

Připojování odběratelů tepla v parních soustavách CZT

1. část – Uzavřený parokondenzátní okruh

Miroslav Kotrbatý

V článku jsou popsána funkční schémata zapojení parních stojatých zaplavovacích výměníků v uzavřených parokondenzátních okruzích s regulací na straně kondenzátu a uvedeny metodické pokyny a podmínky pro správné provozování.

Recenzent: Vladimír Fridrich

1. Úvod

Dosavadní způsoby připojování odběratelů tepla a následný provoz v parních soustavách CZT je ukázkou nekonceptnosti návrhů a používání zastaralých principů řešení samotných výměňkových stanic.

Chybí soulad mezi zdrojem tepla, tepelnou sítí a vlastními spotřebiči. Mnozí projektanti a i autoři odborných článků se zabývají pouhým vyhodnocováním určitých prvků (výměník, armatura atp.) bez jakékoliv souvislosti s celkovým řešením soustavy. Tento postup je značně zavádějící.

Klíčovým souborem v parní soustavě CZT je výměňková stanice a následně pak způsoby připojování jednotlivých spotřebičů tepla.

Nejvíce rozšířený princip stanice je řešení s otevřeným parokondenzátním okruhem, regulací výkonu na parní straně a sběrem kondenzátu do nádrže s následným přečerpáváním. Toto „moderní řešení výměňkových stanic pára – voda“ jsem jako mladý projektant nastupující v roce 1951 do praxe obdržel jako pracovní pomůcku z německé publikace „Rietschel“ – obr. 1. V obrázků jsou negativní klíčová místa zvýrazněna tmavším podkladem.

Dlouholeté působení tohoto technického řešení používané technickou veřejností má negativní vliv na celé soustavy zásobování teplem párou:

- 1.1 Otevřený parokondenzátní okruh s regulací na parní straně způsobuje odpar kondenzátu a tím zvýšené ztráty tepla.
- 1.2 Unikání páry z nádrží na kondenzát do prostoru stanice má vliv na korozi potrubních částí a hlavně pak částí MaR a elektro. Značně se tím ovlivňuje poruchovost, nároky na údržbu, obsluhu a životnost stanice (10 až 15 let).
- 1.3 Kondenzátní hospodářství potřebné pro přečerpávání kondenzátu podstatně zvyšuje pořizovací náklady na jeho vybudování a také náklady stavební – zvětšený prostor stanice. Že je tento pohled nezanedbatelný mohou posloužit příklady. Po rekonstrukci dvou tradičně řešených okruskových sídlištních výměňkových stanic se přechodem na uzavřený parokondenzátní okruh a stojaté výměňky, v části ušetřeného prostoru jedné stanice, získaly dvě garáže a v druhé se našlo využití pro malý poštovní úřad.
- 1.4 Negativní vliv funkce kondenzátního hospodářství s přerušovaným pro-

vozem je patrný při vytváření nepříznivých hydraulických podmínek v kondenzátní síti. Nárazové čerpání od jednotlivých – hlavně velkých – odběratelů způsobuje značné kolísání protitlaku. Tyto změny mají vliv na poruchy v přečerpávání u odběratelů menších.

15 Plýtvání energií vložené do výroby tepla. Vysoký tlak páry přivedené do VS je spotřebován regulací na straně páry a s tím je spojeno následně nutné otevření parokondenzátního okruhu. V nádrži na kondenzát dojde k vyrovnání tlaku s tlakem atmosférickým – dojde k odpaření kondenzátu a velké ztrátě tepelné energie. Zmaření tlaku páry na parním regulačním ventilu vyvolá potřebu další nové energie na pohon kondenzátních čerpadel.

16 Důležitým prvkem je výměník a jeho konstrukční provedení. Výměníky s velkými hydraulickými odpory na straně primární omezují využití tlaku páry pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla, na straně sekundární trvale zvyšují provozní náklady na pohon oběhových čerpadel. Spotřebovaný tlak na výměníku spolu s regulací na straně páry a zvýšené nároky na provoz oběhových čerpadel se dá hodnotit jako bezúčelně mařená energie. Při hodnocení výměníků je proto kritériem vysokých hydraulických odporů na obou stranách výměníku jedním z nejdůležitějších.

17 Na hospodárny návrh soustavy pára – voda má rovněž nezanedbatelný vliv způsob připojování jednotlivých spotřebičů, druh použitých armatur a provozní režim.

