

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2016-626**
(22) Přihlášeno: **07.10.2016**
(40) Zveřejněno: **27.06.2018**
(Věstník č. 26/2018)
(47) Uděleno: **16.05.2018**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **27.06.2018**
(Věstník č. 26/2018)

(56) Relevantní dokumenty:

EP 58956; DE 3438211; CZ 286603.

(73) Majitel patentu:
ŠKODA JS a.s., Plzeň, CZ
PZP KOMPLET a.s., Dobruška, CZ

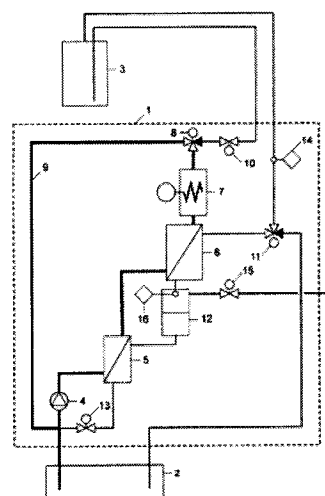
(72) Původce:
Pavel Brich, Plzeň, CZ
Jan Prokop, Opočno, CZ

(74) Zástupce:
TRAPLOVÁ-HAKR-KUBÁT
Advokátní a patentová kancelář, Mgr. Jana
Šuranová Traplová, advokátka, Přístavní 24, 170 00
Praha 7

ohřívacem (7) a obalovým souborem (3) je
uspořádán regulační člen (10) a na výstupu
z obalového souboru (3) je uspořádáno tlakové čidlo
(14).

(54) Název vynálezu:
**Způsob zpětného zavodnění obalového
souboru s použitým jaderným palivem a
systém pro provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:
Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s
použitým jaderným palivem, zejména v ochranné
atmosféře helia, probíhá tak, že se chladicí voda
čerpá ze zásobníku vody do obalového souboru s
použitým jaderným palivem, přičemž tato chladicí
voda se nejprve předeřívá na teplotu nižší, než je
teplota bodu varu chladicí vody při tlaku v obalovém
souboru, načež se přivádí do obalového souboru, kde
v tomto obalovém souboru se přivedená chladicí
voda jednak vypařuje stykem s povrchem použitého
jaderného paliva pro chlazení použitého jaderného
paliva vypařováním chladicí vody a jednak se
obalový soubor postupně odspodu zaplavuje,
přičemž se v obalovém souboru udržuje alespoň
atmosférický tlak. Systém pro provádění tohoto
způsobu obsahuje nádrž (2) s chladicí vodou,
samostatný ohříváč (7), jehož výstup je hydraulicky
připojitelný k obalovému souboru (3), čerpadlo (4),
zapojené pro čerpání chladicí vody z nádrže (2) přes
samostatný ohříváč (7) do obalového souboru (3),
a dále kondenzační člen (6) připojitelný k výstupu
z obalového souboru (3), přičemž mezi samostatným



Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem a systém pro provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález se týká systému pro zpětné zavodnění obalového souboru, obsahujícího použité jaderné palivo, a také způsobu zpětného zavodnění obalového souboru, obsahujícího použité jaderné palivo, přičemž použité jaderné palivo je uvnitř obalového souboru obklopeno ochrannou plynovou atmosférou, zejména heliem. Tyto obalové soubory se používají pro přepravu a/nebo skladování použitého jaderného paliva. Zpětné zavodnění obalového souboru, při kterém dochází ke chlazení a zaplavení obalového souboru, se uskutečňuje chladicí vodou, odebíranou ze zásobníku vody. Při provádění způsobu zpětného zavodňování podle vynálezu se nejprve odvádí teplo z obalového souboru vypařováním chladicí vody při tlaku alespoň stejném nebo vyšším než je atmosférický tlak a v další fázi se odvádí teplo z obalového souboru ohřevem chladicí vody za atmosférického tlaku. Chladicí voda, přiváděná ze zásobníku vody, se před přivedením do obalového souboru předehřívá.

20 Dosavadní stav techniky.

Obalové soubory pro přepravu a/nebo skladování, naplněné použitým jaderným palivem, trvale produkují teplo, které se přirozeně odvádí do prostoru, ve kterém se tyto obalové soubory skladují a z tohoto prostoru se teplo přirozeně odvádí do volného prostoru. Za určitých okolností je třeba obsah obalového souboru zchladit a zavodnit, což je v této přihlášce nazýváno zpětným zavodněním. Zpětné zavodnění obalového souboru zajišťuje systém, který se v rámci vynálezu označuje jako systém pro zpětné zavodňování.

Nejjednodušší používaný způsob zpětného zavodňování obalového souboru spočívá v tom, že voda se přivádí čerpadlem ze zásobníku vody do obalového souboru. Za situace, kdy má použité jaderné palivo teplotu vyšší, než je teplota varu vody, se toto palivo ochlazuje vypařováním vody. Vznikající pára se zavádí do zásobníku vody, kde kondenzuje. S vodní parou je odváděno i helium, vytvářející ochrannou atmosféru, které se musí vhodným způsobem oddělit a odvést. Po zchlazení palivových souborů na teplotu nižší, než teplota varu vody, voda protéká přes obalový soubor a vrací se do zásobníku vody tak dlouho, až je obalový soubor s palivovými soubory vychlazen na požadovanou teplotu.

Patent CZ 286603 popisuje technicky mnohem náročnější způsob spočívající vtom, že pomocí čerpacího zařízení dopravujícího plyny se v obalovém souboru vytvoří podtlak. Čerpací zařízení odvádí i helium, které v obalovém souboru vytvářelo ochrannou atmosféru. Voda pro chlazení a zavodňování se pak přivádí do obalového souboru, ve kterém je tlak nižší než atmosférický, kterému odpovídá i nižší teplota varu vody. Chlazení vypařující se vodou, které je mnohem intenzivnější vzhledem k vyššímu přestupu tepla při změně skupenství, než chlazení ohřevem vody při výrazně nižším přestupu tepla, pak probíhá do nižších teplot než při chlazení vypařující se vodou za atmosférického tlaku. Obalový soubor se tedy ochladí rychleji.

Zásadní nevýhodou známých způsobů je, že do obalového souboru se přivádí voda ze zásobníku, která má relativně nízkou teplotu kolem 30 až 35 °C. Protože použité jaderné palivo v obalovém souboru má průměrnou teplotu kolem 150 °C, tedy výrazně vyšší, než je teplota přiváděné vody, způsobí kontakt vody s palivem tzv. teplotní šok, který vyvolá tepelný šok, tj. velice intenzivní sdílení tepla a rychlé ochlazování palivových souborů, což není žádoucí, protože může vést k poškození použitého jaderného paliva. U způsobu chlazení a zavodňování při podtlaku v obalovém souboru teplotní šok dále zvýrazňuje tepelný šok tím, že uvedený vysoký teplotní rozdíl je provázen i intenzivnějším sdílením tepla.

Podstata vynálezu

Tuto nevýhodu odstraňuje způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle prvního aspektu tohoto vynálezu, podle kterého se při provádění tohoto zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem, zejména obalového souboru obsahujícího ochrannou atmosféru helia, snižuje teplotní i tepelný šok způsobený přiváděním chladicí vody do obalového souboru, při němž podle tohoto způsobu se chladicí voda, čerpaná ze zásobníku vody do obalového souboru s použitým jaderným palivem, nejprve předeřívá, a to na teplotu nižší, než je teplota bodu varu chladicí vody při tlaku v obalovém souboru a pak se přivádí do tohoto obalového souboru, ve kterém se přivedená chladicí voda jednak vypařuje stykem s povrchem použitého jaderného paliva pro chlazení použitého jaderného paliva vypařováním chladicí vody a jednak se obalový soubor postupně odspodu zaplavuje, přičemž se v obalovém souboru udržuje alespoň atmosférický tlak. Termínem "předeřívání" se ve smyslu této přihlášky míní činnost, při které se teplota chladicí vody ohřeje na vyšší teplotu, než by měla bez předeřívání. Výhodně se potom množství přiváděné chladicí vody řídí tak, že teplota vody v již zaplavené části obalového souboru, nacházející se pod souvislou hladinou vody, je nižší než je teplota varu vody při tlaku v obalovém souboru a var chladicí vody probíhá pouze v aktivní vrstvě vody nad souvislou hladinou vody, přičemž přiváděné množství vody způsobí v každém časovém intervalu posunutí aktivní vrstvy vody o výšku, ve které za tento časový interval klesne teplota vody pod bod varu, přičemž se o stejnou výšku zvýší souvislá hladina, a po úplném zaplavení obalového souboru se pokračuje v cirkulaci chladicí vody obalovým souborem pro jeho další ochlazování. Souvislou hladinou se pro účely této přihlášky rozumí hladina vody v obalovém souboru, ve které již neprobíhá var. Aktivní vrstvou vody se pro účely této přihlášky rozumí vrstva chladicí vody v obalovém souboru, ve které probíhá var, tj. teplota vody v této aktivní vrstvě je rovna teplotě varu při daném tlaku v obalovém souboru. Pokud se v obalovém souboru udržuje tlak vyšší než atmosférický, napomáhá tento vyšší tlak k dalšímu snížení tepelného šoku pro jaderné palivo.

Podle dalšího aspektu tohoto vynálezu je poskytnut systém pro zpětné zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem, obsahující nádrž s chladicí vodou a čerpadlo, zapojené pro čerpání chladicí vody z nádrže do obalového souboru, jehož podstatou je, že dále obsahuje samostatný ohřívač chladicí vody pro její předeřev, jehož výstup je hydraulicky připojitelný k obalovému souboru, a kondenzační člen připojitelný k výstupu z obalového souboru, přičemž čerpadlo je zapojené pro čerpání chladicí vody z nádrže do obalového souboru přes uvedený samostatný ohřívač, mezi samostatným ohřívačem a obalovým souborem je uspořádán regulační člen a na výstupu z obalového souboru je uspořádáno tlakové čidlo. Ohřívač pro předeřev chladicí vody může být proveden pomocí vhodných technických prostředků, např. jako elektrický či jiný ohřívač. Zvláště výhodně je ohřívač proveden jako elektrokotel. Prostředky, zajišťující předeřev chladicí vody před jejím přivedením do obalového souboru, lze i výhodně vhodně kombinovat, jak bude popsáno i dále v příkladech provedení. Zvláště výhodně se pro předeřev chladicí vody využívá kondenzační teplo vodních par, které vznikají při chlazení obalového souboru vypařováním chladicí vody, a případně i teplo odváděného kondenzátu, a to prostřednictvím vhodných tepelných výměníků. Vzniklý kondenzát se výhodně zavádí zpět do sání čerpadla, dopravujícího chladicí vodu do obalového souboru, přičemž v sání čerpadla dochází ke směšování kondenzátu s chladicí vodou čerpanou ze zásobníku do obalového souboru. Jak již bylo uvedeno, předeřev chladicí vody je možné zajistit samostatným tepelným zdrojem, nezávislým na předeřevu a založeným na odebrání tepla vzniklého při ochlazování obalového souboru. Termínem ochlazování obalového souboru se pro účely této přihlášky myslí ochlazování vnitřku obalového souboru, zejména ochlazování jaderného paliva uloženého v tomto obalovém souboru.

