

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2023-508

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl.:

G21C 15/18 (2006.01)
G21C 15/24 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

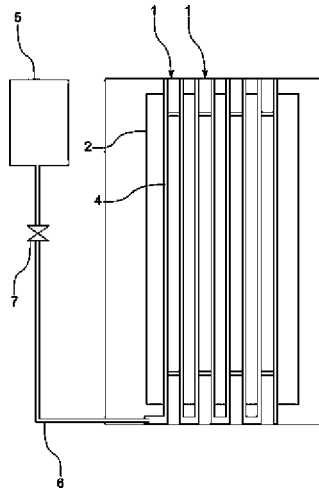


ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 21.12.2023
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 13.03.2024
(Věstník č. 11/2024)

- (71) Přihlašovatel:
ROTÁLPET s.r.o., Liberec, Liberec II-Nové Město, CZ
- (72) Původce:
prof. Ing. Radek Škoda, Ph.D., Liberec, Liberec II-Nové Město, CZ
- (74) Zástupce:
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno, Černá Pole

(6) do prostoru (4) pro izolační vrstvu alespoň jednoho palivového kanálu (1) pro chlazení palivového souboru v daném alespoň jednom palivovém kanálu (1).



- (54) Název přihlášky vynálezu:
Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo a způsob chlazení palivového kanálu reaktoru při nehodě tímto zařízením
- (57) Anotace:
Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo zahrnuje nádrž (2) moderátoru, která zahrnuje alespoň jeden palivový kanál (1) zahrnující tělo, prostor pro chladivo a prostor (4) pro izolační vrstvu. Prostor pro chladivo a prostor (4) pro izolační vrstvu jsou umístěny v těle palivového kanálu (1), přičemž prostor pro chladivo je obklopen prostorem (4) pro izolační vrstvu. Zařízení dále zahrnuje nádrž (5) pro chladicí kapalinu, přívodní trubici (6) pro přívod chladicí kapaliny do palivového kanálu (1) a ventil (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny. Přívodní trubice (6) je na jednom svém konci spojena s nádrží (5) pro chladicí kapalinu a na druhém svém konci s prostorem (4) pro izolační vrstvu alespoň jednoho palivového kanálu (1). Ventil (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny je umístěn na přívodní trubici (6) a je datově propojen s řídicí jednotkou, která je datově propojena s teplotním senzorem pro snímání teploty v reaktoru. Způsob chlazení palivového kanálu reaktoru při nehodě tímto zařízením probíhá tak, že řídicí jednotka zaznamená nehodu a otevře ventil (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny umístěný na přívodní trubici (6) pro přívod chladicí kapaliny do palivového kanálu (1), přičemž chladicí kapalina teče přívodní trubicí

Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo a způsob chlazení palivového kanálu reaktoru při nehodě tímto zařízením

5 Oblast techniky

Předmětem vynálezu je zařízení pro chlazení reaktoru a způsob chlazení palivového kanálu v případě nehody se ztrátou chlazení a nehody se ztrátou chladiva v reaktoru.

10

Dosavadní stav techniky

Chlazení je jedním z klíčových prvků u zařízení využívajících jaderné reakce pro získávání energie, jelikož při štěpné reakci dochází k uvolňování velkého množství tepla, které je potřeba bezpečně
15 odvádět. Toto teplo je odváděno chladicím médiem, kterým může být například voda. Pro případ nehody poškozující chlazení je tak potřeba mít nouzový chladicí systém. Jeden z příkladů nouzového chlazení reaktoru je zveřejněn v dokumentu DE 3036232 A1, kde je při nouzové situaci chladivo rozstříkováno na jádro. Jedná se ovšem o komplikovaný systém chlazení.

20 V současné době je jedním z využívaných reaktorů reaktor s palivovými kanály, ve kterém jsou uloženy palivové soubory. Reaktor s palivovými kanály a jejich konstrukce je popsána například v užitém vzoru CZ 37093 U1.

25 Bylo by vhodné přijít s řešením efektivního nouzového chlazení pro reaktor využívající palivové kanály.

Podstata vynálezu

30 Výše uvedené nedostatky do jisté míry odstraňuje zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo, které zahrnuje nádrž moderátoru, nádrž pro chladicí kapalinu, přívodní trubici pro přívod chladicí kapaliny do palivového kanálu a ventil pro regulaci přívodu chladicí kapaliny. Nádrž moderátoru zahrnuje alespoň jeden palivový kanál. Palivový kanál zahrnuje tělo, prostor pro chladivo a prostor pro izolační vrstvu. Prostor pro chladivo a prostor pro izolační vrstvu jsou umístěny v těle
35 palivového kanálu. Prostor pro chladivo je obklopen prostorem pro izolační vrstvu. Přívodní trubice je na jednom svém konci spojena s nádrží pro chladicí kapalinu a na druhém svém konci s prostorem pro izolační vrstvu alespoň jednoho palivového kanálu. Ventil pro regulaci přívodu chladicí kapaliny je umístěn na přívodní trubici.

40 Toto zařízení umožňuje rychle a efektivně odvádět teplo z palivového kanálu, čímž chladí reaktor zahrnující palivové kanály v případě nouze (např. při nehodě). Zařízení využívá konstrukce palivového kanálu, konkrétně jeho prostoru pro izolační vrstvu, který standardně slouží pro zamezení přenosu tepla z prostoru pro chladivo do nádrže moderátoru, pro nouzové chlazení. Do nádrže s moderátorem či přímo do palivových kanálů tak již není potřeba přidávat složité chladicí
45 systémy, které jsou finančně nákladnější na instalaci i na provoz než toto zařízení.

Tím, že dochází k chlazení každého palivového kanálu samostatně, je potřeba mnohem menší množství nouzové chladicí kapaliny, než kdyby byly tyto palivové kanály chlazeny společně například v jedné nádobě nebo kdyby byla chlazená celá tlaková nádoba. Případně lze nouzově
50 chladit například pouze palivové kanály, u kterých došlo k poškození. Díky přesně cílenému chlazení je tak nouzové chlazení účinnější – např. se snižuje riziko nehody, kdy vlivem nedostatečného chlazení dochází k tavení paliva, úniku štěpných produktů apod., oproti dosavadním řešením ze stavu techniky (např. při nouzovém chlazení celé tlakové nádoby zahrnující palivové soubory).

55

Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo výhodně zahrnuje řídicí jednotku a teplotní senzor pro snímání teploty palivového souboru. Řídicí jednotka je datově propojená s teplotním senzorem (výhodně bezdrátově) a s ventilem pro regulaci přívodu chladicí kapaliny (výhodně bezdrátově). Řídicí jednotka je tedy uzpůsobena k ovládání ventilu a k vyhodnocování dat z teplotního senzoru.

5 Na základě dat z teplotního senzoru tak řídicí jednotka dokáže vyhodnotit, zda dochází k dostatečnému chlazení palivového souboru či nikoliv. Při zjištění nedostatečného chlazení řídicí jednotka výhodně informuje operátora o tomto stavu a otevře ventil pro regulaci přívodu chladicí kapaliny. Řídicí jednotka může tento úkon provést automaticky či může být potřeba první potvrzení operátora pro otevření ventilu pro regulaci přívodu chladicí kapaliny. Ventil pro regulaci přívodu

10 chladicí kapaliny výhodně lze otevřít i ručně operátorem v případě nouze.

Výhodně zařízení pro chlazení reaktoru zahrnuje senzor pro snímání množství chladiva v prostoru pro chladivo, aby řídicí jednotka mohla rozpoznat typ nehody – zda se jedná o nehodu se ztrátou chlazení či nehodu se ztrátou chladiva. Senzor pro snímání množství chladiva je pak tedy výhodně

15 rovněž spojený s řídicí jednotkou.