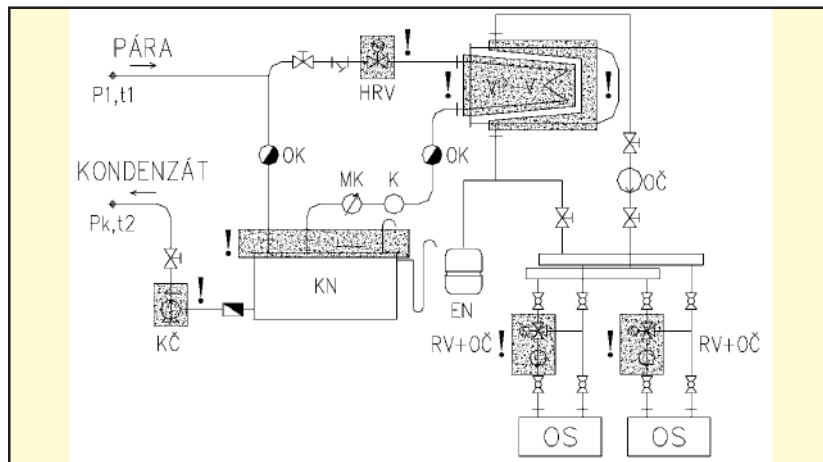
2. Výměníková stanice pára – voda s uzavřeným parokondenzátním okruhem

Všechny uváděné nedostatky řeší princip zapojení výměňkové stanice s uzavřeným parokondenzátním okruhem.

Pro uvedený způsob transformace pára – voda a odstranění celého technologického souboru sběru a přečerpávání kondenzátu se nejlépe hodí stojaté výměňky s rovnými teplosměnnými trubkami – pára v plášti, voda v trubkách. Nehodí se naopak výměňky deskové či kapilárové, které mají jednak velké hydraulické odpory jak na parní, tak sekundární straně a také vyžadují regulaci na straně páry s následným budováním kondenzátního hospodářství.

Problematické jsou rovněž výměňky spirálové (pára v trubkách) s ohledem na nekvalitní regulaci při zaplavování. Není u nich možná výměna teplosměnných trubek. Případná porucha otopné trubky znamená odstavení výměníku. Zaslepení poškozené trubky může pod-

Obr. 1 Schéma výměňkové stanice pára – voda s otevřeným parokondenzátním okruhem. Negativní klíčová místa jsou vyznačena tmavším podkladem.



statně omezit výkon. V mnoha případech dochází ke kompletní výměně výměníku.

U výměníků s rovnými trubkami lze buď provést výměnu trubičky nebo tolerovat případné zaslepení. Výměník má podstatně větší množství krátkých trubiček. Jeho výkon se při eventuelním zaslepení trubičky zmenší minimálně.

2.1 Transformace pára – voda při dostatečném tlaku páry pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla

Schematické znázornění výměníkové stanice, která odstraňuje všechny nedostatky (1.1, 1.2, 1.3, 1.4) je uvedeno na obr. 2. Pára (01) se převádí do stojatého výměníku (4) přes ruční uzavírací ventil (1), filtr (2) a havarijní uzávěr (3). Při značně kolísajících tlacích v parní nebo kondenzátní síti může být havarijní ventil nahrazen regulačním ventilem s havarijní funkcí. Před vstupem páry do výměníku se zařazuje zamezovač vzniku vakua (19), jehož úkolem je vyrovnání tlaku uvnitř výměníku při odstávce.

Parokondenzátní okruh je uzavřen na výstupu kondenzátu z výměníku speciálním regulačním ventilem (5), který má ve svém tělese filtr a dva malé uzavírací ventily, které umožní zastavit průtok kondenzátu, filtr vyjmout a vyčistit. Za regulační ventil se doporučuje zařadit průhledítko (6), kterým se kontroluje, zda je výměník v provozu či nikoliv. Naprosto tichý provoz je dán konstrukčním typem výměníku – stojatý s rovnými trubkami.

Následuje zpětný ventil nebo klapka (7) a ruční uzavírací ventil (8) na výstupu kondenzátu ze stanice (02). Sekundární strana má běžné armatury a zařízení zajišťující její funkci. Na vstupu zpětné vody sekundáru (03) je klapka nebo kulový uzávěr (9), za kterou následuje filtr (10) a oběhové čerpadlo (18), které však může být zařazeno i do přívodního potrubí (04). V této části stanice se

umísťuje pojišťovací ventil (11). Okruh je uzavřen klapkou nebo kulovým uzávěrem (12).