Při využití předeřevu chladicí vody kondenzačním teplem se tento zvláště výhodně kombinuje s předeřevem samostatným tepelným zdrojem, který se výhodně využívá při zahájení zpětného zavodňování obalového souboru, tj. při najíždění systému pro zpětné zavodňování do provozu. V té době se totiž předeřev chladicí vody ještě nedá zajistit využitím kondenzačního tepla a tepla

odváděného kondenzátu, protože oba pro to potřebné zdroje nejsou ještě k dispozici. Činnost přehřevu chladicí vody tedy přebírá samostatný zdroj tepla, např. elektrokotel. Zpětným zavodněním se pro účely této přihlášky rozumí zavodnění obalového souboru po jeho naplnění použitým jaderným palivem a následném odvodnění a vysušení, které je potřebné pro dlouhodobé skladování použitého jaderného paliva v obalovém souboru. Jak již bylo řečeno dříve, ke zpětnému zavodnění obalového souboru, obsahujícího použité jaderné palivo, dochází v situacích, kdy je zapotřebí obalový soubor opět otevřít, např. při zjištění netěsnosti uzavřeného obalového souboru. Přehřevem se pak pro účely této přihlášky rozumí ohřívání chladicí vody na teplotu vyšší, než je její přirozená teplota, např. teplota vody v bazénu s jaderným palivem, ze kterého se chladicí voda odebírá.

Objasnění výkresů

Obr. 1 – Schéma zapojení systému pro zpětné zavodňování způsobem podle tohoto vynálezu v prvním provozním režimu – najíždění systému do provozu.

Obr. 2 – Schéma zapojení systému pro zpětné zavodňování způsobem podle tohoto vynálezu v druhém provozním režimu – první fázi chlazení; chlazení vypařující se vodou a ohřevem přehřáté chladicí vody.

Obr. 3 – Schéma zapojení systému pro zpětné zavodňování způsobem podle tohoto vynálezu ve třetím provozním režimu – druhé fázi chlazení; chlazení ohřevem chladicí vody.

Obr. 4 – Průběh teplot v obalovém souboru, tvořeném tělesem obalového souboru a vestavbou s palivovými soubory.

Obr. 5 – Princip postupu zaplavyování obalového souboru v průběhu první fáze chlazení.

Obr. 6 – Zjednodušeně znázorněný průběh teplot v obalovém souboru v první fázi chlazení.

Obr. 7 – Zjednodušeně znázorněný průběh teplot v obalovém souboru ve druhé fázi chlazení po první obměně náplně vody.

Obr. 8 – Zjednodušeně znázorněný průběh teplot v obalovém souboru ve druhé fázi chlazení po druhé obměně náplně vody.

Obr. 9 – Zjednodušeně znázorněný průběh teplot v obalovém souboru ve druhé fázi chlazení po třetí obměně náplně vody.

Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález bude jasněji pochopitelný z následujících příkladů provedení a z připojených obrázků. Je důležité si povšimnout, že v příkladech provedení představený systém pro zpětné zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem představuje pouze výhodné provedení tohoto vynálezu, sloužící k jeho lepšímu pochopení a rovněž k ilustraci provádění způsobu zpětného zavodnění podle dalšího aspektu tohoto vynálezu. Na obr. 1 až 3 je znázorněn zvláště výhodný příklad provedení systému pro zpětné zavodnění obalového souboru 3 obsahující použité jaderné palivo, uložené v obalovém souboru 3 v ochranné heliové atmosféře. Takovéto obalové soubory 3 se používají pro přepravu a/nebo skladování použitého jaderného paliva. Systém vyobrazený na obr. 1 až 3 je zvláště výhodný k provádění způsobu zpětného zavodnění podle dalšího aspektu tohoto vynálezu, avšak v žádném případě by neměl být interpretován v jakkoliv omezujícím smyslu, zejména s ohledem na požadavek přítomnosti všech jeho zde představených komponent. Odborníkovi je zřejmé, že je možno navrhnout i jednodušší provedení systému pro zpětné

zavodnění, takže tento vynález je definován pouze připojenými nároky a nikoliv tímto příkladem provedení.

V provedení systému 1 zpětného zavodnění obalového souboru dle obr. 1 až 3, použitelném k provádění způsobu zpětného zavodnění podle vynálezu, se chladicí voda vede ze zásobníku 2 potrubím s čerpadlem 4 přes rekuperační výměník 5 tepla přes kondenzační člen 6, výměník, do samostatného ohřívače 7, jehož výstup je potrubím spojen přes první přepojovací ventil 8, kterým je v tomto příkladu provedení zvláště výhodně trojcestný ventil, a vtokový regulační ventil 10 do vstupu obalového souboru 3. První přepojovací ventil 8 má svůj druhý výstup zapojen do obtoku 9, který na své druhé straně ústí do potrubí před čerpadlem 4. Výstup z obalového souboru 3 je potom zapojen přes druhý přepojovací ventil 11 do vstupu kondenzačního členu 6 nebo zpět do zásobníku 2. Jak již bylo uvedeno, termínem "samostatný ohřívač" je ve smyslu tohoto vynálezu myšlen ohřívač, který je schopen zajistit přehřev chladicí vody nezávisle na teple vzniklém v systému při ochlazování obalového souboru. Zvláště výhodně je příkladem samostatného ohřívače 7 elektrokotel, ale může jím být jakýkoliv ohřívač se samostatným zdrojem tepla nezávislým na teple získaném při chlazení předmětného obalového souboru. Samostatný ohřívač 7 v příkladu provedení výhodně zastává současně funkci provozního zásobníku přehřáté chladicí vody pro zajištění dostatečného množství přehřáté chladicí vody po přepojení systému do provozního režimu, ve kterém začne probíhat vlastní zpětné zavodňování obalového souboru. V tomto provozním režimu nejprve dochází k chlazení obalového souboru 3 vypařující se přehřátou chladicí vodou. Jak již bylo zmíněno, v popsaném příkladu provedení se jedná pouze o zvláště výhodné provedení systému podle tohoto vynálezu, který je možno modifikovat podle potřeby. Je možné vytvořit například takové příklady provedení systému podle tohoto vynálezu, ve kterých se chladicí voda přehřívá pouze v samostatném ohřívači 7, zatímco vodní páry kondenzují v kondenzačním členu 6 bez využití jejich tepla pro přehřev chladicí vody, resp. bez využití tepla kondenzátu, dále je možné uchovávat přehřátou chladicí vodu v samostatném zásobníku mimo samostatný ohřívač 7 a další varianty, které umožní provádět způsob zpětného zavodnění obalového souboru, třebaže budou provozně nebo výrobně nákladnější.

Obr. 1 představuje zapojení výhodného provedení systému podle tohoto vynálezu v prvním provozním režimu, kde je silnou čarou naznačeno zapojení systému a oběh chladicí kapaliny při najíždění tohoto systému do provozu, tj. v prvním provozním režimu, ve kterém probíhá zavodnění systému a přehřátí chladicí vody. Chladicí voda se čerpá ze zásobníku 2 vody čerpadlem 4 přes rekuperační výměník 5, přes kondenzační člen 6, kterým je v tomto příkladu provedení kondenzační výměník tepla, a dále přes další samostatný ohřívač 7 do prvního přepojovacího ventilu 8, který je v tomto režimu přestaven tak, že vrací chladicí vodu zpět obtokem 9 do sání čerpadla 4. V prvním provozním režimu oba výměníky tepla nevykazují žádnou funkci, protože do obalového souboru 3 ještě neproudí chladicí voda, takže druhými stranami výměníků tepla zatím neprotéká žádná látka. Po zaplnění zkráceného okruhu systému 1, vedeného díky nastavení prvního přepojovacího ventilu 8 přes obtok 9, chladicí vodou, případně po jeho odvzdušnění nezakresleným ventilem, chladicí voda cirkuluje v tomto zkráceném okruhu systému 1 a postupně se ohřívá v samostatném ohřívači 7, až dosáhne požadované teploty, která je vyšší než teplota vody v bazénu s chladicí vodou. Požadovanou teplotou přehřáté chladicí vody může například být alespoň cca 50 °C, výhodněji alespoň 70 °C a zvláště výhodně pak je teplota přehřáté chladicí vody v rozmezí cca. 90 °C až 95 °C. Teplota přehřáté chladicí vody 90 °C až 95 °C je zvláště výhodná, neboť se tak dosáhne co nejmenšího teplotního šoku při ochlazování použitého jaderného paliva. Teplotním šokem se pro účely této přihlášky rozumí skoková změna teploty povrchu použitého jaderného paliva, vedoucí k riziku poruchy jeho struktury, přičemž k této skokové změně teploty dochází v důsledku rozdílu teploty chladicí vody a teploty povrchu použitého jaderného paliva. Navíc se přehřátím chladicí vody urychlí dosažení rovnovážného stavu v aktivní vrstvě chladicí vody při zaplavitování použitého jaderného paliva v průběhu procesu zpětného zavodňování obalového souboru, viz dále.

