou nevýhodou většiny těchto systémů je, že je velmi složité určit, zda a v jaké míře zafungovaly, neboť jejich zapůsobení je odvozováno z nepřímých údajů.

30 Odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru typu GFR (Gas-cooled Fast Reactor, plynem chlazený rychlý reaktor) je velmi obtížný úkol, protože tyto reaktory musí mít na rozdíl od jiných plynem chlazených reaktorů řádově vyšší hustotu tepelného výkonu, to znamená produkovat stejné množství tepla v mnohem menším objemu, aby fyzikálně fungovaly, a plyny se obecně vyznačují nízkou hustotou. Během činnosti GFR se tedy vyvíjí relativně velké množství tepla v malém prostoru a chladivo, které je v daném okamžiku v tomto prostoru, má takřka zanedbatelnou tepelnou kapacitu. Jednoznačným závěrem tak je, že k uchlazení reaktoru v havarijní situaci je bezpodmínečně nutné udržovat stálý průtok chladiva skrz aktivní zónu.

40 Současným návrhem systému odvodu zbytkového tepla (DHR, Decay Heat Removal), známý například z dokumentů US 4382908 A či DUMAZ P. *et al. Nucl. Eng. Des.* 2007, vol. 237, p. 16181627, je částečně pasivní systém spoléhající se na kombinaci přirozené konvekce, tedy gravitace, a aktivního prvku ve formě kompresoru. Celý systém obsahuje tři klíčové součásti, kterými jsou: tepelný výměník pro odvod zbytkového tepla z primárního okruhu reaktoru, uzavírací ventily pro ovládání průtoku chladicího plynu smyčkou obsahující tento výměník a kompresor pro zlepšení odvodu zbytkového tepla v nejzávažnějších situacích. Za normálního provozu je aktivní hlavní chladicí okruh, přičemž systém DHR je odstaven ventily fungujícími pasivně na principu rozdílu tlaku nad a pod těsnicí plochou ventilu. V případě výpadku primárního chladicího okruhu jsou připraveny dva systémy havarijního chlazení, kdy je uveden do provozu havarijní kompresor na větví DHR, což je v některých situacích nevyhnutelné, a dále využití výšky komínů DHR

50 a použití pasivního chlazení pomocí přirozené konvekce.

Systém zmíněný v předchozím odstavci má řadu nevýhod, které jsou z hlediska bezpečnosti provozu jaderného reaktoru kritické. Tepelný výměník má velmi omezený výtokový otvor a plyn je nucen proudit skrz sání kompresoru, jehož přítomnost již odporuje zásadám pasivního systému, tedy kritériím inherentní bezpečnosti. V případě, že dojde k selhání nastartování kompresoru

