

FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(21) PV 5044-88.J
(22) Přihlášeno 13 07 88

(40) Zveřejněno 14 05 90
(45) Vydáno 04 11 91

272 596

(11)

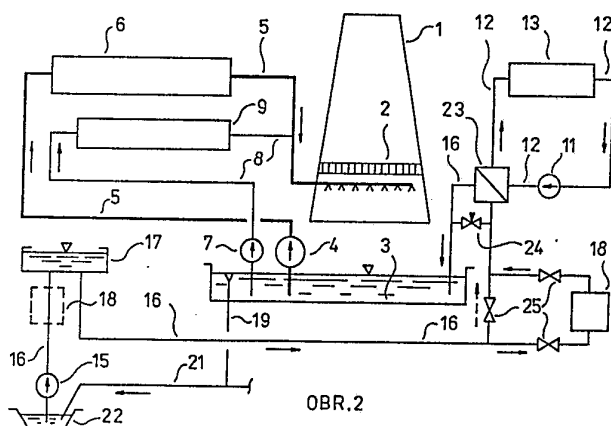
(13) B₁

(51) Int. Cl. 5
F 28 F 13/00
G 21 D 1/00

(75) Autor vynálezu SÝKORA DALIBOR ing.,
SÝKOROVÁ ILONA ing., PRAHA

(54) Zapojení systému nízkopotenciálního chlazení jaderné elektrárny, zejména s tlakovodním reaktorem velkého výkonu

(57) Předložené technické řešení spočívá v tom, že v podsystemu chlazení důležitých chladičů primárního okruhu, tj. v potrubí důležité chladicí vody, je místo sprchového bazénu zapojen tepelný výměník typu voda / voda, který je svou teploodvodnou stranou zapojen v potrubí přídavné chladicí vody. Výhodami jsou určité snížení celkové spotřeby vody u jaderné elektrárny, absence zejména letní solární tepelné zátěže sprchových bazénů, kompatibilita nového řešení s dosavadním provedením chladicích věží i dostatečnost stávající výkonové rezervy u těchto věží.



Vynález se týká zapojení systému nízkopotenciálního chlazení jaderné elektrárny zejména s tlakovodním reaktorem velkého výkonu, a umožňuje zmenšení záboru zemědělské půdy a s vysokou pravděpodobností i příslušné snížení investičních a provozních nákladů u jaderné elektrárny modernizované ve smyslu tohoto vynálezu.

Dosavadní vývoj systémů nízkopotenciálního chlazení jaderných elektráren probíhal v bezprostřední vazbě na vývoj filozofie jejich jaderné bezpečnosti. Současný nejpokročilejší stav předmětné chladicí techniky je bezesporu dán technickým řešením u sovětských tzv. unifikovaných bloků VVER 1000 MWe, ze kterých se na jedné lokalitě realizují a nadále plánují dvou až šestiblokové jaderné elektrárny. Stále více preferované hledisko jaderné bezpečnosti je v současné době zohledněno tím, že tento systém je rozdělen do tří podsystémů. V prvním z nich, tj. v podsystému chlazení kondenzátoru emisní turbínové páry a chladičů sekundárního okruhu se při čistě kondenzačním provozu na jmenovitém výkonu odvádí do okolí prostřednictvím chladicích věží s přirozeným tahem vzduchu přibližně 96 až 98 % z celkového odpadního tepla produkovaného jadernou elektrárnou. Ve druhém podsystému, kterým je podsystém chlazení z hlediska jaderné bezpečnosti nedůležitých chladičů primárního okruhu, se odvádí rovněž prostřednictvím stejných chladicích věží zhruba 1 až 2 % z celkového odpadního tepla. Posléze ve třetím podsystému, kterým je podsystém chlazení z hlediska jaderné bezpečnosti důležitých chladičů primárního okruhu se odvádí do okolní atmosféry prostřednictvím speciálních sprchových bazénů zbytek celkového odpadního tepla, přičemž výkonově je tento podsystém vyložen do 5 % z celkového tepelného výkonu rozptylovaného do okolní atmosféry. Mimoto je tento podsystém dvojnásobně zálohován, což znamená, že je realizován v provedení 3 x 100 %. Koncepční nevýhodou tohoto podsystému a tedy i celého systému nízkopotenciálního chlazení bloků VVER 1000 MWe je zejména velká plošná náročnost sprchových bazénů z hlediska úsporného řešení generelu jaderné elektrárny, potřeba jejich umístění na seizmicky vyhovujícím stejnorodém podloží, jakož i inovační a intenzifikační uzavřenost omezující možnosti snižování investičních a/nebo provozních nákladů u předmětného systému v jeho dosavadním zapojení. Nutno též podotknout, že již bylo předloženo i progresivnější technické řešení, podstatně omezující výše uvedenou nevýhodu, které spočívá v realizaci sprchových bazénů na vnější straně po obvodu chladicích věží, avšak příslušný "Kombinovaný atmosférický chladič vody pro jaderné elektrárny" podle čs. autorského osvědčení č. 244 641 se zvýšenou odolností proti vnějším vlivům, respektive s antiseismickým provedením tahového komína, není zatím ani vývojově zajištěn.