Po ohřátí chladicí vody, cirkulující v uvedeném zkráceném okruhu systému 1 pro zpětné zavodňování, na požadovanou teplotu, v daném příkladu provedení na teplotu cca 90 °C až

95 °C, se systém 1 pro zpětné zavodňování přepojí do druhého provozního režimu, znázorněném na obr. 2, ve kterém se započne první fáze chlazení obalového souboru 3, při které dochází k chlazení vestavby s použitým jaderným palivem vypařující se vodou, respektive za současného ohřevu této předehřáté chladicí vody v obalovém souboru 3 jejím stykem s povrchem použitého jaderného paliva, resp. vestavby s tímto palivem, na teplotu bodu varu chladicí vody. Zmíněné přepojení do druhého provozního režimu se provede přestavením prvního přepojovacího ventilu 8 do polohy, ve které se předehřátá chladicí voda začne přepouštět přes regulační ventil 10 do obalového souboru 3. Regulační ventil 10 je v tu chvíli otevřen, takže do obalového souboru 3 začne proudit chladicí voda, přičemž se tato chladicí voda přivádí ke dnu obalového souboru 3, takže voda začne použité jaderné palivo zaplavovat zespod. Vlastní postup zaplavyování obalového souboru 3 v průběhu procesu zpětného zavodňování podle tohoto vynálezu bude popsán dále. Použité jaderné palivo v obalovém souboru 3 má průměrnou povrchovou teplotu větší než 150 °C, v ose obalového souboru 3 povrchovou teplotu dokonce i kolem 200 °C, takže přivedená předehřátá chladicí voda se v obalovém souboru 3 vypaří, neboť teplota povrchu použitého jaderného paliva je vyšší než je teplota varu vody za atmosférického tlaku, který je při zahájení procesu zpětného zavodňování v obalovém souboru 3, resp. je vyšší i než je teplota varu vody za zvýšeného tlaku který v obalovém souboru 3 při provádění způsobu zpětného zavodňování podle tohoto vynálezu v důsledku vyvíjených vodních par nastane. Vzniklé vodní páry jsou z obalového souboru 3 odváděny přes druhý přepojovací ventil 11 do druhé strany kondenzačního členu 6 výměníku, ve kterém začnou kondenzovat. Rovněž druhým přepojovacím ventilem 11 je s výhodou v příkladu provedení trojcestný ventil. Takto vzniklý kondenzát odtéká do sběrače 12 kondenzátu, ze kterého dále odtéká přes rekuperační výměník 5 a přes regulační ventil 13 do sání čerpadla 4. Regulační ventil 13 může být řízen jak spojitě, tak i dvoupolohově, v závislosti na výšce hladiny zkondenzované vody ve sběrači 12 kondenzátu.

Vypařování chladicí vody v obalovém souboru 3, respektive vývoj vodních par, se výhodně využívá k tomu, aby při této fázi zpětného zavodňování obalového souboru 3 v něm vznikl tlak vyšší, než je tlak atmosférický pro zvýšení teploty varu chladicí vody. V tomto příkladu provedení tlak páry v obalovém souboru 3 zvláště výhodně dosahuje hodnot v rozmezí 0,1 až 0,2 MPa absolutních, kterému odpovídá teplota varu vody v rozmezí 100 až 120 °C, přičemž systém pro zpětné zavodňování je s výhodou navržen tak, aby se tohoto tlaku dosáhlo bez doplňkových zařízení pro regulaci tlaku uvnitř obalového souboru 3. Dosahovaný pracovní tlak v obalovém souboru 3 v průběhu chlazení by měl být alespoň tak velký, aby umožnil vytlačení vzniklé páry do kondenzačního členu 6 samovolným prouděním páry, tj. bez použití pomocných mechanismů pro dopravu páry z obalového souboru, pokud je kondenzační člen 6 použit. Je ale samozřejmě možné případně dosahovat i vyšších tlaků než 0,2 MPa, pokud to konstrukce systému pro zpětné zavodňování i konstrukce obalového souboru umožňuje. Tím se ještě více sníží teplotní šok při ochlazování použitého jaderného paliva. Množství chladicí vody přiváděné do obalového souboru – zvláště výhodně stanovené, jak je popsáno níže v popisu dynamiky procesu chlazení při provádění způsobu zpětného zavodňování podle tohoto vynálezu – se řídí buď pomocí regulačního ventilu 10 při stálých otáčkách čerpadla 4, nebo regulací otáček čerpadla 4 při stálé poloze regulačního ventilu 10. Zvláště výhodně se množství přiváděné chladicí vody upravuje tak, aby množství vodních par vyvíjených v obalovém souboru 3 za této situace bylo v rovnováze s množstvím kondenzátu vzniklého zkondenzováním vodních par v kondenzačním členu 6, přičemž případný vzniklý nerovnovážený stav se využívá k řízení množství do obalového souboru 3 přiváděné chladicí vody. Případná nerovnováha mezi množstvím přivedené chladicí vody a množstvím vzniklého kondenzátu je výhodně sledována tlakovým čidlem 14, které sleduje buď tlak v obalovém souboru 3, nebo rozdíl tlaků mezi obalovým souborem 3 a okolím. V případě, že v kondenzačním členu 6, výměníku, kondenzuje větší množství, než se vypaří v obalovém souboru 3, sledovaný tlak nebo rozdíl tlaků klesá, pak tato situace vede k pootevření regulačního ventilu 10 a zvýšení přiváděného množství chladicí vody do obalového souboru 3 a tedy i ke zvýšení vypařeného množství chladicí vody. Naopak v případě, že v kondenzačním členu 6 nestačí kondenzovat to množství par, které se vypaří v obalovém souboru 3, sledovaný tlak nebo rozdíl tlaků roste, pak tato situace vede k přivření regulačního ventilu 10 a snížení přiváděného množství chladicí vody do obalového souboru 3 a

tedy i snížení vypařeného množství chladicí vody. Zvláště výhodně se stanoví pracovní rozsah tlaku v obalovém souboru 3, např. 0,15 až 0,2 MPa, kdy při překročení horní meze tohoto pracovního rozsahu tlaku v obalovém souboru 3 se sníží množství přiváděné vody do obalového souboru 3 a naopak při poklesu tlaku v obalovém souboru 3 pod stanovenou dolní mez pracovního rozsahu se množství přiváděné vody do obalového souboru 3 zvýší pro udržování tlaku v obalovém souboru ve stanoveném rozmezí. Změny tlaku v obalovém souboru 3 podporují optimalizaci průběhu chlazení autoregulací, protože nadbytečný přívod vody způsobí zvýšení výkonu chlazení, čímž se zvýší tlak v obalovém souboru 3 a tím i teplota varu chladicí kapaliny, čímž se samočinně sníží odváděný tepelný výkon, protože se zmenší teplotní rozdíl mezi teplotou varu chladicí vody za daného tlaku a teplotou povrchu použitého jaderného paliva, který chladicí výkon určuje, a naopak.

Výše popsaná regulace množství chladicí vody, přiváděné do obalového souboru 3 je zajišťována buď plně automaticky, prostřednictvím na schématech nezakreslené měřicí a regulační techniky, nebo částečně automaticky, tj. zčásti obsluhou a zčásti měřicí a regulační technikou nebo je zajištěna výhradně úkony obslužného personálu.

Výhodou předmětného způsobu zpětného zavodnění obalového souboru 3 je, že nezávisle na regulaci množství přiváděné vody změny tlaku v obalovém souboru 3 podporují autoregulaci chlazení v této fázi zavodňování obalového souboru 3, protože nadbytečný přívod chladicí vody vedoucí ke zvyšování tlaku způsobuje i zvyšování teploty jejího varu, což samočinně snižuje odváděný tepelný výkon a množství vznikajících vodních par tím, že se zmenšuje teplotní rozdíl mezi teplotou chladicí vody a teplotou použitého jaderného paliva v obalovém souboru 3, který odváděný tepelný výkon určuje, a naopak.

Sběrač 12 kondenzátu slouží výhodně i jako odlučovač nekondenzujících plynů, převážně helia, které jsou přiváděnou chladicí vodou vytlačovány z obalového souboru 3 a spolu s vodními parami jsou odváděny do kondenzačního členu 6, kterým projdou do sběrače 12 kondenzátu, kde zůstávají nad hladinou kondenzátu. Odtud se mohou vypouštět regulačním ventilem 15 prostřednictvím nezakresleného odvzdušňovacího zařízení.

Chlazení obalového souboru 3 vypařováním vody se v podstatě uskutečňuje jen v určité vrstvě vody, která se při postupném zavodňování obalového souboru 3 posunuje vzhůru, jak je obalový soubor 3 postupně chladicí vodou zaplavován. Tato vrstva vody se pro účely této přihlášky nazývá aktivní vrstvou chladicí vody, protože v ní probíhá var chladicí vody doprovázený vypařováním chladicí vody. Aktivní vrstva chladicí vody je nahoře ohraničena tzv. volnou hladinou chladicí vody, nad níž je přítomna pouze plynná směs, složená převážně z vodní páry. Dole je aktivní vrstva ohraničena tzv. souvislou hladinou chladicí vody, neboť pod ní má chladicí voda již teplotu menší než je teplota varu chladicí vody za daného tlaku, takže chlazení obalového souboru 3 se pod souvislou hladinou vody uskutečňuje již jen ohřevem přivedené chladicí vody, obklopující použité jaderné palivo bez vzniku par.

Po té, co se obalový soubor 3 zcela zaplaví přiváděnou chladicí vodou a povrch použitého jaderného paliva v obalovém souboru se zchladí pod teplotu varu vody při tlaku udržovaném v obalovém souboru 3, přestanou v obalovém souboru 3 vznikat páry, takže kondenzační člen 6 přestane zastávat svou funkci, v souvislosti s tím poklesne tlak v obalovém souboru 3 sledovaný čidlem 14 na tlak atmosférický, tj. na 0,1 MPa absolutních, regulační ventil 10 se zcela otevře, aby začalo procházet maximální množství chladicí vody. Z obalového souboru 3 přestanou odcházet vodní páry a místo nich bude odcházet chladicí voda, která bude mít za tohoto stavu teplotu nižší než je teplota varu, tj. nižší než 100 °C. Při tom teplota v nejnižším místě obalového souboru 3 bude v daném příkladu provedení cca 80 °C podle obr. 6. Pokud by systém zpětného zavodňování nebo způsob zpětného zavodňování používal k předehřevu chladicí vody jen samostatný ohříváč, jeho činnost by se v tuto chvíli ukončila.

Regulační ventil 13, přepouštějící kondenzát ze sběrače 12 přes výměník 5 do sání čerpadla 4, je výhodně dimenzován tak, že může přepouštět jen množství vody odpovídající druhému provoznímu režimu. Jakmile se začne vracet z obalového souboru 3 chladicí voda, jejíž množství je vyšší než množství kondenzující vody, nestačí regulační ventil 13 toto množství přepouštět a sběrač 12 kondenzátu se zaplňuje vodou. Tento stav indikuje čidlo 16 v nejvyšším místě sběrače 12 kondenzátu a systém 1 pro zpětné zavodňování se přepojí do třetího provozního režimu, kterým je druhá fáze chlazení obalového souboru 3 prováděná již jen ohřevem obíhající chladicí vody. Druhý přepojovací ventil 11 se přestaví tak, aby se chladicí voda, vracející se z obalového souboru 3, přepouštěla zpět do zásobníku 2 vody.