55

- v situaci, kdy je jeho použití nutné, dojde k praktickému zablokování dané smyčky DHR, jelikož velký hydraulický odpor zastaveného kompresoru efektivně vynuluje přirozenou konvekci. Dalším prvkem, který je z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti problematický, je přetlakem ovládaný uzavírací ventil. Požadavek na úplnou těsnost pasivních ventilů není za vysokých teplot panujících v GFR reálný. Při normálním provozu vede tlaková ztráta na aktivní zóně k opačnému směru proudění v potrubí DHR, tedy libovolná netěsnost ventilů způsobí ochlazení celého systému DHR a nastavení proudění v opačném směru, než jaký je žádoucí. Zároveň se při rychlém odtlačování okruhu, například při nehodě s únikem chladiva, takový ventil může otevřít i v chvíli, kdy to není žádoucí, protože se rapidně změní tlakové podmínky v okruhu.
- Použití samotného pasivního chlazení pomocí výšky komínů systému DHR je při existenci výše uvedených rizikových prvků problematické. Doba rozběhu proudění bude pravděpodobně nebezpečně dlouhá, jednak kvůli překážce, kterou představuje kompresor, a jednak kvůli zásadnímu nedostatku tohoto systému – v celém systému DHR bude buď nulový průtok, nebo dokonce průtok v opačném směru způsobený netěsností ventilů. V obou těchto případech dojde k přetlačování mezi horkým heliem, které je použito jako chladicí plyn, proudícím vzhůru z aktivní zóny a studeným heliem, které je v dané chvíli uvnitř systému DHR. Tím může dojít k přehřátí potrubí systému DHR i samotné aktivní zóny.
- Úkolem vynálezu je vytvoření systému a způsobu pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru typu GFR, které využívá pouze pasivního odvodu zbytkového tepla, neobsahuje výše zmíněné kritické bezpečnostní nedostatky a má vysokou spolehlivost. Pro konstrukci navrhovaného systému je zdánlivě relevantní použití ventilu známého z dokumentu CZ 306907 B6, který umožňuje měnit směr proudění plynu v systému DHR, skládajícího se ze dvou vůči sobě vzájemně otočných disků obsahujících mezikruhové výseče, kdy otočením jednoho z disků dojde ke změně směru proudění. Tato konstrukce ventilu ovšem představuje výrazné bezpečnostní riziko, jelikož vzhledem k velikosti kontaktních ploch by bylo problematické zajistit úplnou těsnost a hrozil by zde i únik chladicího plynu mimo prostor reaktoru. Při dané velikosti pohyblivých prvků by mohlo rovněž dojít k zadření ventilu, což by mohlo následně vést až k zablokování okruhu pro odvod zbytkového tepla.

Podstata vynálezu

- Podstatou vynálezu je systém pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru splňující požadavek jaderné bezpečnosti na prakticky vyloučenou skutečnost, kterou se rozumí podmínka, stav nebo událost, jejichž výskyt je považován za fyzikálně nemožný nebo které jsou s vysokým stupněm věrohodnosti velmi nepravděpodobné. Této kritické sledované výhody je dosaženo konstrukcí postavené na kompletně pasivním systému, správným nastavením fyzikálních podmínek v okruhu DHR ve chvíli, kdy jím má začít být odváděno teplo, minimalizací možné tlakové ztráty v okruhu a eliminací bezpečnostních rizik, které by mohly být tlakovou ztrátou způsobeny v případě, že by nastala. Dále je podstatou vynálezu způsob na systému prováděný, který se zakládá na konstantním proudění chladiva okruhem DHR, kdy dochází pouze k regulaci intenzity tohoto průtoku a změně charakteristiky proudícího chladiva.
- Systém se skládá ze tří základních konstrukčních prvků, a to dvoukanálového, výhodně koaxiálního, potrubí, tepelného výměníku a zařízení pro přesměrování toku chladiva.
- Dvoukanálové potrubí neboli potrubí uspořádané tak, že vnitřní trubka, kterou proudí chladivo jedním směrem, je umístěna uvnitř vnější trubky, kterou proudí chladivo směrem opačným, je dle vynálezu realizováno tak, že vnitřní trubkou je vedeno chladivo směrem od reaktoru k tepelnému výměníku a vnější trubkou je vedeno chladivo směrem od tepelného výměníku k reaktoru. Důvodem tohoto uspořádání je eliminace stavu, kdy v kterékoli z trubek dochází k současné akumulaci vysoké teploty a přetlaku.

Tepelný výměník, který je součástí systému dle vynálezu, je schopný odvádět teplo přirozenou konvekcí za vysokých teplot a představuje v okruhu minimální možnou tlakovou ztrátu. Z tohoto pohledu je zcela zásadní uspořádání teplosměnné části pro maximalizaci účinku přirozené konvekce, kdy horké médium stoupá středním komínem až na úroveň vrchního okraje teplosměnných trubek, čímž je maximalizován rozdíl výšek mezi horkým a studeným místem oběhu. Střední komín je od zbytku tepelného výměníku izolován vrstvou tepelné izolace, aby nedocházelo k přehřátí nosných částí.