Výše uvedená nevýhoda systému nízkopotenciálního chlazení jaderné elektrárny, zejména s tlakovodními bloky neboli s bloky typu VVER velkého výkonu, je odstraněna při jeho zapojení podle tohoto vynálezu, který spočívá v tom, že v podsystému chlazení důležitých chladičů primárního okruhu, tj. v potrubí důležité chladicí vody, je místo sprchového bazénu zapojen jako chladič důležité chladicí vody tepelný výměník, typu voda/voda, který je teploodvodnou stranou zapojen v potrubí přídatné chladicí vody, s výhodou v jeho části za vodojemem ve smyslu směru proudění přídatné chladicí vody.

Pokrokovost předloženého technického řešení je dána těmito jeho hlavními výhodami. Úsporou tří sprchových bazénů, z nichž každý má plošné rozměry 270 m x 60 m a hloubku 3 m, uspoří se v generelu jaderné elektrárny se čtyřmi bloky VVER 1000 MWe celkem zhruba 150 000 m² zabrané půdy. Celková spotřeba vody u této jaderné elektrárny se zmenší přinejmenším o únos jemných vodních kapek ze sprchových bazénů, který činí v průměru okolo 50 kg/s, následkem odvodu příslušného tepla přes chladičí věže vybavené velmi účinnými eliminátory. Mimoto celý systém je odlehčen o zejména letní solární tepelnou zátěž sprchových bazénů, která může dosahovat při poledních maximech v podmínkách jihočeské jaderné elektrárny až přibližně 37 MW. Přitom převedením odpadního tepla i z podsystému chlazení důležitých chladičů primárního okruhu do věžového chladicího okruhu se

nepřekročí výpočtová či projektová výkonová rezerva chladicích věží, která činí 5 %. Navržené řešení je mimoto plně kompatibilní s běžným provedením chladicích věží, přesněji řešeno s neantiseizmickým provedením jejich tahových komínů, což znamená, že pod systémem chlazení důležitých chladičů primárního okruhu není ovlivněn jakoukoliv poruchou či havárií na chladicích věžích. Předloženým zapojením realizovatelný přechod ze sprchového atmosférického chlazení chladicí vody důležité na její chlazení přídatnou chladicí vodou mimo výše uvedené výhody projekčního charakteru poskytuje i cenné přínosy provozní. Ty jsou v podstatě dány skutečností, že roční, respektive časové změny teploty říční vody jsou výrazně menší a mnohem pomalejší, jakož i méně časté, oproti ročním i denním změnám nejen teploty, ale i vlhkosti, rychlosti a směru proudění atmosférického vzduchu. Novým zapojením se zlepší nejen provozovatelnost či obsluhovatelnost celého systému, ale odpadnou i provozní rizika vyplývající jednak z možného podchlazení, případně i zamrznutí chladicí vody důležité v zimních extrémních klimatických podmínkách, jednak z eventuálního nedostatečného ochlazení této vody vzduchem při bezvětří v letních teplotních maximech, kdy může spolupůsobit i energie slunečního záření, dopadajícího pod velkým úhlem především na vodní hladinu, ale i na přilehlou betonovou plochu sprchových bazénů. Další provozní výhoda spočívá ve zlepšení podmínek pro udržování potřebné kvality optimální střední teploty důležité chladicí vody, která nově obíhá v uzavřeném okruhu bez velkoplošného kontaktu s mírně nebo více znečištěným atmosférickým vzduchem. Odpadá proto odluhování a zmenšuje se odkalování důležité chladicí vody a snižují se i náklady na její kontinuální čištění. Lze očekávat i pozitivní ovlivnění nepříjemné korozní problematiky u příslušných chladičů primárních okruhů těchto jaderných elektráren.