Na obr. 3 je znázorněn systém 1 pro zpětné zavodňování ve třetím provozním režimu, tedy ve druhé fázi chlazení obalového souboru 3 ohřevem chladicí vody. Chladicí voda se čerpá ze zásobníku 2 vody čerpadlem 4 přes rekuperační výměník 5, dále přes kondenzační člen 6 a dále přes samostatný ohřívač 7, přičemž jak oba výměníky tepla, tak samostatný ohřívač 7 nevykazují žádnou funkci, protože druhou stranou rekuperačního výměníku 5 a kondenzačního členu 6 již neprotéká žádná látka a samostatný ohřívač 7 je odstaven z provozu. První přepojovací ventil 8 je nastaven tak, že chladicí voda se zavádí přes zcela otevřený regulační ventil 10 ke dnu obalového souboru 3. Chladicí voda, která již není nijak předehřívána, bude mít za této situace teplotu shodnou jako v zásobníku 2 vody, tj. cca 30 až 35 °C, v obalovém souboru 3 proudí vzhůru, obalový soubor 3 ochlazuje a sama se přitom postupně ohřívá. Ohřátá chladicí voda je zaváděna přes druhý přepojovací ventil 11 zpět do zásobníku 2.

Po přechodu do třetího provozního režimu se může odčerpat vodní náplň ze sběrače 12 kondenzátu a druhé strany kondenzačního členu 6 tak, že se otevře regulační ventil 15 a 13, tím se sběrač 12 kondenzátu zavzdušní a voda je podtlakem v sání čerpadla 4 odvedena nastavenou cestou do zásobníku 2 vody. Po dosažení standardní výšky hladiny ve sběrači 12 kondenzátu se oba regulační ventily 13 a 15 uzavřou.

Ve třetím provozním režimu se chladicí voda v obalovém souboru postupně obměňuje, aniž by docházelo k jejímu vypařování, přičemž se teplota chladicí vody přiváděné do obalového souboru 3 postupně snižuje, takže, teplota obalového souboru 3 postupně klesá. V souvislosti s tím klesá i teplota vracející se chladicí vody, která odchází z obalového souboru 3. Zpětné zavodnění obalového souboru 3 se ukončí, když teplota vody v celém objemu obalového souboru 3 dosáhne stanovené cílové teploty, která bude dostatečně nízká pod bodem varu, aby bylo možné provést potřebnou manipulaci s obalovým souborem 3. Zpětné zavodnění obalového souboru 3 se v daném příkladu provedení ukončí, když teplota v nejnižším místě obalového souboru 3 dosáhne cca 47 °C a teplota v celém objemu obalového souboru 3 dosáhne cílové teploty, kdy bude bezpečně nižší než 50 °C. Teplota vratné chladicí vody je v takovém případě cca. 45 °C podle obr. 9. Cílová teplota 50 °C v obalovém souboru 3 je uvedena jen jako příklad, výhodný v daném příkladu provedení, a zpětné zavodnění se může ukončit i při dosažení jiné teploty obalového souboru 3, pokud to bude požadováno.

Dále následuje popis dynamiky procesu chlazení při provádění způsobu zpětného zavodňování podle tohoto vynálezu

Obalový soubor je tvořen tělesem obalového souboru, vestavbou, obsahující použité jaderné palivo a konstrukční prvky pro jeho fixaci uvnitř obalového souboru, a systémem uzavíracích vík. Pro účely této přihlášky se termín vestavba používá ve stejném smyslu, jako termín použité jaderné palivo, přičemž oba termíny mohou být zaměňovány, avšak význam je stále stejný. Pro sledování dynamiky procesu chlazení při zavodňování obalového souboru bude dále popsán průběh teplot v celém obalovém souboru, tj. jak v tělese, tak ve vestavbě. Předpokládejme, že celý obalový soubor je fiktivně složen ze soustředných válcových vrstev, rovnoměrně uspořádaných kolem svislé osy obalového souboru. Pak průběh teplot v těchto vrstvách je za zjednodušujících předpokladů znázorněn na obr. 4, přičemž "0" označuje svislou osu obalového souboru. Chlazení obalového souboru vypařující se vodou ve výše popsaném druhém provozním

režimu se v podstatě týká jen jeho vestavby s použitým jaderným palivem, protože jen ta má teplotu vyšší, než je teplota varu vody při atmosférickém nebo vyšším tlaku. V daném příkladu provedení je průměrná teplota vestavby za výchozího stavu cca 150 °C, přičemž vose vestavby je teplota cca 200 °C, která spojitě klesá v radiálním směru na teplotu cca 100 °C na vnějším průměru vestavby.

Pro popis a znázornění dynamiky průběhu chlazení při provádění způsobu zpětného zavodňování je celý obalový soubor na výšku fiktivně rozdělen na 500 stejných elementárních vrstev – tzv. segmentů. Toto rozdělení slouží zejména pro objasnění prováděného zaplavování a je možné provést rozdělení i na jiný počet segmentů, než je zde uvedených 500, aniž by se tím odchýlilo od podstaty tohoto vynálezu. Při provádění způsobu zpětného zavodňování obalového souboru se zaplavování obalového souboru chladicí vodou provádí odspodu, takže tyto fiktivní segmenty se postupně zaplavují a v obalovém souboru stoupá vodní hladina. Fiktivní segmenty jsou natolik malé, že se předpokládá, že v reálném čase se v každém tomto fiktivním segmentu nastolí rovnovážný stav ve sdílení tepla v daném segmentu. Rovnovážným stavem se pro účely této přihlášky rozumí stav, ve kterém v každém segmentu aktivní vrstvy chladicí vody platí termodynamické relace mezi sdíleným teplem, tepelným výkonem, teplotami a dobou, za kterou se volná hladina zvýší o výšku jednoho segmentu. Tato doba se zároveň pokládá za dobu nastolení rovnovážného stavu v segmentu. Doba pro nastolení rovnovážného stavu v daném segmentu je přitom dána relací mezi sdíleným teplem a disponibilním tepelným výkonem použitého jaderného paliva. Platí podmínka, že doba pro nastolení rovnovážného stavu v daném segmentu nesmí být delší, než doba, za kterou se segment zaplaví. Z této podmínky vyplývá, při uplatnění termodynamických relací mezi sdíleným teplem, tepelným výkonem, teplotami a dobou zaplavení 1 segmentu, maximální množství chladicí vody, přiváděné do obalového souboru. Výhodně se pracovní množství chladicí vody, resp. její pracovní průtok, stanoví konstantní, při zachování zde uvedené podmínky.

Aktivní vrstva chladicí vody, ve které dochází při provádění způsobu zpětného zavodnění podle tohoto vynálezu k chlazení obalového souboru s použitým jaderným palivem vypařující se chladicí vodou, dopravovanou výše popsaným systémem odpovídá výšce pěti fiktivních segmentů. Při provádění způsobu zpětného zavodnění podle tohoto vynálezu tedy začne docházet nejprve k ochlazení prvních pěti fiktivních segmentů, které dohromady tvoří aktivní vrstvu chladicí vody. Při zaplavování těchto segmentů se v čase snižuje teplota vestavby, obsahující použité jaderné palivo, z průměrné teploty vestavby, měřeno v horní úrovni aktivní vrstvy chladicí vody, na teplotu varu vody v dolní úrovni aktivní vrstvy chladicí vody. Čas, za který dojde k zaplavení jednoho segmentu, který má výšku 1/5 aktivní vrstvy chladicí vody, je označen τl . Na obr. 5 je diagram ukazující postup zaplavování segmentů a průběh teploty v nejnižším segmentu aktivní vrstvy chladicí vody v čase, přičemž posunem zvýrazněného obdélníku, představujícího daných pět aktivně chlazených segmentů vestavby v daném čase, směrem doprava a vzhůru je znázorněno postupné zaplavování jednotlivých segmentů, ve kterých již jejich teplota povrchu klesla pod teplotu varu chladicí vody. Průběh teploty spodního segmentu z daných pěti aktivně chlazených segmentů je znázorněn bez měřítka, ale ve správných relacích. Systostí výplňové barvy je naznačen tepelný výkon odváděný vypařováním vody. Ve výchozím čase diagramu, kterým je čas $\tau = 5 \times \tau l$, je pokles teploty v prvních pěti segmentech zvýrazněn šipkou směřující dolů. Průběh poklesu teploty v čase pro nejvyšší pátý segment v aktivní vrstvě chladicí vody je naznačen šipkou směřující doprava. Za čas $\tau = 5 \times \tau l$ poklesne teplota ve spodním segmentu z původní teploty vestavby, tedy teploty, kterou vestavba měla před zahájením zavodňování, na teplotu bodu varu, takže se spodní segment začne zavodňovat. V čase $\tau = 6 \times \tau l$ je spodní segment zavodněn a přiváděná voda ochlazuje aktivní vrstvu pěti segmentů, umístěných nad tímto zaplaveným segmentem. Takto pokračuje postupné zavodňování obalového souboru, až v čase $\tau = 10 \times \tau l$ je všech prvních pět segmentů z prvního sloupce diagramu zavodněno a ochlazení pokračuje v pěti segmentech umístěných nad souvislou hladinou vody v obalovém souboru, jak ukazuje poslední sloupec diagramu.

Jak již bylo zmíněno výše, chlazení vestavby obalového souboru vypařující se chladicí vodou výhodně probíhá při tlaku vyšším, než je tlak atmosférický, aby se zvýšila teplota varu chladicí vody přiváděné do obalového souboru. Chlazení vestavby v příkladu provedení probíhá výhodně při tlaku v rozmezí 0,1 až 0,2 MPa absolutních, kterému odpovídá teplota varu vody v rozmezí 100 až 120 °C. Pracovní přetlak v obalovém souboru, při kterém bude proces zpětného zavodňování v první fázi chlazení probíhat, je v daném příkladu provedení zvolen v rozmezí 0,14 až 0,18 MPa, přičemž hodnota přetlaku 0,14 MPa zajistí, že pára odejde z obalového souboru do kondenzačního členu, kde zkondenzuje. Jde však pouze o příklad provedení, ukazující možné hodnoty pro objasnění postupu. Hodnoty tlaku, zejména hodnoty pracovního tlaku, dosahované v jiných konstrukčních provedeních systému podle tohoto vynálezu se mohou odlišovat a budou dány konkrétním vytvořením systému, potřebnými parametry pro spolehlivou funkci kondenzačního členu a dalšími parametry.