Zařízení pro přesměrování toku je realizováno pomocí tří typů vzájemně propojených uzavíracích ventilů, které jsou ovládané pomocí rozdílu tlaku vznikajícího na hlavním oběhovém dmychadlu (někdy také označované jako kompresor). Při běžném provozu reaktoru, kdy je hlavní oběhové dmychadlo v provozu, jsou ventily zprostředkovávající rovnoběžný nezkřížený tok chladiva vnější a vnitřní trubkou uzavřeny a ventily zprostředkovávající zkřížený tok chladiva otevřeny. V havarijním stavu, kdy dojde k odstavení hlavního oběhového dmychadla, se systém pasivně přenastaví do pozice, kdy jsou ventily zprostředkovávající rovnoběžný nezkřížený tok chladiva vnější a vnitřní trubkou otevřeny, a naopak ventily zprostředkovávající zkřížený tok chladiva uzavřeny.

Při běžném provozu se převádí proudění chladiva z vnějšího meziprostoru kruhového potrubí spojujícího zařízení pro přesměrování toku s tlakovou nádobou reaktoru, a tedy proudění ze studené větve hlavního okruhu, do vnitřního kruhového potrubí vedoucího od zařízení pro přesměrování toku k tepelnému výměníku, a dále zařízení pro přesměrování toku usměrňuje proudění z vnějšího meziprostoru kruhového potrubí vedoucího od tepelného výměníku k zařízení pro přesměrování toku do vnitřního kruhového potrubí spojujícího zařízení pro přesměrování toku s tlakovou nádobou reaktoru, a tedy proudění do horké větve hlavního okruhu. Zařízení pro přesměrování toku je v této poloze nastaveno pasivně přetlakem na aktivní zóně reaktoru a přepouští nanejvýš jednotky procent nominálního průtoku chladiva hlavním oběhovým dmychadlem. Chladivo v důsledku přetlaku na aktivní zóně a částečně přirozenou konvekcí proudí z vnějšího mezikruhového prostoru do vnitřního kruhového potrubí a dále do tepelného výměníku, ve kterém se ochlazuje. Z tepelného výměníku proudí chladivo do vnějšího mezikruhového prostoru a dále do výstupu z aktivní zóny, kde se míchá s horkým chladivem hlavního okruhu. DHR je tedy vždy v provozu a lze proto kontinuálně monitorovat funkčnost DHR, což principiálně zvyšuje spolehlivost systému.

V případě havarijního stavu při výpadku hlavního oběhového dmychadla, a tedy ztráty chlazení aktivní zóny hlavním okruhem, zmizí přetlak na aktivní zóně, čímž dojde k pasivnímu nastavení systému přesměrování toku do režimu odvodu zbytkového tepla z aktivní zóny prostřednictvím přenastavení sady ventilů v zařízení pro přesměrování toku. Chladivo z výstupu aktivní zóny v důsledku přirozené konvekce nyní proudí vnitřním potrubím do tepelného výměníku, ve kterém se ochlazuje. Z tepelného výměníku vstupuje do vnějšího mezikruhového prostoru kruhového potrubí a dále proudí do vstupu aktivní zóny.

Systém dle vynálezu i způsob na něm prováděný jsou tedy zcela pasivní a splňují požadavek zvýšené spolehlivosti. K proudění chladiva dochází pouhou konvekcí bez využití jakýchkoli aktivních prvků, jakým je například kompresor, čímž systém splňuje požadavek jaderné bezpečnosti na prakticky vyloučenou skutečnost. Takovýto systém odvodu zbytkového tepla je vždy v provozu, není tedy potřeba jej fyzicky připojovat k tlakové nádobě reaktoru pomocí aktivních či pasivních prvků, což přispívá k oné zvýšené spolehlivosti tohoto systému. Vzhledem k tomu, že již v průběhu běžného provozu reaktoru existuje minimální průtok chladiva systémem správným směrem, a při uvedení do režimu odvodu zbytkového tepla z aktivní zóny tedy nedochází k obrácení toku, je uvedení do tohoto režimu rychlé, jelikož není třeba čekat na rozběh přirozeného proudění chladiva do tepelného výměníku. Z principu způsobu proudění chladiva skrze zařízení pro přesměrování toku poskytuje vynález další výhodu v podobě eliminace tepelných ztrát výkonu reaktoru při běžném provozu i při zachování průtoku chladiva okruhem DHR.