Expanzní zařízení (05) se připojuje buď za čerpadlem nebo před čerpadlem. Volba místa závisí na hydraulice sekundáru a způsobu pojištění sekundární soustavy. Odpor výměníku s rovnými trubkami je naprosto zanedbatelný. Při délce trubek $L_1 = 1000$ mm je $\Delta p_2 = 20$ až 150 mbar. Výkon výměníku je regulovatelný v rozmezí 0 až 100 %.

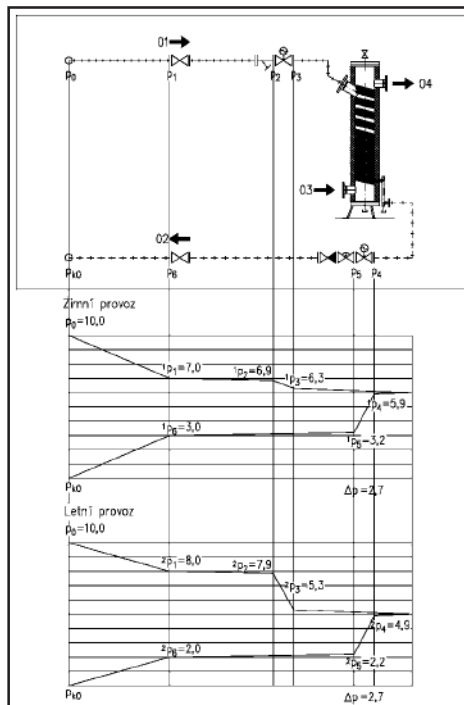
Tlakový diagram

Na obr. 3 je uveden tlakový diagram. Tlak páry dodávané ze zdroje tepla ($P_0 = 10$ bar_p) je celoročně konstantní. V zimním špičkovém období (plná čára) díky většímu odběru a tím větší tlakové ztrátě ($P_0 - P_1 = 3$ bary) je na vstupu do stanice k dispozici tlak $P_1 = 7$ bar_p. Celý soubor armatur a výměník (P_1 až P_4) spotřebuje cca 0,4 bar. Potom před vstupem do regulačního ventilu bude k dispozici $P_4 = 5,9$ barů.

Armatury za regulačním ventilem spotřebují cca 0,2 baru. Na výstupu ze stanice je ve špičce a při nárazovém čerpání kondenzátu od jiných odběratelů požadován přeřlak 3,0 bar. Potom pro dimenzování regulačního ventilu na straně kondenzátu zbývá $\Delta p = 5,9 - 3,2 = 2,70$ bar. V letním období, menším odběru a menších tlakových ztrátách v sítích probíhají tlaky podle druhého tlakového diagramu s tím, že se uvažuje na straně páry s použitím havarijního ventilu s regulační funkcí. Tento ventil umožní vytvořit vhodné podmínky pro funkci regulačního ventilu na straně kondenzátu.

2.2 Transformace pára – voda při nedostatečném tlaku páry pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla

Schéma stanice je uvedeno na obr. 4. Pára se přivádí do stojatého výměníku (4) přes ruční uzavírací ventil (1), filtr (2) a havarijní uzávěr (3) a zamezování vzniku vakua (19). Parokondenzátní



Obr. 3 Tlakový diagram uzavřeného parokondenzátního okruhu s dostatečným tlakem páry pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla.

okruh je uzavřen na výstupu kondenzátu z výměníku dvěma způsoby, které vyplývají z provozních podmínek primární sítě. V období zimním, kdy je velký odběr a tlak páry nepostačuje pro vrácení kondenzátu zpět do zdroje tepla, je uzavřen přímý odtok ventilem (13). Ventily (15 a 17) jsou uzavřeny. Čerpadlo (16) dimenzované na množství cca o 1/3 větší než je výkon výměníku se zařadí do okruhu otevřením ventilů (15 a 17), stejně tak jako otevřením zkratu (14), který je dimenzován na třetinové množství výkonu výměníku a tlakovou ztrátu stejnou jaká je potřebná pro dopravu kondenzátu do zdroje tepla včetně tlakových ztrát regulačního ventilu (5) a dalších vložených armatur (6, 7, 8). Do ochozu místo ručního regulačního ventilu (14) lze na vypočítané parametry zařadit clonu.

Ochoz zajišťuje bezpečný provoz čerpadla i když se výkon stanice blíží nulové hodnotě a regulační ventil uzavírá odtok kondenzátu.