Palivový kanál výhodně zahrnuje alespoň jeden palivový soubor, který je standardně největším zdrojem tepla díky štěpení v palivovém souboru a který je obklopen prostorem pro chladivo pro chlazení palivového souboru.

20

Prostor pro izolační vrstvu výhodně zahrnuje plynnou izolační vrstvu s nízkou chemickou reaktivitou, např. neon, krypton a jejich směs.

Výhodně plynná izolační vrstva má v prostoru pro izolační vrstvu vyšší tlak, než je atmosférický tlak okolí. Tak lze zabránit průniku vzduchu z okolí do prostoru pro izolační vrstvu a zároveň tak

25 plynná izolační vrstva působí tímto tlakem na tělo palivového kanálu a zvyšuje tak jeho mechanickou odolnost.

Výhodně má plynná izolační vrstva alespoň 2x větší tlak, než je atmosférický tlak, pro zabránění průniku vzduchu do prostoru pro izolační vrstvu, zvýšení mechanické odolnosti a aktivaci vzdušného argonu. Díky neutronům vzniklým při jaderné reakci tak z argonu, který je součástí vzduchu, může vznikat radioaktivní izotop argonu, který je pro operátory obsluhující zařízení pro chlazení nebezpečný.

30

Výhodně zařízení pro chlazení reaktoru zahrnuje celkem alespoň tři palivové kanály, přičemž prostor pro izolační vrstvu každého palivového kanálu je spojen s prostorem pro izolační vrstvu alespoň jednoho sousedního palivového kanálu pro přívod chladicí kapaliny jednou přívodní

35 trubici do více palivových kanálů, výhodně do všech palivových kanálů v dané nádrži moderátoru. Přívodní trubice je spojena s právě jedním palivovým kanálem. Alternativně může být přívodní

40 trubice spojena s více palivovými kanály, aby i při poškození jedné větve přívodní trubice u jednoho palivového kanálu chladicí kapalina proudila do ostatních palivových kanálů a následně díky vzájemnému propojení prostor pro izolační vrstvu i do palivového kanálu u poškozené větve přívodní trubice. Alternativně může být přívodní trubice propojená s každým palivovým kanálem v dané nádrži moderátoru.

45

Nádrž moderátoru může zahrnovat alespoň 31 palivových kanálů, výhodněji alespoň 55, pro efektivní provoz elektrárny. Výhodně tedy zařízení zahrnuje 31 palivových kanálů, výhodněji 55, u kterých je prostor pro izolační vrstvu každého palivového kanálu spojen s prostorem pro izolační vrstvu alespoň jednoho sousedního palivového kanálu.

50

Nádrž moderátoru výhodně zahrnuje moderátor. Moderátorem je výhodně kapalina s velkou tepelnou kapacitou pro pohlcení alespoň části tepla z palivového kanálu, například těžká voda. Moderátor může být stejná látka jako chladivo.

Chladicí kapalinou je výhodně stejná látka jako chladivo. Alternativně může být chladicí kapalina jinou látkou než chladivo.

5 Výše uvedené nedostatky do jisté míry odstraňuje způsob chlazení palivového kanálu při nehodě, ve kterém řídicí jednotka, například na základě dat ze senzorů a porovnáním dat ze senzorů a předem definovaných mezních hodnot pro senzory, zaznamenaná nehodu a otevře ventil pro regulaci přívodu chladicí kapaliny (např. automaticky či na základě úkonu operátora) na přívodní trubici pro přívod chladicí kapaliny do palivového kanálu. Chladicí kapalina teče přívodní trubicí do 10 prostoru pro izolační vrstvu alespoň jednoho palivového kanálu pro chlazení palivového souboru v daném alespoň jednom palivovém kanálu. Chladicí kapalina tak umožňuje přenos tepla z chladiva v palivovém kanálu do moderátoru v nádrži moderátoru, čímž ochlazuje palivový kanál.

Výhodně se zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo dle vynálezu využije v tomto způsobu chlazení palivového kanálu při nehodě.

15 Při vzájemném propojení palivových kanálů výhodně chladicí kapalina teče do všech propojených palivových kanálů.

20 Výhodně řídicí jednotka zaznamenaná nehodu a na základě dat ze senzorů ji vyhodnotí a oznámí operátorovi druh nehody.

Při přitékání chladicí kapaliny do prostoru pro izolační vrstvu výhodně chladicí kapalina nahrazuje plynnou izolační vrstvu v prostoru pro izolační vrstvu. Chladivo v palivovém kanálu tak již není tepelně izolováno od moderátoru a část tepla je tak odváděna do moderátoru, což vede k ochlazení 25 palivového souboru.

Výhodně je plynná izolační vrstva v prostoru pro izolační vrstvu nahrazována chladicí kapalinou současně v každém palivovém kanálu. To může být realizováno například spojením každého palivového kanálu s přívodní trubicí. Přívodní trubice tak může zahrnovat několik větví dle počtu 30 palivových kanálů, se kterými je spojena. Každá větev (či alespoň dvě větve) může zahrnovat ventil pro umožnění průtoku chladicí kapaliny k danému palivovému kanálu na dané větvi. Při poškození v jednom palivovém kanálu se tak může otevřít ventil pro umožnění průtoku chladicí kapaliny pouze u daného poškozeného palivového kanálu.

35 Nehoda může být nehodou se ztrátou chlazení, kdy chladivo v prostoru pro chladivo nezvládá odvádět potřebné teplo z palivového souboru a palivový kanál se přehřívá. Při nehodě se ztrátou chlazení je tak výhodně chladicí kapalina oddělena od chladiva stěnou těla palivového kanálu. Chladicí kapalina, která je přiváděna přívodní trubicí do prostoru pro izolační vrstvu, odvádí alespoň část tepla z chladiva v prostoru pro chladivo alespoň jednoho palivového kanálu do 40 moderátoru nádrže moderátoru. Tento způsob chlazení tak umožňuje bezpečně zvládnout nehodu se ztrátou chlazení bez většího poškození, zvláště bez tavení paliva a následného potenciálního úniku štěpných produktů.

Nehoda může být nehoda se ztrátou chladiva, kdy dojde k defektu ve stěně těla palivového kanálu 45 oddělující prostor pro izolační vrstvu a prostor pro chladivo. Při tomto defektu alespoň část chladiva může proudit z prostoru pro chladivo do prostoru pro izolační vrstvu a dochází tak k úniku alespoň části chladiva. Část chladiva proudící v prostoru pro chladivo tak nemusí stačit na odvod tepla z palivového souboru a může dojít k přehřátí palivového kanálu nad určitou bezpečnou mez. Chladicí kapalina, která je přiváděna přívodní trubicí do alespoň jednoho palivového kanálu, teče 50 do prostoru pro izolační vrstvu až do úrovně defektu, kde poté teče z prostoru pro izolační vrstvu do prostoru pro chladivo daného palivového kanálu. V palivovém kanálu s defektem tak část prostoru pro izolační vrstvu zahrnuje plynnou izolační vrstvu a část chladicí kapaliny. Výhodně je chladicí kapalina v prostoru pro izolační vrstvu pod větším tlakem, než je chladivo, a chladicí kapalina tak zabráňuje vytékání chladiva z prostoru pro chladivo a zároveň část chladicí kapaliny,

kteřá přitéká do prostoru pro chladivo, společně s chladivem odvádí teplo, které se dále může využít v elektrárně.

Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo dle vynálezu může být součástí zařízení na získávání energie z jaderného paliva, například elektrárny či teplárny. Zařízení na získávání energie dále může zahrnovat tepelný výměník, který předává tepelnou energii generovanou v nádrži moderátoru z chladiva do dalšího přenosného média (například vody či páry) pro distribuci centrálního vytápění. Nádrž moderátoru může být výhodně obklopena biologickým stíněním, výhodně například z betonu. Řízení zařízení může zahrnovat regulační tyče, které mohou být umístěny v nádrži moderátoru. Dále zařízení může zahrnovat řídicí aparaturu na kontrolu parametrů paliva, bazén na čerstvé a použité palivo atd.

Zařízení na získávání energie z jaderného paliva dále může zahrnovat rozvod chlazení primárního okruhu jehož součástí je chladivo, které zde cirkuluje. Rozvod chlazení je připojený na vstup pro přitékající chladivo prostoru pro chladivo a na výstup pro odtékající chladivo.

Zařízení na získávání energie z jaderného paliva dále může zahrnovat nádrž pro izolační plyn zahrnující izolační plyn. Nádrž pro izolační plyn je připojena k prostoru pro izolační vrstvu alespoň jednoho palivového kanálu (výhodněji ke všem palivovým kanálům).

Objasnění výkresů

Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde na:

obr. 1 je schematicky znázorněné zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo, na

obr. 2 je schematicky znázorněný palivový kanál v řezu vertikální rovinou při standardním provozu, na

obr. 3 je schematicky znázorněné zařízení pro chlazení reaktoru ve stavu za normálního provozu, na

obr. 4 je schematicky znázorněné zařízení pro chlazení reaktoru při nehodě se ztrátou chlazení, na

obr. 5 je schematicky znázorněný palivový kanál v řezu vertikální rovinou při nehodě se ztrátou chlazení, na

obr. 6 je schematicky znázorněný palivový kanál v řezu vertikální rovinou při nehodě se ztrátou chladiva, a na

obr. 7 je schematicky znázorněné propojení řídicí jednotky se senzory a ventilem.

Příklady uskutečnění vynálezu

Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo bude dále objasněné na příkladech uskutečnění s odkazem na příslušné výkresy. První příkladné provedení zařízení a jeho uspořádání je vyobrazené na obr. 1.

Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo v prvním příkladném provedení zahrnuje nádrž 2 moderátoru s 55 palivovými kanály 1, nádrž 5 pro chladicí kapalinu 10, přívodní trubici 6 a ventil 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10, jak je znázorněné na obr. 1.

Každý palivový kanál 1 zahrnuje tělo, ve kterém je umístěný prostor 3 pro chladivo 9 a prostor 4 pro izolační vrstvu 11 tak, že prostor 4 pro izolační vrstvu 11 obklopuje prostor 3 pro chladivo 9. Tělo palivového kanálu 1 má v prvním příkladném provedení podobu trubky (v horizontálním řezu dvě soustředné kružnice), kde v mezikruží se nachází prostor 4 pro izolační vrstvu 11 a ve vnitřní kružnici prostor 3 pro chladivo 9, jak je tomu v prvním příkladném provedení. Prostor 3 pro chladivo 9 je tak od prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 oddělen vnitřní stěnou těla palivového kanálu 1. V elektrárně zahrnující toto zařízení je prostor 3 pro chladivo 9 součástí chlazení primárního okruhu, ve kterém cirkuluje chladivo 9 odvádějící část tepla z palivového kanálu 1 do dalších částí elektrárny, kde je teplo z chladiva 9 dále využito, a následně chladivo 9 proudí zpět do palivového kanálu 1. Prostor 3 pro chladivo 9 tak zahrnuje vstup pro přitékající chladivo 9 a výstup pro odtékající chladivo 9 na opačných koncích palivového kanálu 1. V elektrárně zahrnující toto zařízení prostor 4 pro izolační vrstvu 11 standardně zahrnuje plynovou izolační vrstvu 11, která je napojená na nádrž s izolačním plynem. Prostor 4 pro izolační vrstvu 11 tak zahrnuje vstup pro izolační plyn z nádrže pro izolační plyn a výstup pro případ vypuštění izolačního plynu při plnění prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 chladicí kapalinou 10. V prostoru 3 pro chladivo 9 je v prvním příkladném provedení umístěn jeden palivový soubor 8 zahrnující palivové tyče. Palivový kanál 1 dále zahrnuje výfukový ventil pro upuštění plyné izolační vrstvy 11, který je umístěn na opačné straně palivového kanálu 1, než je připojená přívodní trubice 6. Palivový kanál 1 je tedy obal s chlazením pro palivový soubor 8. Palivový soubor 8 je základním článkem jaderného paliva.

Nádrž 5 pro chladicí kapalinu 10 slouží jako zásobárna chladicí kapaliny 10 v případě nouze a je umístěna mimo nádrž 2 moderátoru tak, aby při nehodě nedošlo k poškození nádrže 5 pro chladicí kapalinu 10, a tedy by nebylo možné nouzově chladit palivové kanály 1.

K nádrži 5 pro chladicí kapalinu 10 je připojená přívodní trubice 6, která je určená pro přívod chladicí kapaliny 10 z nádrže 5 pro chladicí kapalinu 10 k palivovým kanálům 1. Přívodní trubice 6 je tedy pevně spojená, v prvním příkladném provedení spojená svarem, s nádrží 5 pro chladicí kapalinu 10. Na druhém svém konci je přívodní trubice 6 v prvním příkladném provedení pevně spojená s jedním palivovým kanálem 1.

V prvním příkladném provedení je na přívodní trubici 6 u nádrže 5 pro chladicí kapalinu 10 upevněn ventil 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10, který je určen pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 k palivovému kanálu 1. Pro co nejrychlejší ovládání je ventil 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 ovládán bezdrátově pomocí řídicí jednotky 13, to je schematicky znázorněné na obr. 7. Řídicí jednotka 13 pro ovládání ventilu 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 je v prvním příkladném provedení součástí celkového ovládání reaktoru. V případě nouze lze tak ventil 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 rychle otevřít a umožnit přívod chladicí kapaliny 10 k palivovému kanálu 1. Zařízení dále zahrnuje teplotní senzor 14, který slouží ke snímání teploty v reaktoru (konkrétně v prvním příkladném provedení v palivovém kanálu 1), a senzor 15 pro snímání množství chladiva 9 v prostoru 5 pro chladivo 9 v palivovém kanálu 1. Oba senzory jsou bezdrátově propojené s řídicí jednotkou 13, jak je znázorněné na obr. 7, která tak přijímá data z teplotního senzoru 14 a senzoru 15 pro snímání množství chladiva 9 a na základě všech potřebných dat vyhodnocuje situaci tak, že porovnává data ze senzorů s danými mezními hodnotami. Pomocí senzorů je tedy zjišťováno, zda dochází ke správnému chlazení palivových souborů 8. Oba senzory jsou standardní součástí nádrže 2 moderátoru.

Jak lze vidět na obr. 1, přívodní trubice 6 je připojená k prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 jednoho palivového kanálu 1, aby při otevření ventilu 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 chladicí kapalina 10 z nádrže 5 pro chladicí kapalinu 10 protékala přívodní trubicí 6 do prostoru 4 pro izolační vrstvu 11. Prostory 4 pro izolační vrstvu 11 všech palivových kanálů 1 jsou v prvním příkladném provedení vzájemně propojeny propojovacími trubicemi, jak je znázorněno na obr. 1. Každá propojovací trubice tedy spojuje palivový kanál 1 se sousedními palivovými kanály 1. Při otevření ventilu 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 tak chladicí kapalina 10 proudí do prostorů 4 pro izolační vrstvu 11 všech palivových kanálů 1 v nádrži 2 moderátoru, i když například

dojde k nehodě se ztrátou chlazení pouze u jednoho palivového kanálu 1. Toto propojení prostorů 4 pro izolační vrstvu 11 umožňuje jednodušší konstrukci reaktoru, než kdyby přívodní trubice 6 vedla ke každému palivovému kanálu 1. Přívodní trubice 6 je k palivovému kanálu 1 připojena ve stejné výšce jako jsou propojeny prostory 4 pro izolační vrstvu 11 palivových kanálů 1 propojovacími trubicemi, aby rozvod chladicí kapaliny 10 do dalších palivových kanálů 1 probíhal co nejrychleji. Výška je ve směru, v jakém jsou uspořádány palivové kanály 1 v nádrži 2 moderátoru – vertikálně.