Objasnění výkresů

Obr. 1 znázorňuje schematické provedení systému při běžném provozu.

Obr. 2 znázorňuje schématické provedení systému při režimu odvodu zbytkového tepla.

Obr. 3 znázorňuje axonometrický pohled na řez zařízením pro přesměrování toku.

Příklady uskutečnění vynálezu

Příklad 1 – popisuje systém pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru se zvýšenou bezpečností.

Komín 12 tvořený koaxiálním potrubím zakončený tepelným výměníkem 11 je prostřednictvím zařízení 2 pro přesměrování toku připojen ke koaxiálnímu potrubí vycházejícím z aktivní zóny 31 reaktoru. Tepelný výměník 11 obsahuje 810 rovných teplosměnných trubek 111 uspořádaných okolo ústí vnitřního kanálu 21 a uvnitř ústí vnějšího kanálu 22, které jsou spojeny s jímačem tepla v podobě nádrže s vodou umístěné u střechy budovy kontejnmentu, ve které je ponořen tepelný výměník voda–voda sloužící k ochlazování tlakové vody proudící z teplosměnných trubek 111 tepelného výměníku 11. Zařízení 2 pro přesměrování toku sestává z vnitřního kanálu 21 opatřeného motýlkovým ventilem 211, který odděluje segment kanálu 21 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru od segmentu kanálu 21 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11, a vnějšího kanálu 22 opatřeného čtyřmi motýlkovými ventily 221 rovnoměrně rozmístěnými v přepážce 222, která odděluje segment kanálu 22 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru od segmentu kanálu 22 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11, přičemž osy otáčení motýlkových ventilů 221 jsou v případě každého jednotlivého ventilu otočeny vůči ose dvou sousedních ventilů o 90°. Dále je segment kanálu 21 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11 dvěma šikmými spojovacími kanály 23 spojen se segmentem kanálu 22 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru a segment kanálu 22 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11 dvěma šikmými spojovacími kanály 24 je spojen se segmentem kanálu 21 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru. Dva šikmé spojovací kanály 23 jsou umístěny vzájemně protilehle se zrcadlovou souměrností a dva šikmé spojovací kanály 24 jsou taktéž umístěny vzájemně protilehle se zrcadlovou souměrností. Dva šikmé spojovací kanály 23 a dva šikmé spojovací kanály 24 jsou každý jednotlivě opatřeny jedním motýlkovým ventilem 234. Motýlkový ventil 211, čtyři motýlkové ventily 221 i čtyři motýlkové ventily 234 jsou ovládány změnou tlaku v aktivní zóně 31 reaktoru tak, že při přetlaku v aktivní zóně 31 reaktoru jsou motýlkový ventil 211 a čtyři motýlkové ventily 221 v uzavřené poloze a čtyři motýlkové ventily 234 jsou v otevřené poloze, zatímco při ztrátě tlaku v aktivní zóně 31 reaktoru jsou motýlkový ventil 211 a čtyři motýlkové ventily 221 v otevřené poloze a čtyři motýlkové ventily 234 jsou v uzavřené poloze. Ovládání změnou tlaku v aktivní zóně 31 reaktoru je zajištěno posunem páky ovládané pístem opatřeném pružinou, který je umístěn ve válci 254 připojeném prostřednictvím signálního potrubí 255 k aktivní zóně 31 reaktoru.

Příklad 2 – popisuje způsob prováděný na systému pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru se zvýšenou bezpečností.