Poté, co je prvních pět aktivních segmentů zchlazeno cca na teplotu varu vody při daném tlaku v obalovém souboru, další přívod vody fiktivně posunuje aktivní vrstvu chladicí vody vzhůru a pod ní se obalový soubor zaplazuje vodou, která odvádí teplo svým ohřevem jak z vestavby, tak z tělesa obalového souboru. S ohledem na rozložení teplot v obalovém souboru podle obr. 4 to bude z počátku především z vestavby. Počet zaplavených segmentů, obdélníků podle obr. 5, ve kterých se uskutečňuje chlazení pouze ohřevem přiváděné vody, v čase postupně přibývá. Jsou v diagramu na obr. 5 znázorněny světlejší barvou a šrafované.

S ohledem na vztah mezi povrchem tělesa obalového souboru a povrchem vestavby, které budou v kontaktu s chladicí vodou, tj. vztah vnitřní plochy obalového souboru a ploch použitého jaderného paliva, ochlazovaných chladicí vodou, je povrch ploch použitého jaderného paliva mnohonásobně větší, než je povrch tělesa obalového souboru, bude ochlazování vestavby mnohem intenzivnější než ochlazování tělesa obalového souboru. To je výhodou, protože zpočátku bude teplota vestavby vyšší než tělesa obalového souboru. Oba procesy, tj. chlazení vypařující se vodou v aktivní vrstvě chladicí vody a chlazení ohřevem chladicí vody pod aktivní vrstvou, budou probíhat popsáním způsobem současně do té doby, než dolní úroveň aktivní vrstvy chladicí vody, tvořené pěti segmenty, dostoupí vrcholu obalového souboru, tj. do té doby, než se celý obalový soubor zaplaví vodou.

Chlazení obalového souboru ohřevem chladicí vody probíhá za horších podmínek než chlazení vypařující se vodou. Přestup tepla mezi vestavbou a chladicí vodou, odebírající teplo změnou citelného tepla, je výrazně nižší než přestup tepla při vypařování, kdy teplo je odebíráno změnou skupenství, tj. změnou skrytého tepla. Proto je třeba chlazení ohřevem přehřáté chladicí vody sledovat na větším počtu segmentů.

Sledujeme-li chlazení segmentů obalového souboru, které jsou zaplaveny chladicí vodou, ohřevem této vody, např. v kroku padesáti segmentů, pak v každém kroku je třeba odvést stejné množství tepla. Plocha pro sdílení tepla ale s počtem segmentů narůstá, současně s plochou narůstá i přenášený tepelný výkon a zkracuje se doba pro dosažení rovnovážného stavu mezi množstvím sdíleného tepla mezi obalovým souborem a chladicí vodou a odváděným tepelným výkonem.

Při postupném zaplávání obalového souboru je ve výšce $h = 0 \text{ seg.}$, tj. v úrovni dna, přiváděna voda s teplotou $tw1$ a obalový soubor je postupně ochlazován z počáteční teploty $tn1$ na teplotu $tn2 = tn1 - K1 \cdot (tw2 - tw1)$. Konstanta $K1$ je dána relacemi hmotností a fyzikálních vlastností chlazeného obalového souboru a chladicí vody. V úrovni zaplavené výšky hz , tj. bezprostředně pod pěti segmenty chlazenými vypařující se vodou, tj. pod aktivní vrstvou chladicí vody, musí být teplota vody $tw2 = \sim 100 \text{ °C}$ a teplota obalového souboru je přibližně stejná. Za předpokladu platnosti termodynamických vztahů jsou ve výšce $h = 0 \text{ seg.}$ a ve výšce zaplavení $hz \text{ seg.}$ stále stejné teploty. Průběh rozvrstvení teplot se bude "natahovat". Tyto relace platí při rovnovážném stavu, kdy je splněna podmínka, že doba pro nastolení rovnovážného stavu není delší než doba zaplávání.

Postupné zaplavování obalového souboru chladicí vodou a související průběhy teplot ve vestavbě jsou ve smyslu předchozího odstavce za zjednodušujících předpokladů znázorněny na obr. 6. Průběh teplot v obalovém souboru při zaplavení prvních padesáti segmentů tj. $hz = 50 \text{ seg}$ popisuje zvýrazněný trojúhelník 1, jehož plocha je úměrná množství odvedeného tepla. S ním
 5 koresponduje nezvýrazněný trojúhelník popisující změnu teplot přiváděné vody.

Při zaplavení obalového souboru chladicí vodou např. do výše 300 segmentů, tj. $hz = 300 \text{ seg}$, popisuje průběh teplot oproti stavu při zaplavení 250 segmentů zvýrazněný trojúhelník 2, jehož plocha je úměrná množství odvedeného tepla v těchto 50 segmentech. Množství odvedeného
 10 tepla reprezentované trojúhelníky 1 a 2 je shodné, oba trojúhelníky 1 a 2 mají shodnou základnu 50 segmentů i stejnou výšku, tedy i stejnou plochu.

Obr. 6 popisuje zjednodušený průběh teplot v obalovém souboru v první fázi chlazení, tedy při chlazení vypařující se chladicí vodou, případně i spolu s tím ohřívanou chladicí vodou, která již zaplavila obalový soubor. Obr. 6, je vytvořen za předpokladu, že přiváděná voda je předehřátá na
 15 teplotu $tw1 = \text{cca } 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Další ohřátí na teplotu $tw2 = \sim 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, potřebnou pro chlazení vypařující se vodou, se uskutečňuje chlazením obalového souboru za současného ohřevu chladicí vody.

Při přecházení do druhého pracovního režimu, kdy není potřebné ohřátí vody zajištěno, protože
 20 doba zaplavování je výrazně kratší, než doba potřebná pro dosažení rovnovážného stavu, nastává nerovnovážný stav. Ten je podporován i skutečností, že kondenzační člen, zajišťující hlavní díl předehřevu, nabíhá do funkce až v průběhu přecházení. Před dosažením rovnovážného stavu, tj. za situace, kdy přiváděná chladicí voda bude mít teplotu nižší než teplota varu vody a chladicí
 25 voda se nestačí ohřát na tuto teplotu, bude docházet k tomu, že voda se v mezní vrstvě na povrchu vestavby ohřeje na teplotu varu rychleji než v ostatních vrstvách, dojde k vypařování vody v mezní vrstvě a vzniklé páry ve styku s chladnější vodou v dalších vrstvách zkondenzují a urychlí její ohřev. Dochází k tzv. vnitřní výměně tepla, která výrazně navýší přestup tepla a urychlí nastolení rovnováhy.

Pro co nejrychlejší nastolení výše zmíněného rovnovážného stavu i snížení teplotního šoku u
 30 použitého jaderného paliva v obalovém souboru je proto žádoucí mít při zahájení zpětného zavodnění souboru, tedy ve chvíli přepnutí systému z prvního do druhého pracovního režimu, k dispozici dostatečné množství chladicí vody, předehřáté, např. v elektrokotli resp. jiném samostatném ohřívači, na teplotu blízkou teplotě varu, tj. zvláště výhodně na cca 90 až 95 $^{\circ}\text{C}$, a
 35 její ohřev provádět tak dlouho, až se dosáhne stavu, že přiváděná chladicí voda bude ohřívána obalovým souborem, respektive z počátku zejména vestavbou, která má při zahájení procesu zpětného zavodňování podstatně vyšší teplotu než má těleso obalového souboru.

Obr. 6 odpovídá situaci, kdy končí druhý pracovní režim, tj. fáze chlazení vypařující se vodou a
 40 ohřevem předehřáté chladicí vody, což odpovídá situaci, kdy je obalový soubor zcela zaplaven chladicí vodou. Za této situace, kdy teplota obalového souboru v nejnižším místě, tj. u dna, bude cca 80 $^{\circ}\text{C}$, dojde k přepojení systému pro zpětné zavodnění do třetího provozního režimu, kterým je fáze chlazení obalového souboru ohřevem chladicí vody. Po přecházení do tohoto provozního režimu je zcela odstaven předehřev chladicí vody v obou výměnících a do obalového souboru
 45 bude nadále přiváděna chladicí voda s teplotou, jako je v zásobníku vody, tedy v daném příkladu provedení voda s teplotou cca. 30 až 35 $^{\circ}\text{C}$. Dochází k obměně vody v již zaplaveném obalovém souboru.

Množství chladicí vody, přiváděné ve třetím provozním režimu do obalového souboru, tj. průtok
 50 vody obalovým souborem po jeho úplném zaplavení, jak bylo popsáno výše, již není v této druhé fázi chlazení obalového souboru omezeno podmínkou pro dobu nastolení rovnovážného stavu v aktivní vrstvě vody, jak bylo uplatněno při první fázi chlazení obalového souboru, a může být vyšší, než v první fázi chlazení obalového souboru. Pracovní průtok chladicí vody ve třetím provozním režimu se výhodně stanoví jako konstantní, zvláště výhodně totožný, jako byl ve
 55 druhém provozním režimu.

Průběhy teplot ve třetím provozním režimu, tj. ve fázi chlazení obalového souboru a zejména jeho vestavby již jen ohřevem chladicí vody, jsou za zjednodušujících předpokladů a pro příkladnou cílovou teplotu ukončení zavodnění 50 °C, která bude dosažena v celém objemu obalového souboru, což je znázorněno na obr. 7 až obr. 9. Obr. 7 odpovídá situaci po první
 5 obměně celé vodní náplně v obalovém souboru. Teplota obalového souboru v nejnižším místě bude pak cca 65 °C při teplotě vratné vody cca 80 °C. Po této obměně bude chladicí voda i nadále do obalového souboru přiváděna. Obr. 8 odpovídá situaci po druhé obměně náplně vody v obalovém souboru. Teplota obalového souboru v nejnižším místě bude cca 50 °C při teplotě
 10 vratné vody nižší než 60 °C. Obr. 9 odpovídá situaci po třetí obměně vodní náplně v obalovém souboru. Teplota v celém objemu obalového souboru bude bezpečně nižší než 50 °C při teplotě vratné vody málo vyšší než 45 °C, což je požadovaný stav po zavodnění.

Tím je chlazení obalového souboru dokončeno a systém pro zpětné zavodnění může být odstaven z provozu.