Druhé příkladné provedení zařízení, které zahrnuje výše popsané prvky dle prvního příkladného provedení, je znázorněné na obr. 2 a obr. 3. Za normálního provozu, který je znázorněn na obr. 3, v elektrárně zahrnující zařízení pro chlazení reaktoru je ve druhém příkladném provedení v prostoru 3 pro chladiivo 9 chladiivo 9, které slouží k chlazení palivového souboru 8. Chladiivem 9 je ve druhém příkladném provedení těžká voda. Chladicí kapalinou 10 je ve druhém příkladném provedení těžká voda. Chladicí kapalina 10 a chladiivo 9 jsou tedy ve druhém příkladném provedení stejné látky, které se liší svým účelem a umístěním především za standardního provozu reaktoru. Chladiivo 9 je kapalina, která standardně proudí v primárním okruhu – v palivovém kanálu 1 odebírá teplo z palivového souboru 8 a přenáší jej do dalších částí elektrárny, kde se teplo z chladiiva 9 odebere a dále se využije. Chladicí kapalina 10 je kapalina, která se využije v případě nouze k podpoře přenosu tepla, jinými slovy je to tedy nouzové chladiivo 9. V prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 je ve druhém příkladném provedení při normálním provozu plyn, jak lze vidět na obr. 2, který odděluje chladiivo 9 v prostoru 3 pro chladiivo 9 od moderátoru v nádrži 2 pro moderátor a omezuje tak přenos tepla mezi chladiivem 9 a moderátorem. Chladiivo 9 je ohříváno palivovým souborem 8 a moderátorem. Díky tepelné izolaci mezi chladiivem 9 a moderátorem má tak palivový kanál 1 větší účinnost a chladiivem 9 je odvedeno více užitečného tepla. Izolační vrstvou 11 v prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 je plyn s nízkou aktivací a chemickou reaktivitou – ve druhém příkladném provedení je to neon. Plyn v prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 má ve druhém příkladném provedení tlak 2x větší, než je atmosférický, čímž je zabráněno průniku vzduchu do prostoru 4 pro izolační vrstvu 11. Plyn také působí vyšším tlakem na stěny těla palivového kanálu 1, čímž je zvýšena mechanická odolnost palivového kanálu 1. Nádrž 5 pro chladicí kapalinu 10 zahrnuje chladicí kapalinu 10 uloženou pod tlakem, aby při otevření ventilu 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 došlo k rychlému rozvodu chladicí kapaliny 10 do palivových kanálů 1. Nádrž 2 moderátoru za normálního provozu zahrnuje moderátor, který má velkou tepelnou kapacitu pro pohlcení co nejvíce nadbytečného tepla v případě nouze. Ve druhém příkladném provedení je moderátorem těžká voda. Za normálního provozu v elektrárně, kde je umístěno zařízení pro chlazení reaktoru, je součástí prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 pouze plynná izolační vrstva 11, jak lze vidět na obr. 3. Díky propojení přívodní trubice 6 s prostorem 4 pro izolační vrstvu 11 je ve druhém příkladném provedení v části přívodní trubice 6 mezi ventilem 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 a palivovým kanálem 1 plynná izolační vrstva 11.

Zařízení pro chlazení reaktoru se využívá ve způsobu chlazení palivového kanálu 1 při nehodě se ztrátou chlazení ve třetím příkladném provedení. Způsobu chlazení při nehodě se ztrátou chlazení dle třetího příkladného provedení předchází stav zařízení za normálního provozu dle druhého příkladného provedení. Při nehodě se ztrátou chlazení dochází k nedostatečnému chlazení palivového kanálu 1 vlivem defektu v potrubí přivádějící chladiivo 9 do palivového kanálu 1 z ostatních částí elektrárny. Ve třetím příkladném provedení způsobu chlazení řídicí jednotka 13 pomocí tepelného senzoru 14 zaznamená nárůst teploty nad určitou mezní hodnotu. Řídicí jednotka 13 upozorní na tento stav operátora, otevře ventil 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 na přívodní trubici 6 a následně chladicí kapalina 10 začne proudit z nádrže 5 pro chladicí kapalinu 10 přes přívodní trubici 6 do prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 palivového kanálu 1, ke kterému je přívodní trubice 6 připojena.

Chladicí kapalina 10 tak vytlačuje plynnou izolační vrstvu 11 a nahrazuje ji, jak je znázorněno na obr. 5, až je plyn zcela vytlačen z prostoru 4 pro izolační vrstvu 11. Plyn uniká výfukovým ventilem z palivového kanálu 1. Chladicí kapalina 10 je dále rozváděna do sousedních palivových kanálů 1, se kterými je přívodní trubice 6 spojena, až dojde k nahrazení plynné izolační vrstvy 11 chladicí

kapalinou 10 ve všech palivových kanálech 1 v nádrži 2 moderátoru. Chladicí kapalina 10 v prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 tak vytvoří tepelný most pro odvod nadbytečného tepla z chladiva 9 v těle palivového kanálu 1 do moderátoru v nádrži 2 moderátoru. Díky tomuto způsobu chlazení a velké tepelné kapacitě moderátoru tak lze bezpečně řešit nehodu se ztrátou chlazení bez tavení paliva a úniku štěpných produktů.

Zařízení pro chlazení reaktoru se využívá ve způsobu chlazení palivového kanálu 1 při nehodě se ztrátou chladiva 9 ve čtvrtém příkladném provedení, které je znázorněné na obr. 6. Způsobu chlazení při nehodě se ztrátou chladiva 9 dle čtvrtého příkladného provedení předchází stav zařízení za normálního provozu dle druhého příkladného provedení. Při nehodě se ztrátou chladiva 9 dochází k úniku chladiva 9 z prostoru 3 pro chladivo 9 do prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 při defektu 12 vnitřní stěny trubky těla palivového kanálu 1 rozdělující prostor 3 pro chladivo 9 a prostor 4 pro izolační vrstvu 11. Ve čtvrtém příkladném provedení řídicí jednotka 13 pomocí tepelného senzoru 14 zaznamená nárůst teploty v palivovém kanálu 1 a pomocí senzoru 15 pro snímání množství chladiva 9 zaznamená úbytek chladiva 9 v palivovém kanálu 1 a/nebo otvor v těle palivového kanálu 1. Řídicí jednotka 13 upozorní na tento stav operátora, otevře ventil 7 pro regulaci přívodu chladicí kapaliny 10 na přívodní trubici 6 a následně chladicí kapalina 10 začne proudit z nádrže 5 pro chladicí kapalinu 10 přes přívodní trubici 6 do prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 palivového kanálu 11, ke kterému je přívodní trubice 5 připojená.