V aktivní zóně 31 reaktoru dochází ke snížení tlaku, který skrze signální potrubí 255 působí na píst, čímž se sníží hodnota tlakové síly působící na píst pod hodnotu tlakové síly, kterou působí pružina na opačnou stranu pístu. Posunem pístu dochází současně k posunu páky ovládající motýlkový ventil 211, čtyři motýlkové ventily 221 a čtyři motýlkové ventily 234, čímž se motýlkový ventil 211 a čtyři motýlkové ventily 221 otevrou, a naopak čtyři motýlkové ventily 234 se uzavřou. Tím dochází ke změně proudění helia jakožto chladiva ve výši 2 % nominálního průtoku helia hlavním oběhovým dmychadlem na řádově vyšší hodnotu průtoku mechanismem

konvekce tak, že helium proudící ze segmentu vnějšího kanálu 22 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11 do segmentu vnitřního kanálu 21 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru se přesměruje do segmentu vnějšího kanálu 22 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru a helium proudící do segmentu vnitřního kanálu 21 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11 ze segmentu vnějšího kanálu 22 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru se přesměruje tak, že helium proudí do segmentu vnitřního kanálu 21 na straně 1 přivrácené k tepelnému výměníku 11 ze segmentu vnitřního kanálu 21 na straně 3 přivrácené k aktivní zóně 31 reaktoru. Horké helium proudí vnitřním kanálem 21 mechanismem konvekce komínem 12 k tepelnému výměníku 11 až na úroveň vrchního okraje teplosměnných trubek 111 pro maximalizaci rozdílu výšek mezi horkým a studeným místem oběhu. Helium proudí meziprostorem mezi teplosměnnými trubkami 111 směrem dolů, zatímco studená tlaková voda proudí uvnitř teplosměnných trubek 111 směrem nahoru. Ochlazené helium proudí vnějším kanálem 22 mechanismem konvekce komínem 12 od tepelného výměníku 11 a vstupuje do aktivní zóny 31 reaktoru a ochlazuje ji.

15

Průmyslová využitelnost

Systém pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru se zvýšenou bezpečností a způsob na něm prováděný jsou průmyslově využitelné zejména v plynem chlazených rychlých reaktorech používaných v jaderné energetice a jaderném výzkumu při splnění bezpečnostního požadavku na takzvanou prakticky vyloučenou skutečnost.