15 Odborníkovi je zřejmé, že v příkladu provedení popsané přehřívání chladicí vody před jejím převedením obalového souboru, prováděné za pomoci samostatného ohříváče 7, kondenzačního členu 6 a rekuperačního ohříváče 5, je jen jedna z možných variant, jak se přehřev chladicí vody může provádět, že je možná řada dalších variant, které jsou ale stále v rozsahu tohoto
 20 vynálezu daném zněním nároků. Jak již bylo uvedeno, přehřev chladicí vody je možné například provádět jen v samostatném ohříváči 7, nebo například jen v kombinaci samostatného ohříváče 7 s kondenzačním členem 6 atd. Stejně tak je možné provést samostatný ohříváč 7 i jinak než jako elektrokotel, například to může být výměník přehříváný horkou vodou nebo
 25 parou ze samostatného zdroje tepla nezávislého na teple použitého jaderného paliva v obalovém souboru, atd. V příkladu provedení popsaný způsob a systém pro zpětné zavodnění slouží zejména pro ilustraci tohoto vynálezu a neměl by být chápán tak, že omezuje tento vynález pouze na popsaný příklad. Stejně tak i další konkrétní údaje teplot a tlaků v příkladech provedení, zejména teploty přehřevu chladicí vody, tlaky v obalovém souboru a další jsou míněny jen jako
 30 zvláště výhodné, ale nikoliv výlučné.

Průmyslová využitelnost

35 Předmět tohoto vynálezu má praktické využití v oboru mírového využívání jaderné energie, zejména v oblasti zacházení s použitým jaderným palivem.

40 PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem, zejména v ochranné atmosféře helia, při němž se chladicí voda čerpá ze zásobníku vody do obalového
 45 souboru s použitým jaderným palivem, **vyznačující se tím**, že chladicí voda se nejprve přehřívá na teplotu nižší, než je teplota bodu varu chladicí vody při tlaku v obalovém souboru, načež se přivádí do obalového souboru, kde v tomto obalovém souboru se přivedená chladicí voda jednak vypařuje stykem s povrchem použitého jaderného paliva pro chlazení použitého
 50 jaderného paliva vypařováním chladicí vody a jednak se obalový soubor postupně odspodu zaplavuje, přičemž se v obalovém souboru udržuje alespoň atmosférický tlak.

2. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že množství chladicí vody přiváděné do obalového souboru se řídí tak, že
 55 teplota vody v již zaplavené části obalového souboru, nacházející se pod souvislou hladinou vody, je nižší než je teplota varu vody při tlaku v obalovém souboru a var chladicí vody probíhá

- pouze v aktivní vrstvě vody nad souvislou hladinou vody, přičemž přiváděné množství vody způsobí v každém časovém intervalu posunutí aktivní vrstvy vody o výšku, ve které za tento časový interval klesne teplota vody pod bod varu, přičemž se o stejnou výšku zvýší souvislá hladina a přičemž po úplném zaplavení obalového souboru se pokračuje v cirkulaci chladicí vody obalovým souborem pro jeho další ochlazování.
3. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že se chladicí voda přehřívá na teplotu alespoň 50 °C.
4. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že se chladicí voda přehřívá na teplotu 90 °C až 95 °C.
5. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že v průběhu chlazení použitého jaderného paliva vypařováním chladicí vody se v obalovém souboru udržuje tlak vyšší než je tlak atmosférický pro zvýšení teploty varu chladicí vody nad 100 °C pro zajištění šetrného chlazení použitého jaderného paliva zmenšením teplotního šoku při jeho chlazení, přičemž tento tlak je nižší, než je maximální přípustný tlak v obalovém souboru.
6. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že se měří tlak na výstupu z obalového souboru, přičemž změřené změny tlaku v obalovém souboru se využívají k dynamickému řízení množství přiváděné chladicí vody zajišťujícímu optimální průběh chlazení, kdy při překročení stanovené horní meze tlaku v obalovém souboru se sníží množství přiváděné vody do obalového souboru a naopak při poklesu tlaku v obalovém souboru pod stanovenou dolní mez tlaku se zvýší množství přiváděné vody do obalového souboru pro udržování tlaku v obalovém souboru ve stanoveném rozmezí, přičemž změny tlaku podporují optimalizaci průběhu chlazení autoregulací, protože nadbytečný přívod vody způsobí zvýšení výkonu chlazení, čímž se zvýší tlak v obalovém souboru a tím i teplota varu chladicí kapaliny, čímž se samočinně sníží odváděný tepelný výkon z obalového souboru, protože se zmenší teplotní rozdíl mezi teplotou varu chladicí vody za daného tlaku a teplotou povrchu použitého jaderného paliva, který chladicí výkon určuje, a naopak.
7. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že výška aktivní vrstvy chladicí vody odpovídá přibližně 1/100 výšky vnitřního prostoru obalového souboru.
8. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že se chladicí voda před jejím přivedením do obalového souboru přehřívá kondenzačním teplem vodních par vzniklých při chlazení použitého jaderného paliva v obalovém souboru.
9. Způsob zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že páry odvedené z obalového souboru kondenzují a vzniklý kondenzát se přepouští do sání čerpadla dopravujícího chladicí vodu ze zásobníku vody do obalového souboru pro zajištění spolehlivého odvodu kondenzátu, přičemž teplem kondenzátu se přehřívá chladicí voda před jejím přivedením do obalového souboru.
10. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 9, **vyznačující se tím**, že se měří teplota na výstupu z obalového souboru a chlazení se ukončí při dosažení teploty bezpečné pro další manipulaci s obalovým souborem.
11. Systém pro provádění způsobu zpětného zavodnění obalového souboru s použitým jaderným palivem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 10, obsahující nádrž (2) s chladicí vodou a čerpadlo (4), zapojené pro čerpání chladicí vody z nádrže (2) do obalového souboru (3), **vyznačující se tím**, že dále obsahuje samostatný ohřívač (7), jehož výstup je hydraulicky připojitelný k

obalovému souboru (3), a kondenzační člen (6) připojitelný k výstupu z obalového souboru (3), přičemž čerpadlo (4) je zapojené pro čerpání chladicí vody z nádrže (2) do obalového souboru (3) přes uvedený samostatný ohřívač (7), mezi samostatným ohřívačem (7) a obalovým souborem (3) je uspořádán regulační člen (10) a na výstupu z obalového souboru (3) je uspořádáno tlakové
5 čidlo (14).

12. Systém podle nároku 11, **vyznačující se tím**, že kondenzační člen (6) je vytvořen pro předeřev chladicí vody a je uspořádán před vstupem do samostatného ohřívače (7).

10 13. Systém podle nároku 12, **vyznačující se tím**, že je dále opatřen rekuperačním výměníkem (5) zapojeným pro přehřev chladicí vody teplem kondenzátu vycházejícího z kondenzačního členu (6).

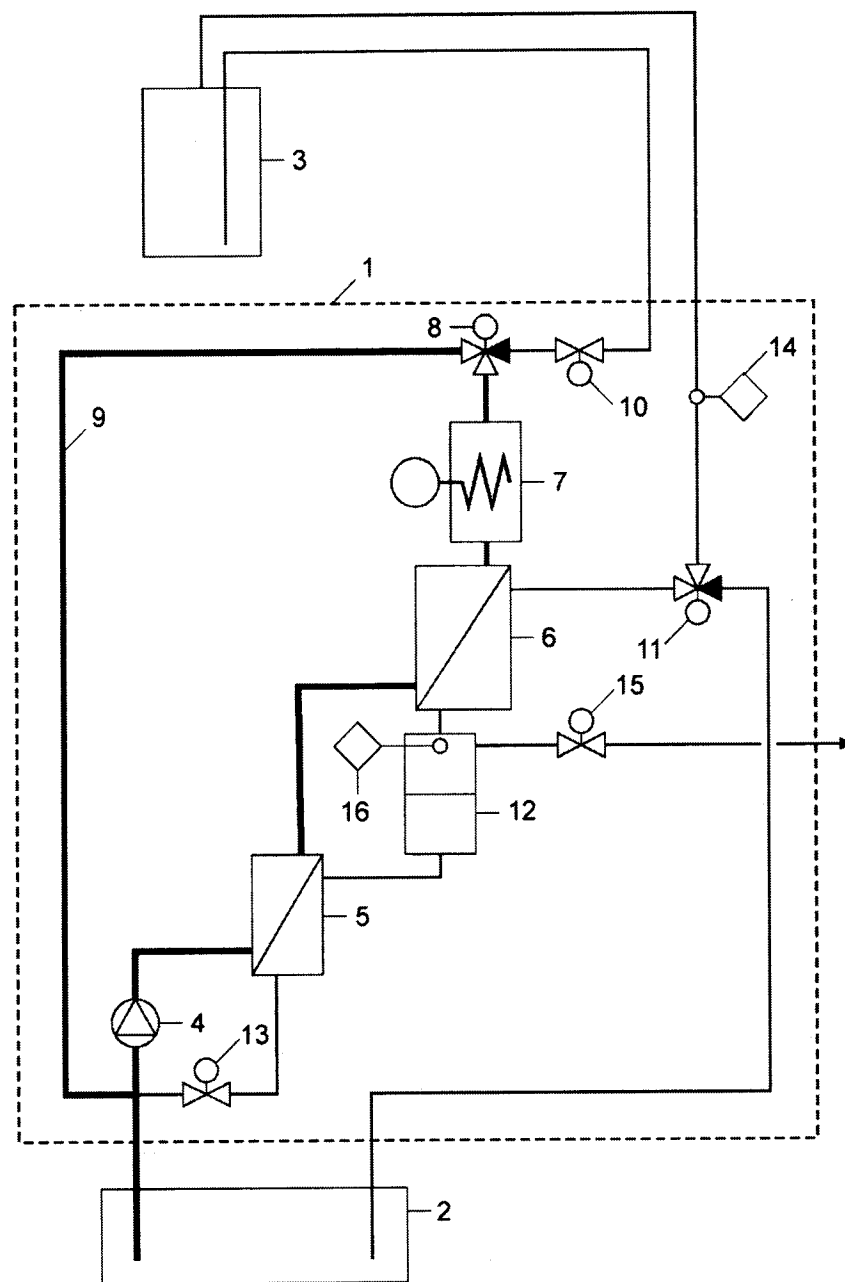
15 14. Systém podle kteréhokoliv z nároků 11 až 13, **vyznačující se tím**, že je opatřen prvním přepojovacím ventilem (8), uspořádaným na výstupu ze samostatného ohřívače (7) pro přepojování chladicí vody buď do obalového souboru (3) nebo do obtoku (9), který je svým druhým koncem zapojen do sání čerpadla (4) pro přehřátí chladicí vody na požadovanou teplotu v samostatném ohřívači (7) při najíždění systému do provozu.