Chladicí kapalina 10 tak vytlačuje plynnou izolační vrstvu 11 a nahrazuje ji obdobně jako ve třetím příkladném provedení. Jakmile úroveň chladicí kapaliny 10 dosáhne defektu 12 v podobě otvoru ve vnitřní stěně těla, jak je znázorněné na obr. 6, začne chladicí kapalina 10 proudit směrem do prostoru 3 pro chladivo 9. Chladicí kapalina 10 tak zabraňuje unikání chladiva 9 do prostoru 4 pro izolační vrstvu 11. Prouděním chladicí kapaliny 10 do prostoru 3 pro chladivo 9 tak chladicí kapalina 10 následně proudí společně s chladivem 9 do dalších částí reaktoru a pomáhá tak v odvodu tepla. V prostoru 4 pro izolační vrstvu 11 je ve čtvrtém příkladném provedení tedy společně plynná izolační vrstva 11 a chladicí kapalina 10, jak lze vidět na obr. 6. V částech prostoru 4 pro izolační vrstvu 11, kde chladicí kapalina 10 nahradila plynnou izolační vrstvu 11, je obdobně jako ve třetím příkladném provedení vytvořen tepelný most pro přenos přebytečného tepla z palivového kanálu 1 do moderátoru. Ve čtvrtém příkladném provedení je tak tomu pod úrovní defektu 12 v těle ve vertikálním směru, jak lze vidět na obr. 6. Část přebytečného tepla je tedy chladicí kapalinou 10 odváděna z chladiva 9 do moderátoru a část tepla je odváděna chladicí kapalinou 10 společně s chladivem 9 proudícím v prostoru 3 pro chladivo 9, což zabraňuje tavení paliva a následnému potencionálnímu úniku štěpných produktů.

Průmyslová využitelnost

Vynález lze využít v různých reaktorech pro jaderné palivo, zvláště za účelem výroby tepla, například v teplárnách.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo, přičemž zařízení zahrnuje nádrž (2) moderátoru, která zahrnuje alespoň jeden palivový kanál (1) zahrnující tělo, prostor (3) pro chladivo (9) a prostor (4) pro izolační vrstvu (11), přičemž prostor (3) pro chladivo (9) a prostor (4) pro izolační vrstvu (11) jsou umístěny v těle palivového kanálu (1), přičemž prostor (3) pro chladivo (9) je obklopen prostorem (4) pro izolační vrstvu (11), **vyznačující se tím**, že zařízení zahrnuje nádrž (5) pro chladicí kapalinu (10), přírodní trubici (6) pro přívod chladicí kapaliny (10) do palivového kanálu (1) a ventil (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny (10), přičemž přírodní trubice (6) je na jednom svém konci spojena s nádrží (5) pro chladicí kapalinu (10) a na druhém svém konci s prostorem (4) pro izolační vrstvu (11) alespoň jednoho palivového kanálu (1), přičemž ventil (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny (10) je umístěn na přírodní trubici (6).

2. Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že zahrnuje řídicí jednotku (13) a teplotní senzor (14) pro snímání teploty v reaktoru, přičemž řídicí jednotka (13) je datově propojená s teplotním senzorem (14), přičemž řídicí jednotka (13) je datově propojená s ventilem (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny (10).

3. Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo podle kteréhokoliv z nároků 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že palivový kanál (1) zahrnuje alespoň jeden palivový soubor (8), přičemž palivový soubor (8) je obklopen prostorem pro chladivo (9).

4. Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo podle kteréhokoliv z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že prostor (4) pro izolační vrstvu (11) zahrnuje plynou izolační vrstvu (11).

5. Zařízení pro chlazení reaktoru pro jaderné palivo podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4 **vyznačující se tím**, že zahrnuje celkem alespoň tři palivové kanály (1), přičemž prostor (4) pro izolační vrstvu (11) každého palivového kanálu (1) je spojen s prostorem (4) pro izolační vrstvu (11) alespoň jednoho sousedního palivového kanálu (1) pro přívod chladicí kapaliny (10) jednou přírodní trubicí (6) do více palivových kanálů (1), přičemž přírodní trubice (6) je spojena s právě jedním palivovým kanálem (1).

6. Způsob chlazení palivového kanálu (1) při nehodě, **vyznačující se tím**, že řídicí jednotka (13) zaznamenaná nehodu a otevře ventil (7) pro regulaci přívodu chladicí kapaliny (10) umístěný na přírodní trubicí (6) pro přívod chladicí kapaliny (10) do palivového kanálu (1), přičemž chladicí kapalina (10) teče přírodní trubicí (6) do prostoru (4) pro izolační vrstvu (11) alespoň jednoho palivového kanálu (1) pro chlazení palivového souboru (8) v daném alespoň jednom palivovém kanálu (1).

7. Způsob chlazení palivového kanálu (1) při nehodě podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že chladicí kapalina (10) nahrazuje plynou izolační vrstvu (11) v prostoru (4) pro izolační vrstvu (11).

8. Způsob chlazení palivového kanálu (1) při nehodě podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že plyná izolační vrstva (11) v prostoru (4) pro izolační vrstvu (11) je nahrazována chladicí kapalinou (10) současně v každém palivovém kanálu (1).

9. Způsob chlazení palivového kanálu (1) při nehodě podle kteréhokoliv z nároků 6 až 8, **vyznačující se tím**, že nehoda je nehodou se ztrátou chlazení, přičemž chladicí kapalina (10) přiváděná přírodní trubicí (6) odvádí alespoň část tepla z chladiva (9) v prostoru (3) pro chladivo (9) daného alespoň jednoho palivového kanálu (1) do nádrže (2) moderátoru.

10. Způsob chlazení palivového kanálu (1) při nehodě podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že chladicí kapalina (10) je oddělená od chladiva (9) stěnou těla palivového kanálu (1) v každém palivovém kanálu (1).

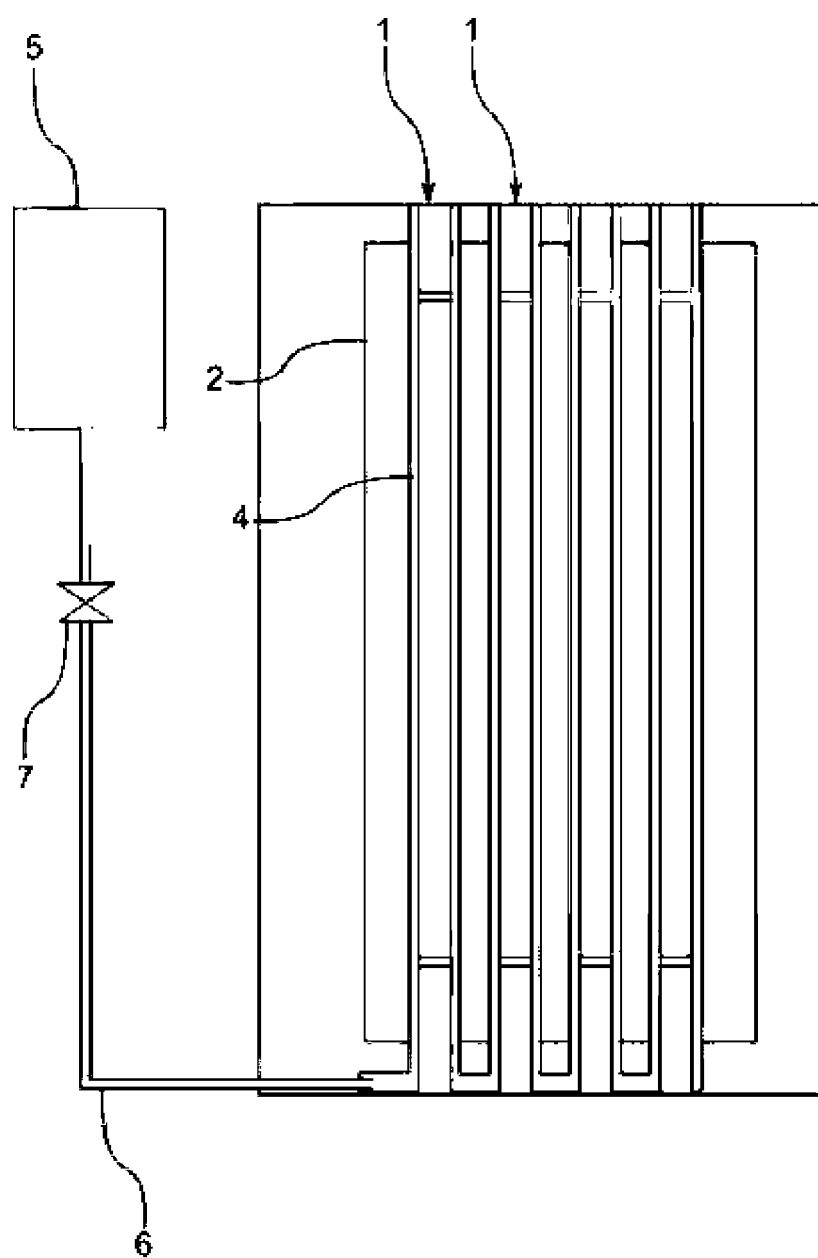
11. Způsob chlazení palivového kanálu (1) při nehodě podle kteréhokoliv z nároků 6 až 8, **vyznačující se tím**, že nehoda je nehodou se ztrátou chladiva (9), přičemž chladicí kapalina (10) přiváděná přívodní trubicí (6) teče z prostoru (4) pro izolační vrstvu (11) daného alespoň jednoho palivového kanálu (1) do jeho prostoru (3) pro chladivo (9).