20

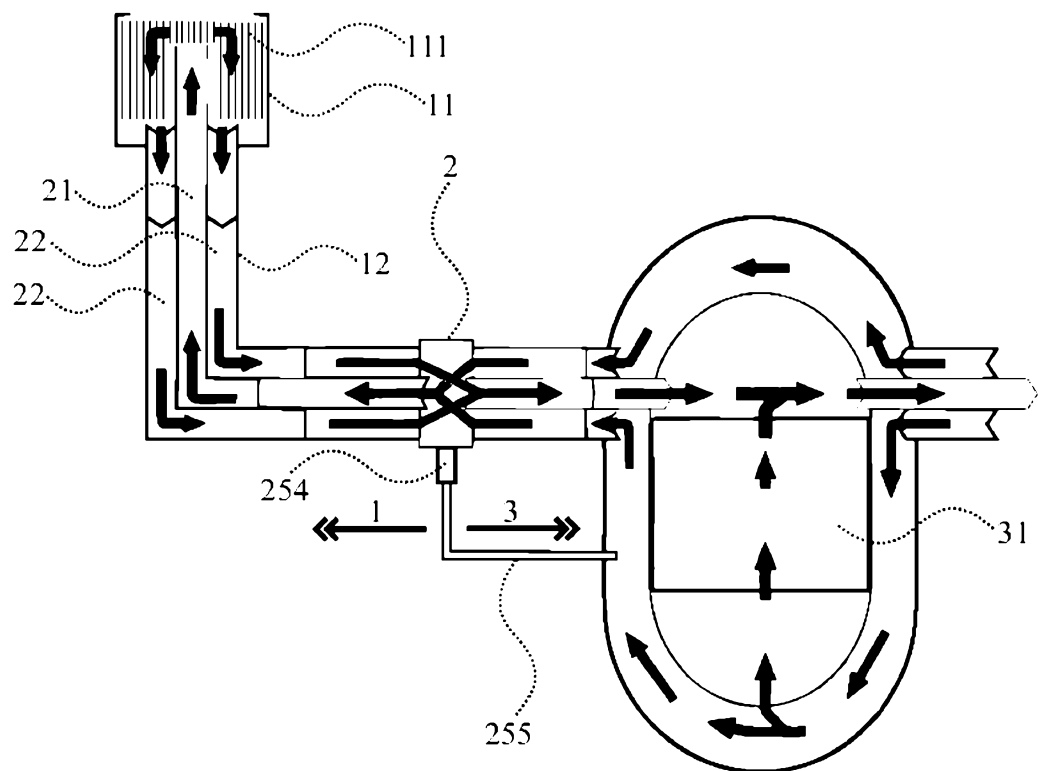
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Pasivní systém se zvýšenou spolehlivostí pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru, **vyznačující se tím**, že zahrnuje tepelný výměník (11), na nějž navazuje komín (12) tvořený dvoukanálovým potrubím s vnější a vnitřní trubkou, a zařízení (2) pro přesměrování toku, kterým je odděleno dvoukanálové potrubí komínu (12) od dvoukanálového potrubí vycházejícího z aktivní zóny (31) reaktoru, přičemž zařízení (2) pro přesměrování toku sestává z vnitřního kanálu (21) opatřeného ventilem (211), který odděluje segment kanálu (21) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru od segmentu kanálu (21) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11), a vnějšího kanálu (22) opatřeného alespoň jedním ventilem (221) v přepážce (222), která odděluje segment kanálu (22) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru od segmentu kanálu (22) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11), přičemž dále je segment kanálu (21) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11) alespoň jedním spojovacím kanálem (23) spojen se segmentem kanálu (22) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru a segment kanálu (22) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11) je spojen alespoň jedním spojovacím kanálem (24) se segmentem kanálu (21) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru s tím, že každý ze spojovacích kanálů (23) a spojovacích kanálů (24) je opatřen alespoň jedním ventilem (234).
2. Pasivní systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že každý z ventilů (211), ventilů (221) i ventilů (234) je ovládán změnou tlaku v aktivní zóně (31) reaktoru s tím, že při přetlaku v aktivní zóně (31) reaktoru je každý z ventilů (211) a ventilů (221) v uzavřené poloze a každý z ventilů (234) v otevřené poloze, zatímco při ztrátě tlaku v aktivní zóně (31) reaktoru je každý z ventilů (211) a ventilů (221) v otevřené poloze a každý z ventilů (234) v uzavřené poloze.
3. Pasivní systém podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že ovládání změnou tlaku v aktivní zóně (31) reaktoru je zajištěno pákou ovládanou pístem opatřeným pružinou, který je umístěn ve válci (254) připojeném prostřednictvím signálního potrubí (255) k aktivní zóně (31) reaktoru.
4. Pasivní systém podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že každý z ventilů (211), ventilů (221) a ventilů (234) je ventilem motýlkovým.
5. Pasivní systém podle kteréhokoli z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že tepelný výměník (11) obsahuje teplosměnné trubky (111) uspořádané okolo ústí vnitřního kanálu (21) a uvnitř ústí vnějšího kanálu (22), přičemž teplosměnné trubky (111) jsou spojeny s jímáčem tepla.
6. Způsob pro odvod zbytkového tepla z jaderného reaktoru, v jehož aktivní zóně (31) dochází k nežádoucímu snížení tlaku v důsledku poruchy hlavního chladicího systému, pro zabránění přehřátí reaktoru, prováděný na systému dle nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že v aktivní zóně (31) reaktoru dochází ke snížení tlaku, který skrze signální potrubí (255) působí na píst, čímž se sníží hodnota tlakové síly působící na píst pod hodnotu tlakové síly, kterou působí pružina na opačnou stranu pístu, posunem pístu se současně posunuje páka ovládající ventily, čímž se každý z ventilů (211) a ventilů (221) otevře, a naopak každý z ventilů (234) se uzavře, čímž se změní proudění chladiva v systému na hodnotu průtoku řádově vyšší, a to mechanismem konvekce, tak, že chladivo proudící ze segmentu vnějšího kanálu (22) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11) do segmentu vnitřního kanálu (21) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru se přesměruje do segmentu vnějšího kanálu (22) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru a chladivo proudící do segmentu vnitřního kanálu (21) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11) ze segmentu vnějšího kanálu (22) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru se přesměruje tak, že chladivo proudí do segmentu vnitřního kanálu (21) na straně (1) přivrácené k tepelnému výměníku (11) ze segmentu vnitřního kanálu (21) na straně (3) přivrácené k aktivní zóně (31) reaktoru, čímž systém přebírá funkci chlazení aktivní zóny (31) reaktoru od hlavního chladicího systému.