Jako konkrétní příklad nového zapojení systému nízkopotenciálního chlazení jaderné elektrárny se čtyřmi tlakovodními, respektive vodovodními reaktory o jednotkovém výkonu 1 000 MWe je na výkresu na obr. 2 uvedeno jeho principální schéma, zatímco na předřazeném obr. 1 je pro objasnění rozdílů vůči současnému stavu uveden i systém dosavadní. Na obr. 1 je velmi zjednodušeně znázorněno schéma stávajícího zapojení systému, který se skládá ze tří výše definovaných podsystémů. Nejmohtnější teplo technickým zařízením je chladicí věž, která je zde reprezentována jen tahovým komínem 1, eliminátory 2 a vanou 3. V dispozičně oddělené čerpací stanici, spojené s vanou 3 již nevyznačeným přívodním kanálem, je instalováno čerpadlo 4 chladicí vody kondenzátoru, jehož výtlak je prostřednictvím potrubí 5 chladicí vody kondenzátoru propojen přes kondenzátor 6 s chladicí věží. Uvedená zařízení tvoří první podsystém. Druhý podsystém se skládá v podstatě jen z čerpadla 7 nedůležité chladicí vody, z potrubí 8 nedůležité chladicí vody a z příslušných nedůležitých chladičů 9 primárního okruhu. Z hlediska jaderné bezpečnosti je nejvýznamnější třetí podsystém, který je vytvořen ze sprchového bazénu 10, z čerpadla 11 důležité chladicí vody, z potrubí 12 důležité chladicí vody, z příslušného počtu důležitých chladičů 13 primárního okruhu a z odpovídajícího množství trysek 14. Úzkou provozní vazbu k výše uvedeným mají tato další zařízení: čerpadlo 15 přídatné chladicí vody, potrubí 16 přídatné chladicí vody, vodojem 17, stanice 18, čiření, přepad 19 věžového okruhu, přepad 20 bazénu a potrubí 21 odpadní vody. Symbolicky je znázorněno i koryto 22 řeky, která je zdrojem přídatné chladicí vody. Funkční popis k obr. 1 je zbytečný, neboť funkce znázorněného systému, ke které dochází při provozu všech zmíněných čerpadel, je jednoznačně dána názvy jednotlivých zařízení. Nutno jen podotknout, že eliminátory 2 zachycují s vysokou účinností vodní kapičky unášené vzestupným proudem vzduchu v tahovém komínu 1. Proto absolutní hodnoty únosu chladicí vody z chladicích věží a únosu důležité chladicí vody ze sprchových bazénů 10, respektive z trysek 14, jsou stejné či velmi blízké, zatímco tepelný, respektive chladicí výkon chladicích věží bývá téměř o dva řády větší oproti chladicímu výkonu sprchových bazénů 10. Podstatnou pozitivní okolností, na níž je založena předložená inovace předmětného systému je

skutečnost, že průtočná množství v potrubí 16 přídavné chladicí vody a v potrubí 12 důležité chladicí vody jsou stále přibližně stejná. Na obr. 2 je zjednodušené schéma nového zapojení téhož systému, které se vůči schématu na obr. 1 liší v podstatě jen tím, že v podsystemu chlazení důležitých chladičů primárního okruhu je místo sprchového bazénu nainstalován tepelný výměník 23, jehož teplovodná strana je zapojena na potrubí 16 přídavné chladicí vody. Podružným, ale účelným pomocným zařízením jsou jak ochozová regulační armatura 24, tak uzavírací armatury 25. Funkce systému zapojeného podle obr. 2 spočívá v tom, že celoročně dostatečně studená přídavná chladicí voda se před zavedením do věžového chladicího okruhu ohřívá v tepelném výměníku 23 teplem odváděným z důležitých chladičů 13 primárního okruhu. Aby nedocházelo k nadměrnému ochlazení důležité chladicí vody v zimním období při nízkých tepelných výkonech odváděných z důležité chladicí vody, je možné a potřebné přizpůsobit, tj. zmenšit, průtok přídavné chladicí vody tepelným výměníkem 23 náležitým pootevřením ochozové armatury 24. Uzavírací armatury 25 umožňují krátkodobé odstavení a obtok stanice 18 čiření při velmi zřídka se vyskytujících režimech plánovitého nebo havarijního odstavení reaktoru. V případě takových režimů je možné využít i současného vyprazdňování vodojemu 17 za účelem několikahodinového zvýšení průtočného množství přídavné chladicí vody tepelným výměníkem 23 až zhruba o 50 %. Je zřejmé, že k zapojení systému znázorněnému na obr. 2 lze vytvořit řadu zapojení variantních, odpovídajících různému pořadí řazení jak příslušných vodohospodářských objektů a zařízení, tak i tepelného výměníku 23. Ten je možné přemístit například do sání čerpadla 11 důležité chladicí vody nebo/a do té části potrubí 16 přídavné chladicí vody, kterou protéká neupravená voda, tj. mezi vodojemem 17 a stanicí 18 čiření. V tom případě je účelné vybavit tepelný výměník 23 i zařízením kontinuálního čištění teplosměnné plochy, které je ale aplikovatelné jen u výměníků trubkových, zatímco pro danou inovaci přitažlivé kompaktní tepelné výměníky deskové možnost kontinuálního čištění nemají. Alternativní umístění stanice 18 čiření před vodojemem 17 je na obr. 2 znázorněno čárkovně. Přitom nutno respektovat skutečnost, že touto stanicí recirkuluje i část chladicí vody věžového okruhu, přičemž v létě je to chladicí voda ochlazená a v zimě chladicí voda oteplená. Uvažována byla i již neznázorněná kombinovaná dvoustupňová varianta zapojení předmětného systému, ve které před čerpadlem důležité chladicí vody byl ponechán, jakožto první stupeň chlazení, výrazně zmenšený sprchový bazén, za nímž, tj. ve výtlaku tohoto čerpadla, byl umístěn výše zmíněný tepelný výměník typu voda/voda menšího výkonu. Tato varianta zapojení ale nezaručovala převahu výhod nad nevýhodami, které souvisejí s potřebnými změnami v generalu jaderné elektrárny.