5

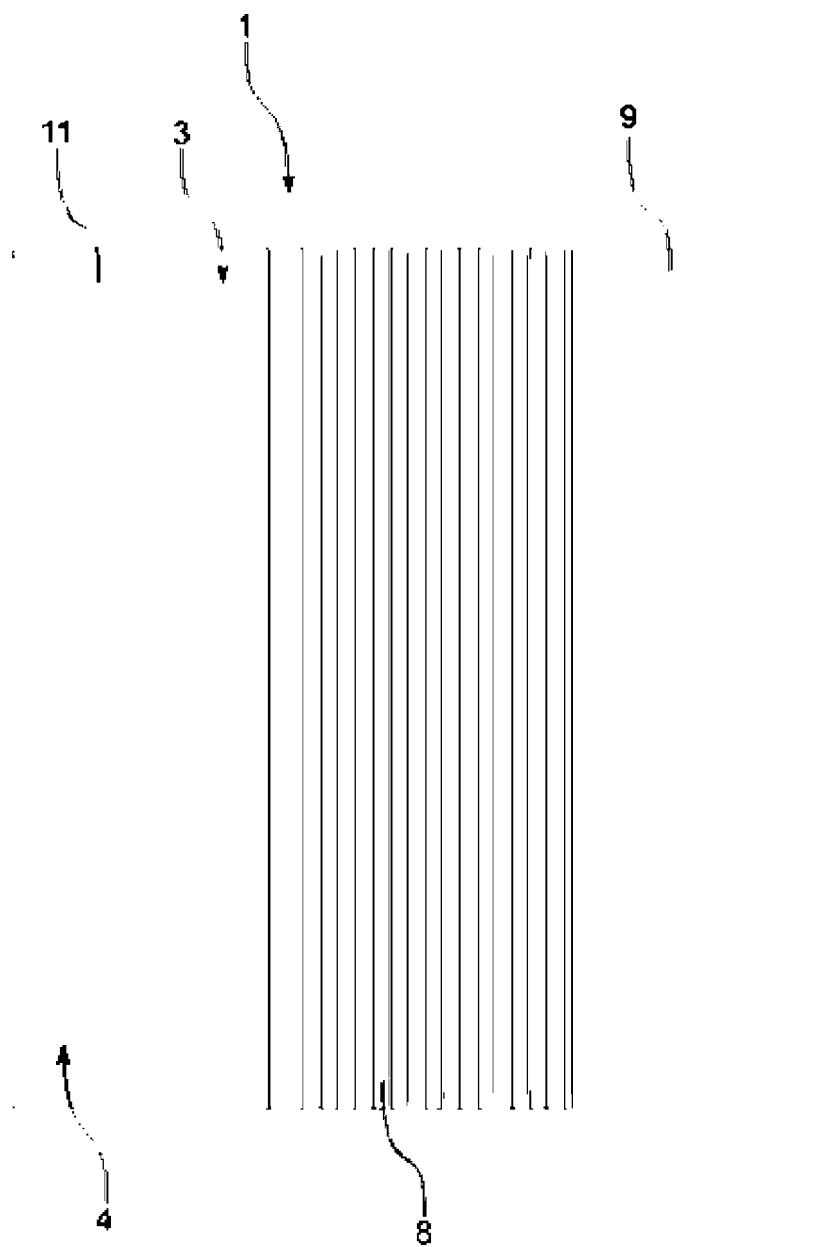
7 výkresů

Seznam vztahových značek:

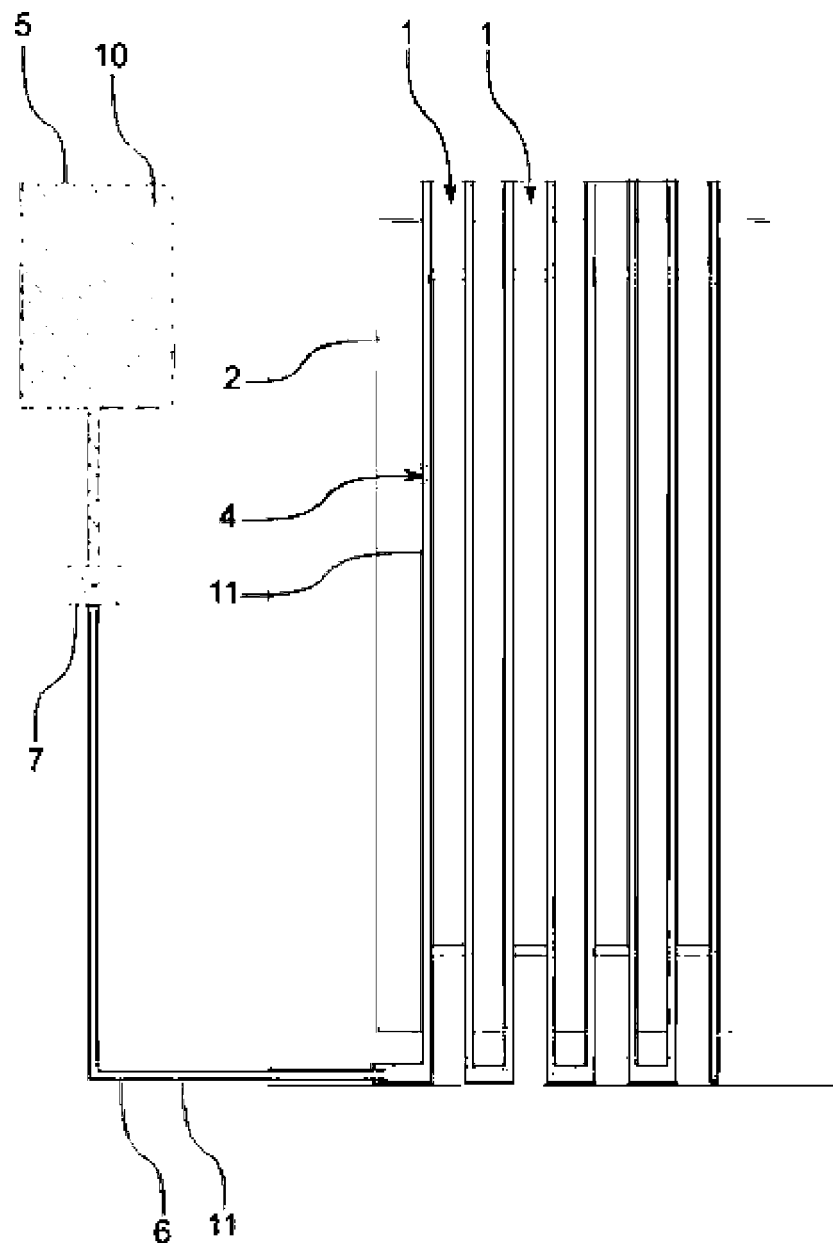
- 1 - Palivový kanál
- 2 - Nádrž moderátoru
- 3 - Prostor pro chladivo
- 4 - Prostor pro izolační vrstvu
- 5 - Nádrž pro chladicí kapalinu
- 6 - Přívodní trubice
- 7 - Ventil pro regulaci přívodu chladicí kapaliny
- 8 - Palivový soubor
- 9 - Chladivo
- 10 - Chladicí kapalina
- 11 - Izolační vrstva
- 12 - Defekt
- 13 - Řídicí jednotka
- 14 - Teplotní senzor
- 15 - Senzor pro snímání množství chladiva