20 15. Systém podle kteréhokoliv z nároků 11 až 14, **vyznačující se tím**, že je opatřen druhým přepojovacím ventilem (11), uspořádaným na výstupu z obalového souboru (3) pro přepojování tohoto výstupu buď do kondenzačního členu (6) nebo do nádrže (2).

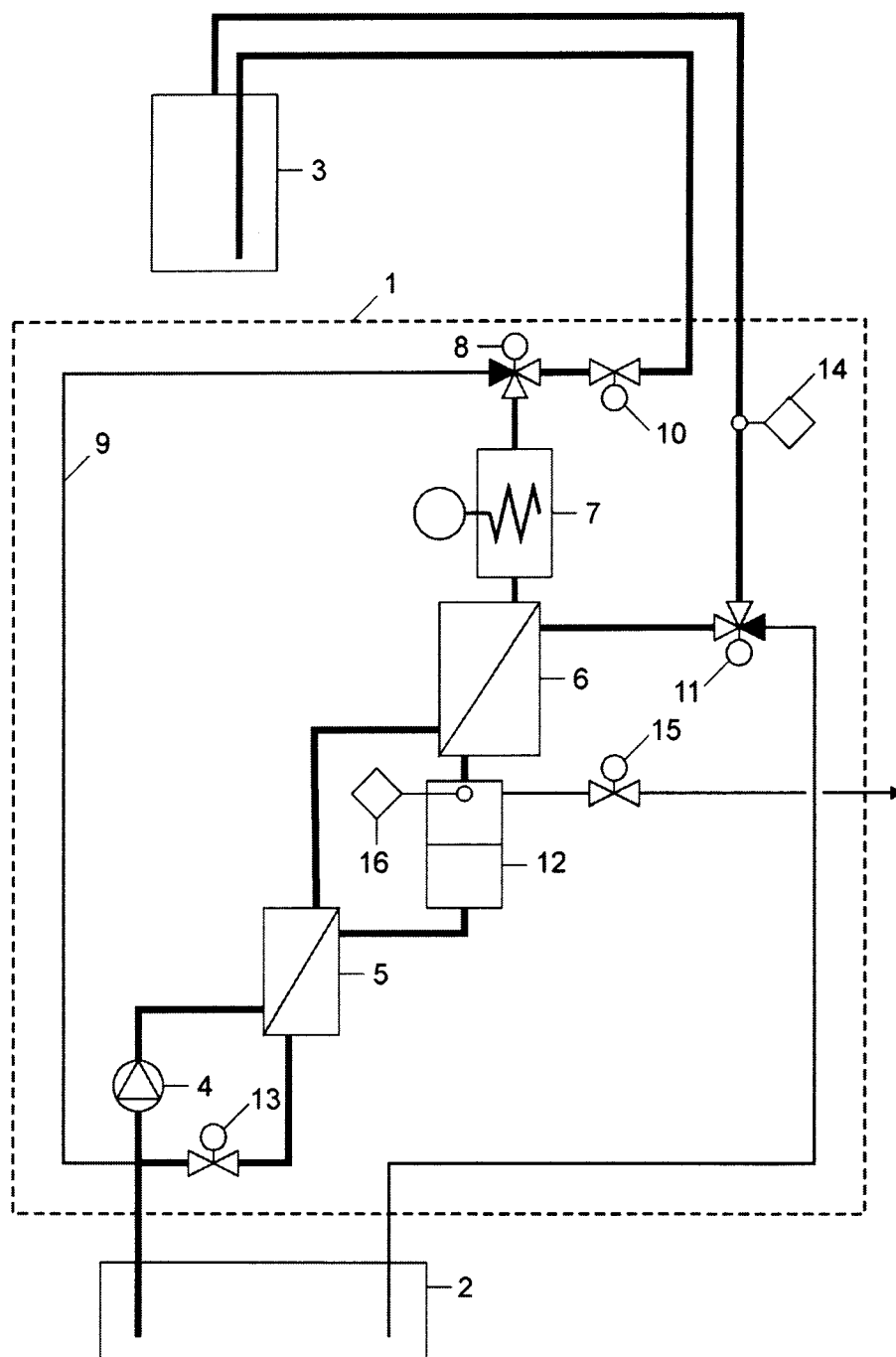
25

Seznam vztahových značek:

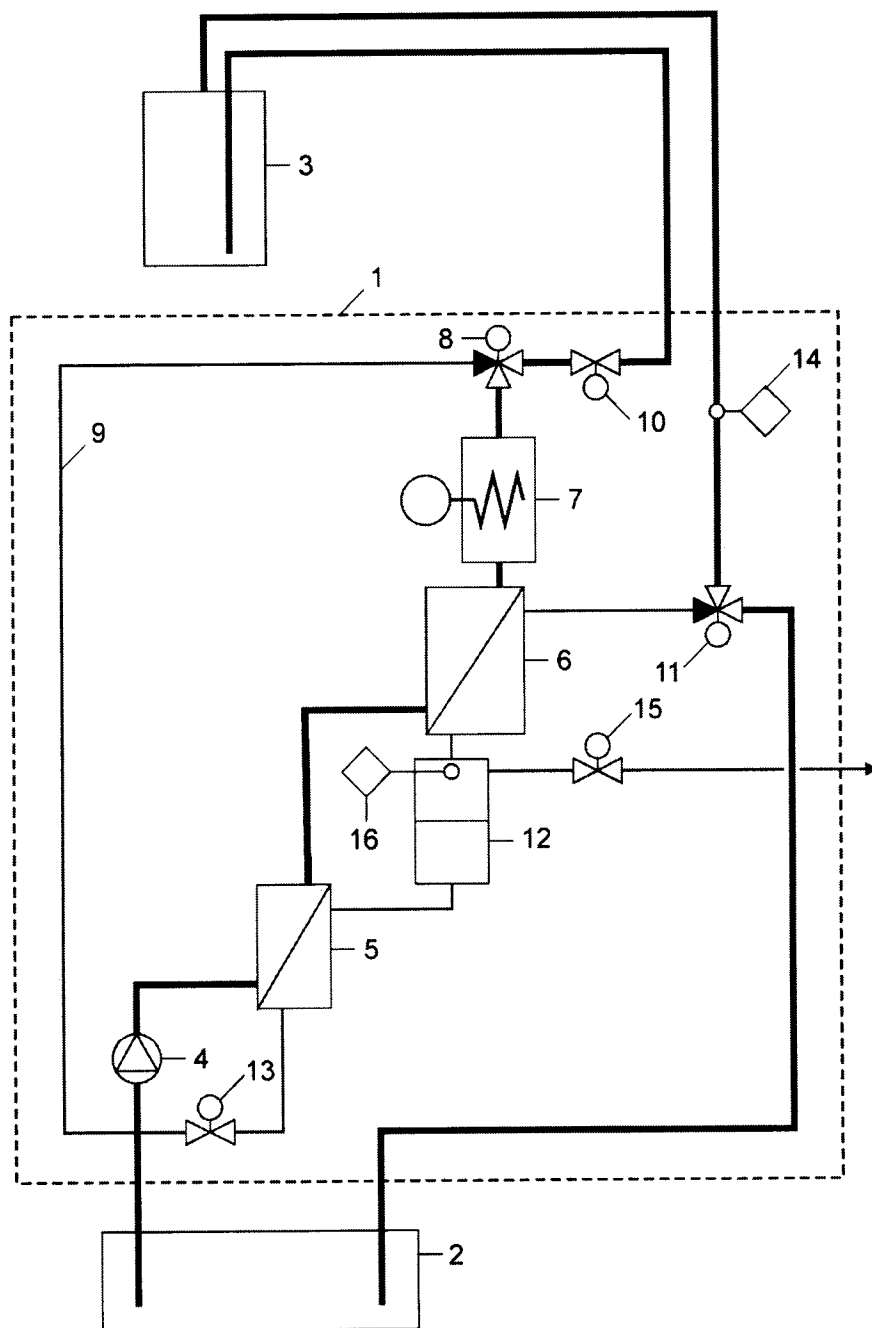
- | | | |
|----|----|---|
| | 1 | systém pro zpětné zavodňování |
| | 2 | zásobník vody |
| | 3 | obalový soubor |
| 30 | 4 | čerpadlo |
| | 5 | rekuperační výměník tepla (rekuperátor) |
| | 6 | kondenzační člen |
| | 7 | samostatný ohřívač |
| | 8 | první přepojovací ventil |
| 35 | 9 | obtok |
| | 10 | regulační ventil |
| | 11 | druhý přepojovací ventil |
| | 12 | sběrač kondenzátu |
| | 13 | regulační ventil |
| 40 | 14 | tlakové čidlo |
| | 15 | regulační ventil |
| | 16 | čidlo zaplnění sběrače kondenzátu |