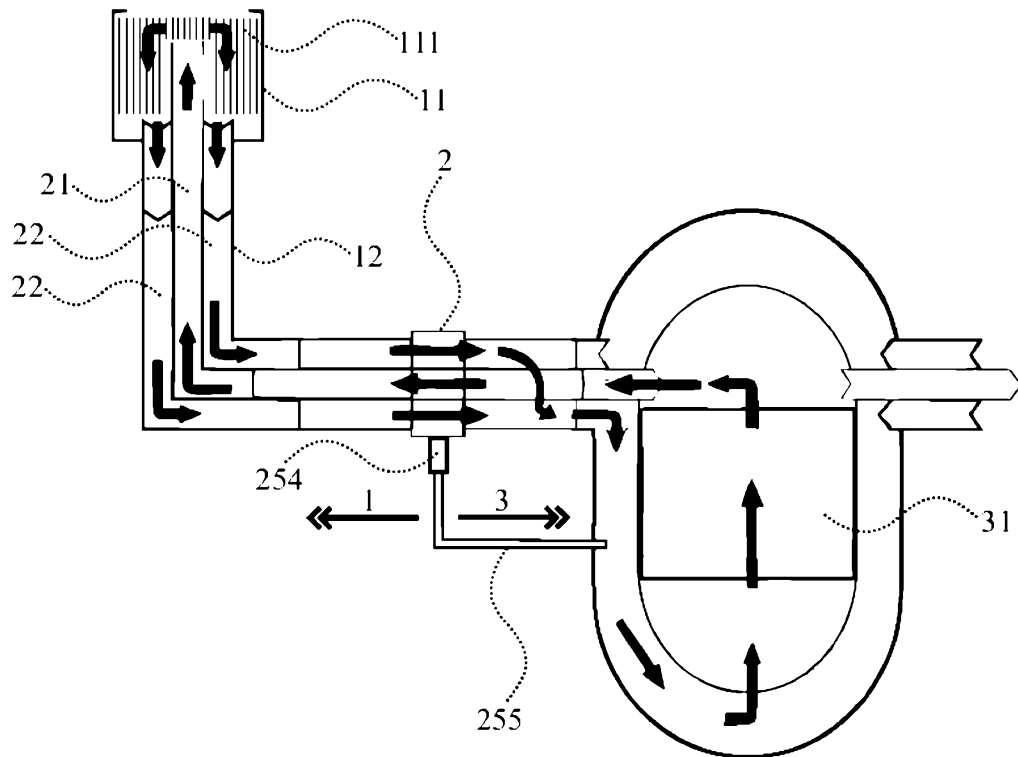
7. Způsob podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že chladivo je dále hnáno vnitřním kanálem (21) mechanismem konvekce komínem (12) k tepelnému výměníku (11) až na úroveň vrchního okraje teplosměnných trubek (111), které jímají teplo z proudícího chladiva, s tím, že chladivo je hnáno meziprostorem mezi teplosměnnými trubkami (111) směrem dolů, přičemž chladivo předává teplo tlakové vodě proudící teplosměnnými trubkami (111) směrem vzhůru do jímače tepla, kde se tlaková voda ochlazuje, ochlazené chladivo je dále hnáno vnějším kanálem (22) mechanismem konvekce komínem (12) od tepelného výměníku (11) a vstupuje do aktivní zóny (31) reaktoru, kde přebírá teplo od štěpného materiálu, a tím aktivní zónu (31) reaktoru ochlazuje.