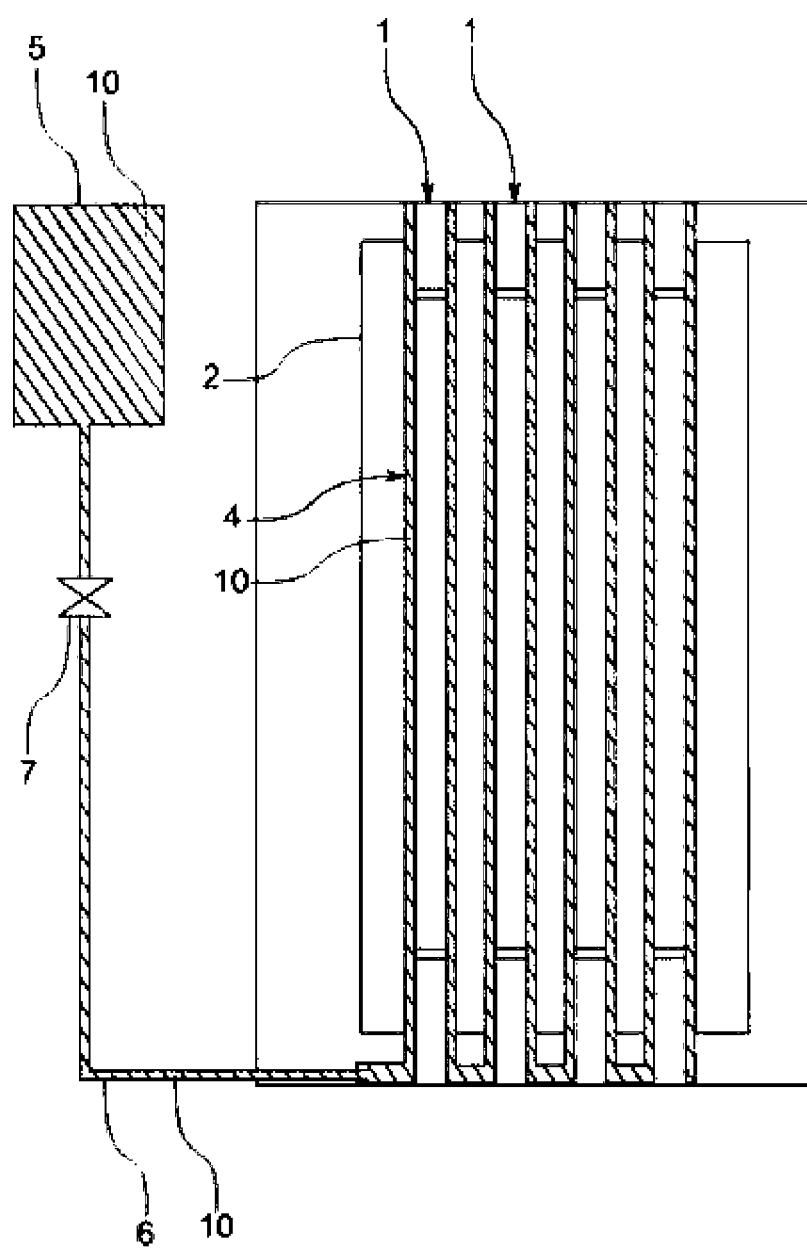
Obr. 1



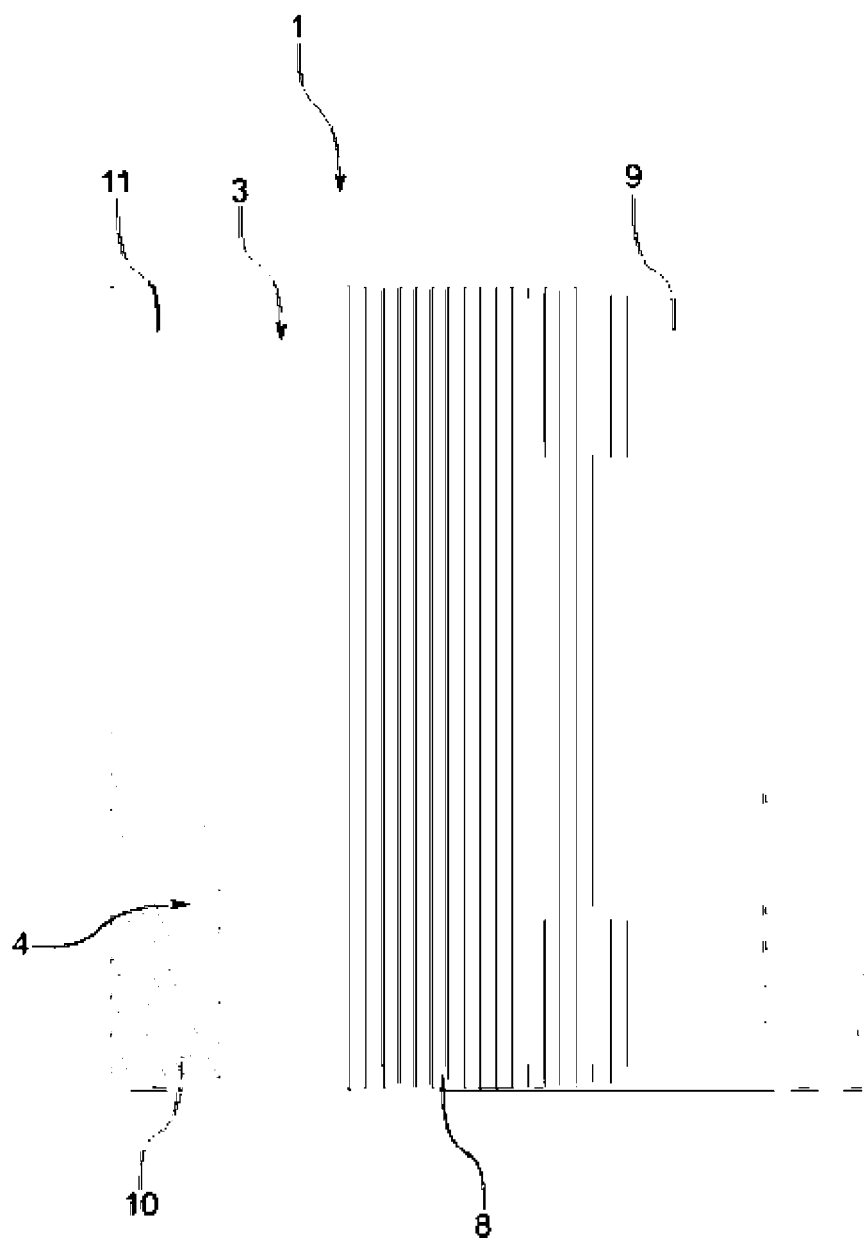
Obr. 2



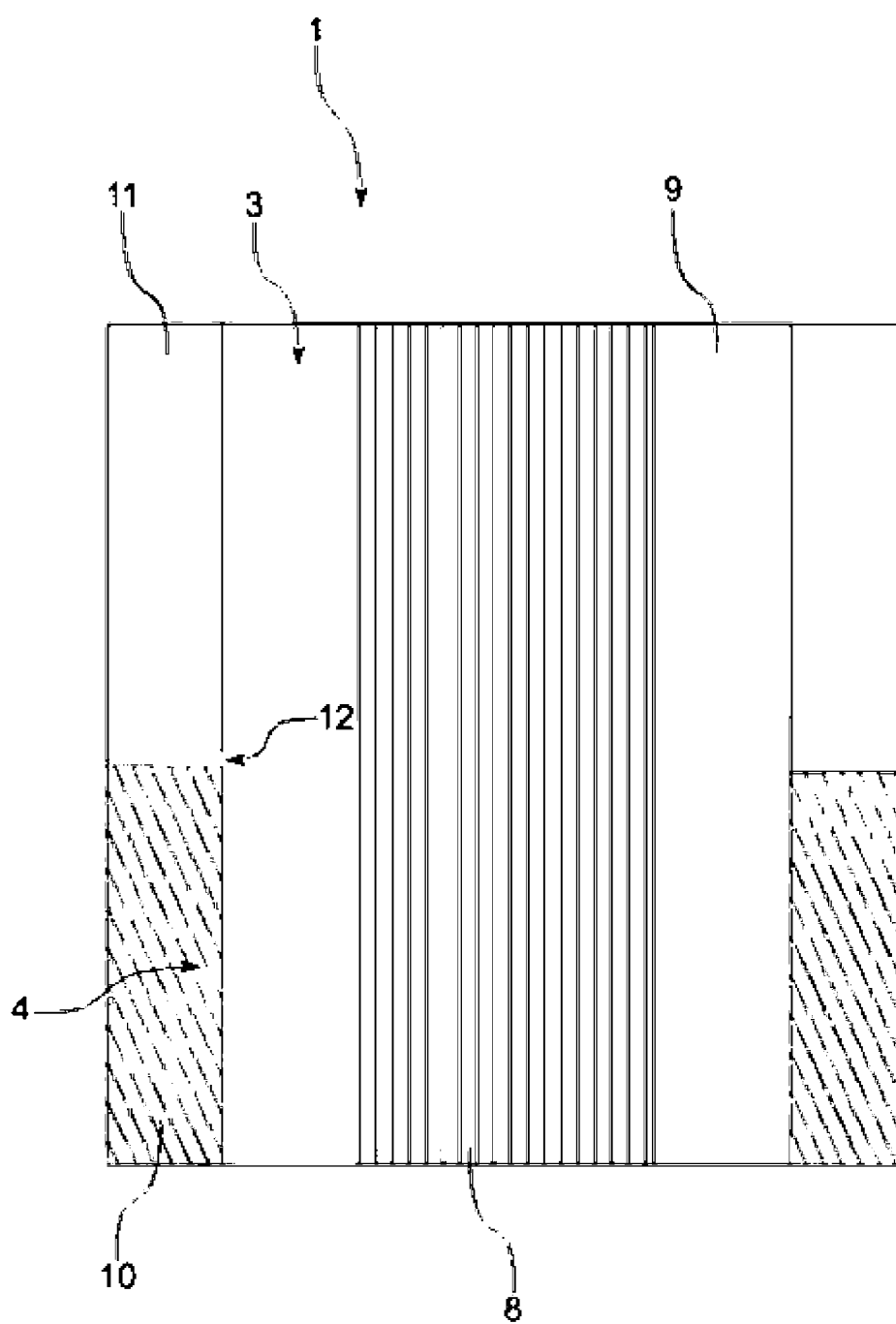