Pro konkrétní bilanční teplotnické úvahy, tj. pro orientační průkaz reálnosti nového zapojení, byly použity parametry a údaje předběžně uvažované u jihočeské jaderné elektrárny, jejíž celkový elektrický výkon je 4 000 MW. U této elektrárny je navržen vodojem s pohotovou zásobou vody $2 \times 15\,000\text{ m}^3$, letní průtočné množství přídavné chladicí vody vytékající z vodojemu je $4,53\text{ m}^3/\text{s}$, čerpadla přídavné chladicí vody dodávají $4,8\text{ m}^3/\text{s}$, přičemž průtočné množství důležité chladicí vody obíhající v jejím autonomním podsystemu je $3,89\text{ m}^3/\text{s}$. Jako nejnáročnější provozní stav jaderné elektrárny, z hlediska největšího tepelného výkonu odváděného podsystemem chlazení důležitých chladičů primárních okruhů, je uvažován režim, při kterém dva reaktorové bloky jsou v normálním provozu, jeden v plánovaném a jeden v havarijním dochlazení. V takovém případě odvádí podsystem důležité chladicí vody v průběhu 3 až 5 hodin celkem až 221 MW. Při ohřevu přídavné chladicí vody o 10 až 15 °C a jejím výše uvedeném průtoku $4,53\text{ m}^3/\text{s}$ vychází, že touto přídavnou chladicí vodou je možné odvádět tepelný výkon v rozmezí přibližně 190 až 280 MW. Přitom další výkonovou rezervu představuje i výše zmíněná možnost několikahodinového zvýšení průtoku přídavné chladicí vody vlivem současného vyprazdňování vodojemu, při kterém přebytečná přídavná chladicí voda přetéká přepadem věžového okruhu do potrubí odpadní vody.

Vzhledem k výše uvedeným technickoekonomickým výhodám zapojení systému nízkopotenciálního chlazení jaderné elektrárny podle předloženého technického řešení lze počítat s jeho realizační přitažlivostí jak u budoucích modernizovaných bloků s reaktory VVER velkého výkonu, tak zejména u jaderných elektráren s reaktory nové generace,

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Zapojení systému nízkopotenciálního chlazení jaderné elektrárny, zejména s tlakovodním reaktorem velkého výkonu, který se skládá z pod systému chlazení kondenzátoru turbínové páry a chladičů sekundárního okruhu, z pod systému chlazení nedůležitých chladičů primárního okruhu a z pod systému chlazení z hlediska jaderné bezpečnosti důležitých chladičů primárního okruhu, vyznačené tím, že v pod systému chlazení důležitých chladičů primárního okruhu, tj. v potrubí (12) důležité chladiví vody, je zapojen jako chladič důležité chladicí vody tepelný výměník (23), typu voda/voda, který je svou teploodvodnou stranou zapojen v potrubí (16) přídatné chladicí vody, například v jeho části za vodojemem (17) ve směru proudění přídatné chladicí vody.

1 výkres