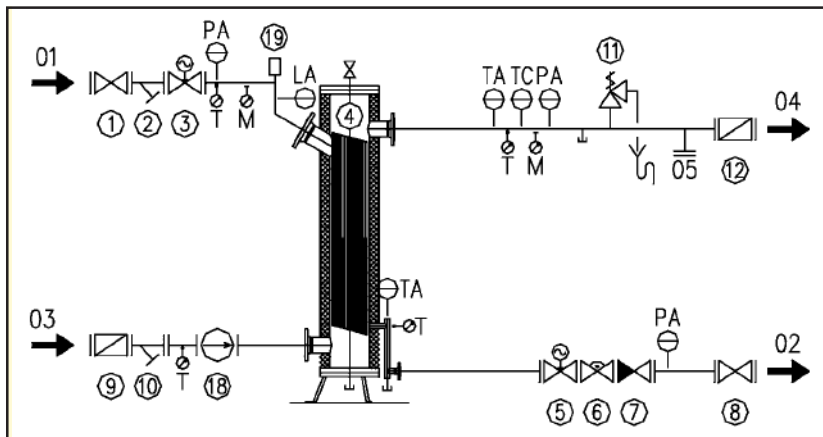
Sekundární strana má totožné armatury jako ve variantě bez kondenzátního čerpadla.

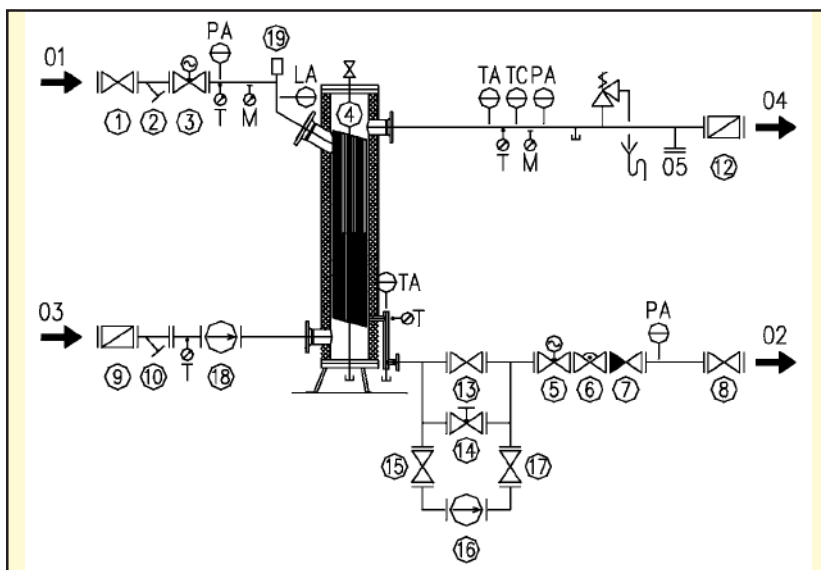
Tlakový diagram

Tlakový diagram jak pro zimní, tak i letní provoz ukazuje obr. 5.

Tlak páry ($P_0 - P_1 = 2,5$ bar) je na vstupu do stanice k dispozici tlak $P_1 = 2,5$ bar_p. Soubor armatur a výměník spotřebují cca 1,1 bar a soubor armatur za výměníkem cca 0,2 bar zbývá pro regulační ventil a dopravu kondenzátu celkem: $\Delta p = 2,5 - 1,1 - 0,2 = 1,2$ bar.

Obr. 2 Schéma výměníkové stanice pára – voda s uzavřeným parokondenzátním okruhem. Dostatečný tlak páry pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla.





Obr. 4 Schéma výměnkové stanice pára – voda s uzavřeným parokondenzátním okruhem. Tlak páry nestačuje pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla.

Jelikož tlaková ztráta kondenzátního potrubí ($P_8 - P_{KO}$) činí 2,0 bar a není ještě pokryta tlaková ztráta regulačního ventilu, bude nutné zařadit do okruhu kondenzátu pro toto roční období čerpadlo.

Pro dané množství kondenzátu bylo zvoleno čerpadlo, které má pracovní bod při $\Delta p_c = 2,6$ bar.