Obr. 3



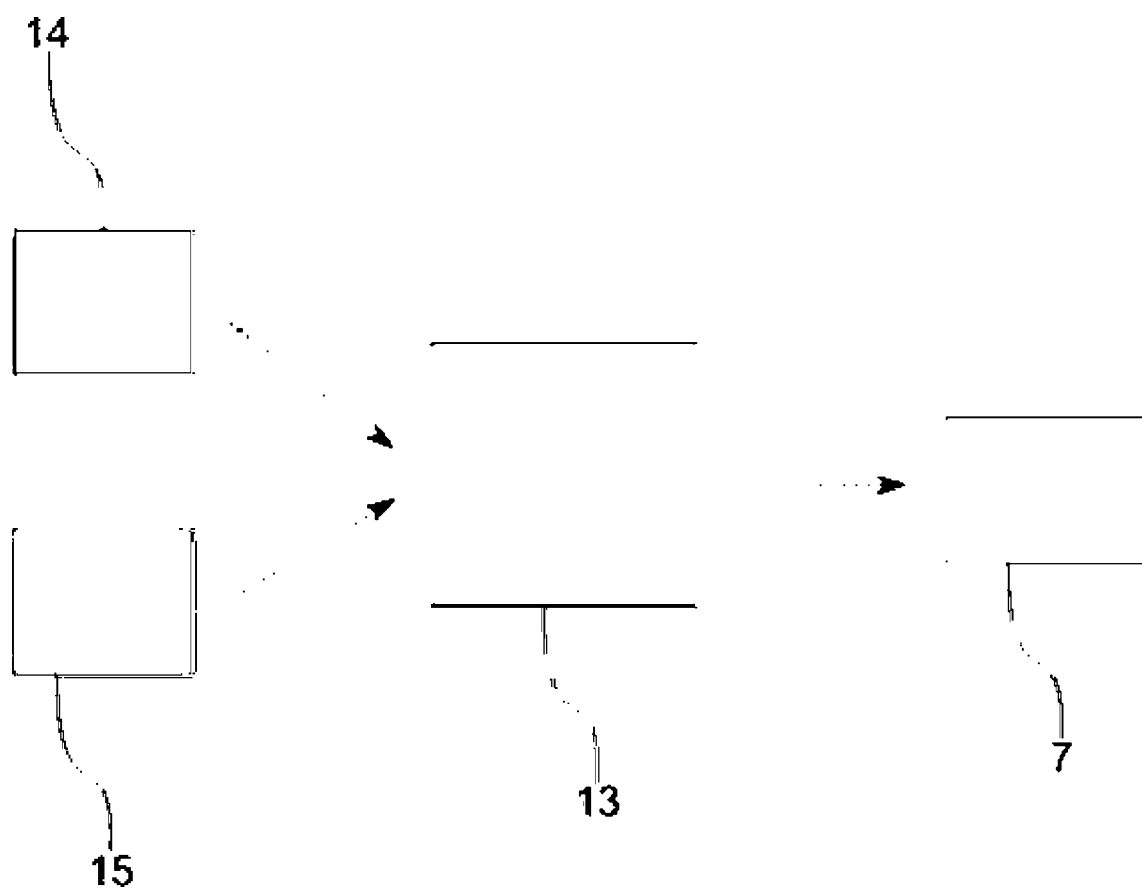
Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7