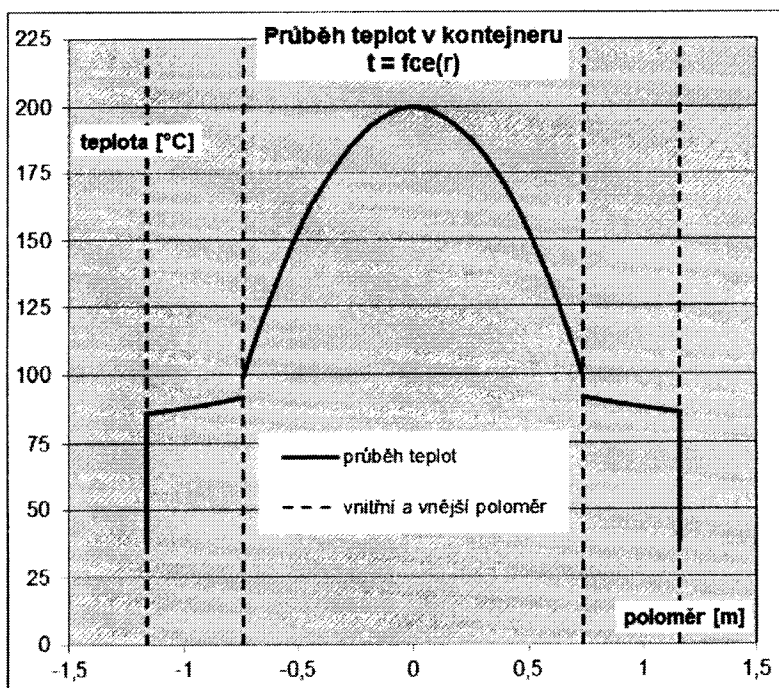
Obr. 1



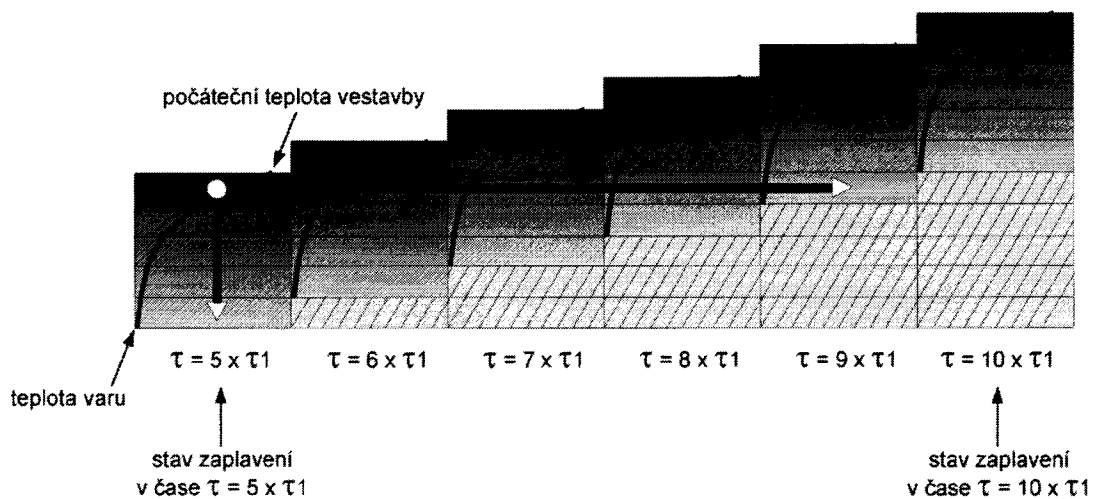
Obr. 2



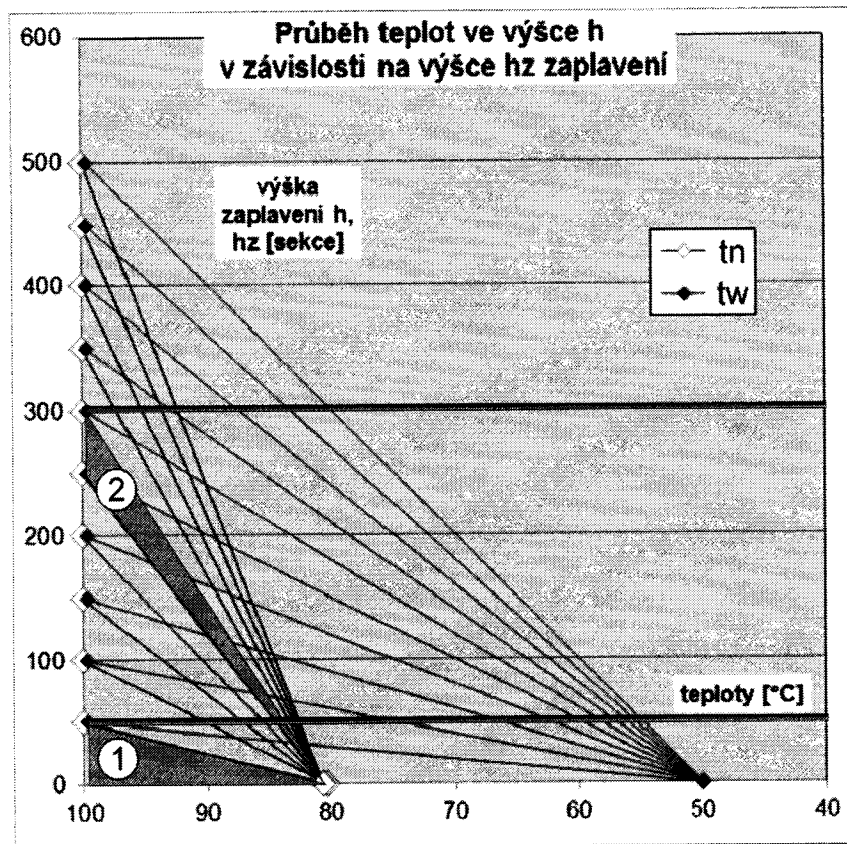
Obr. 3



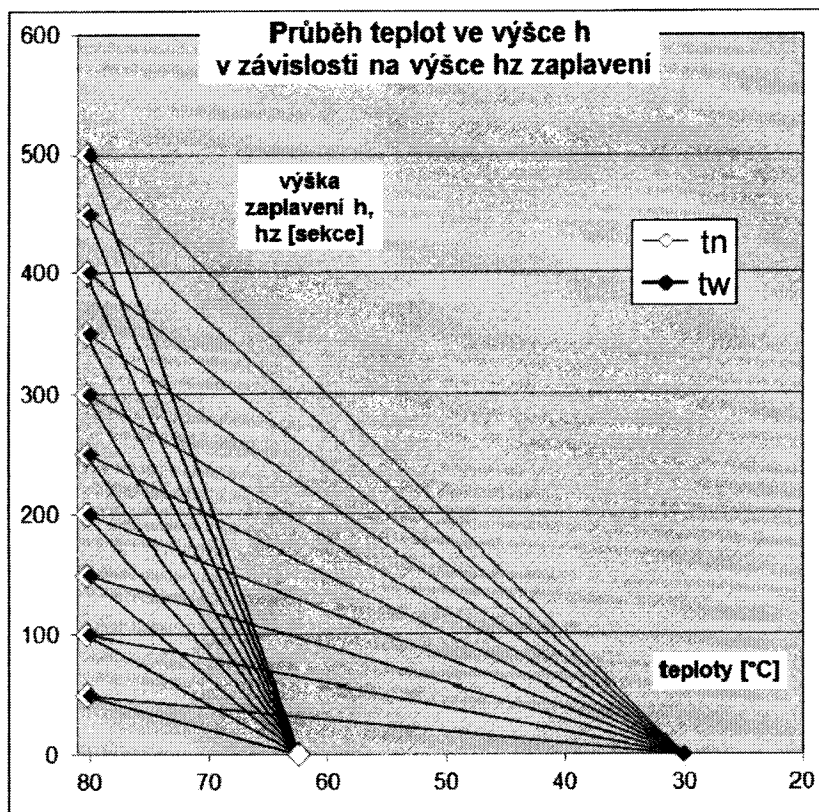
Obr. 4



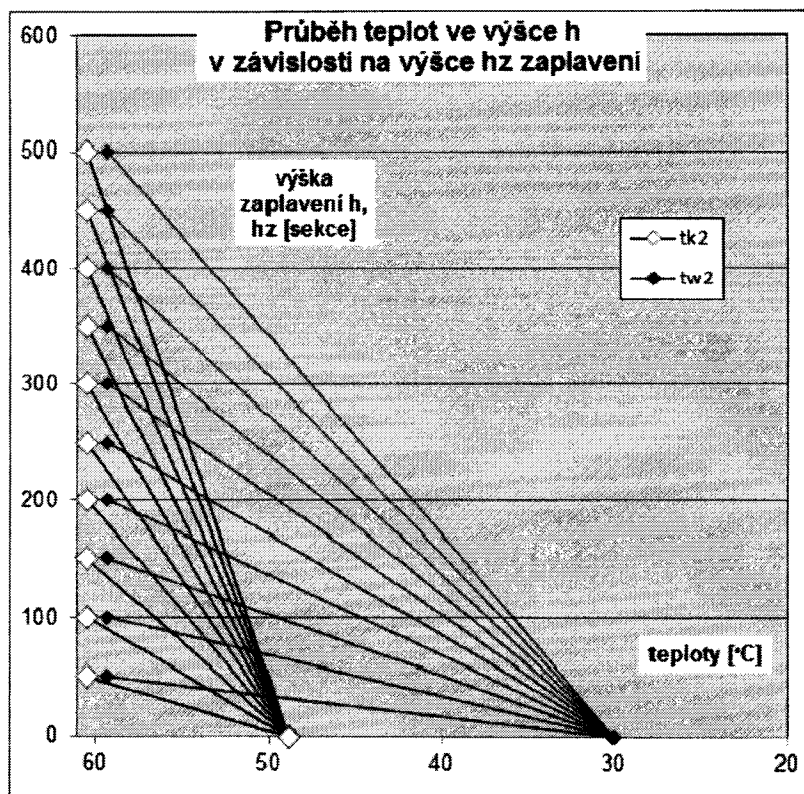
Obr. 5



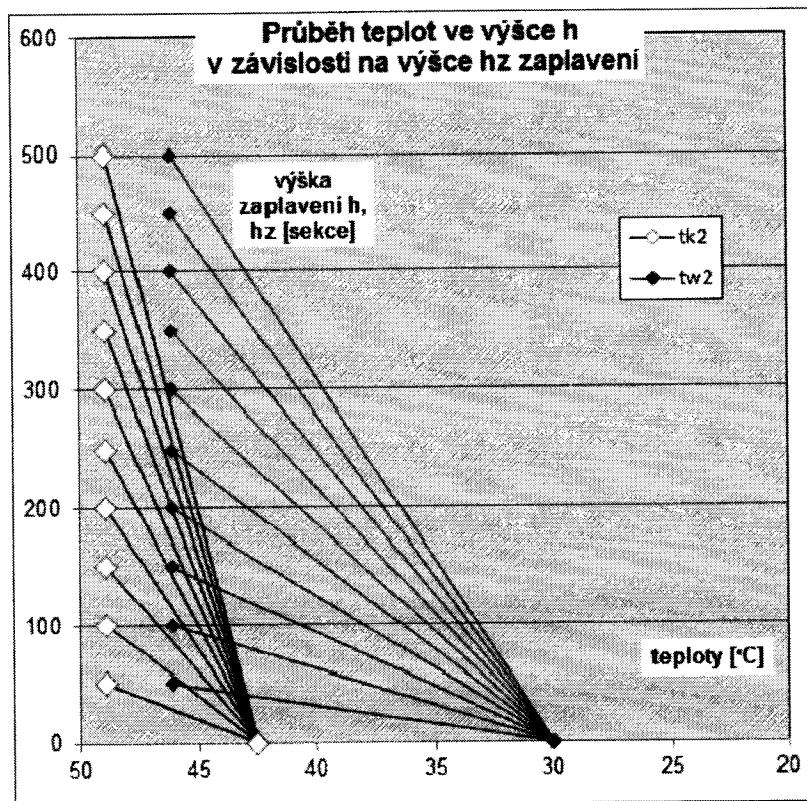
Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9

Konec dokumentu