10

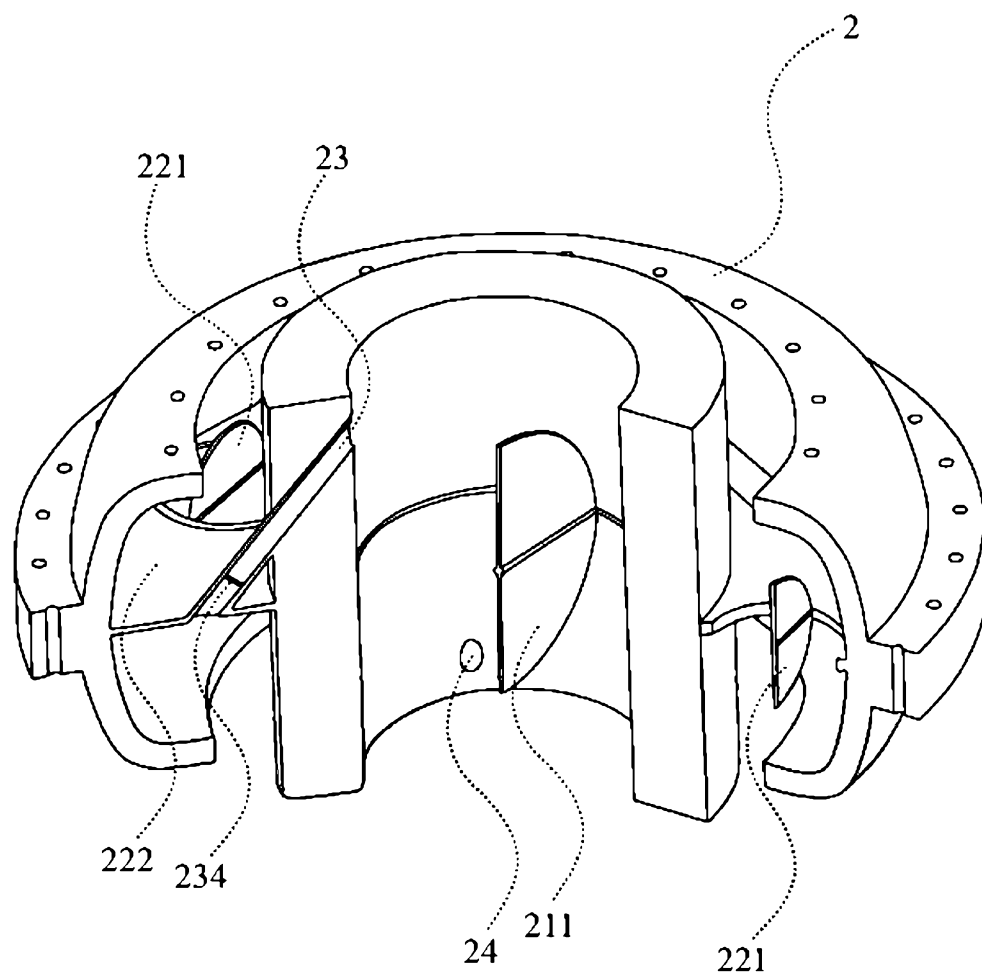
3 výkresy



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3