Po odečtení všech tlakových ztrát ve stanici a respektování potřebného tlaku pro dopravu kondenzátu do zdroje tepla zbývá pro dimenzování regulačního ventilu:

$$\Delta p_{RV} = (P_4 + \Delta p_c) - (P_7 - P_8) - (P_8 - P_{KO}) = (1,4 + 2,6) - (2,2 - 2) - (2,0 - 0) = 4,0 - 0,2 - 2,0 = 1,8 \text{ bar.}$$

Tlaková ztráta zkratu je totožná s tlakovou ztrátou kondenzátního potrubí včetně všech armatur až do zdroje tepla:

$$\Delta p_s = \Delta p_{RV} + (P_7 - P_8) + (P_8 - P_{KO}) = 2,0 + (2,2 - 2,0) + (2,0 - 0) = 4,2 \text{ bar.}$$

Tímto řešením je uzavřen celý parokondenzátní okruh pro zimní provoz.

V letním období, kdy je tlaková ztráta v obou částech primární sítě podstatně menší, je reálné provozovat stanici bez kondenzátního čerpadla. Průběh tlaků ukazuje čára (letní provoz) s následujícími hodnotami v klíčových místech stanice:

$$P_0 = 7 \text{ bar; } P_1 = 5,5 \text{ bar; } P_6 = 4,4 \text{ bar; } P_7 = 2,2 \text{ bar; } P_8 = 1,8 \text{ bar.}$$

Kolisání tlaků bez problémů zvládne regulační ventil na straně kondenzátu.

2.3 Přístroje a čidla pro ovládání stanice

Pro vizuální kontrolu parametrů primární i sekundární strany je zapotřebí osadit výměnkovou stanici následujícími přístroji:

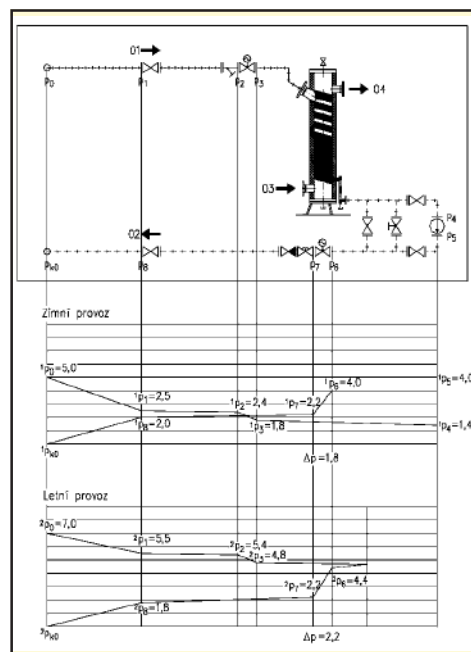
- 01 – přívod páry – teploměr (T) a manometr (M)
- 02 – odvod kondenzátu – teploměr (T)
- 03 – zpětné potrubí sekundáru – teploměr (T)
- 04 – přívodní potrubí sekundáru – teploměr (T); manometr (M)

Regulace výkonu stanice a zabezpečovací funkce

- 01 – přívod páry – snímání tlaku páry (PA) v případě, že provozní podmínky vyžadují redukcí tlaku na konstantní hodnotu. Ventil (3) je pak regulační.
- 02 – odvod kondenzátu – snímání teploty kondenzátu (TA) v případě, že je požadována jeho maximální teplota; snímání tlaku PA – pro udržování konstantní tlakové difference mezi 01 – PA a 02 – PA v případě, že v kondenzátní síti dochází ke změnám protitlaku. Tuto difference udržuje regulační ventil (3).
- 04 – přívodní potrubí sekundáru – snímání teploty (TA) pro regulaci výkonu; snímání teploty (TC) pro havarijní funkci – překročení dovolené teploty; snímání tlaku (PA) pro havarijní funkci – překročení dovoleného tlaku.

3. Provozní podmínky uzavřeného parokondenzátního okruhu

Stojaté výměníky a uzavřený parokondenzátní okruh vyžadují specifické podmínky v provozu. S ohledem na malý objem vody v trubkách výměníku nelze zastavit její cirkulaci, aniž by bylo zkondenzováno veškeré množství páry ve výměníku při jeho odstavení. Stejně tak nelze otevřít parní i kondenzátní



Obr. 5 Tlakový diagram uzavřeného parokondenzátního okruhu. Tlak páry nestačuje v zimním období pro dopravu kondenzátu zpět do zdroje tepla. Vložené kondenzátní čerpadlo.

stranu současně s ohledem na nebezpečí vniknutí páry do kondenzátního potrubí. Proto při navrhování software je zapotřebí respektovat následující podmínky:

A. Provoz bez čerpadla v kondenzátním potrubí – (obr.2)

První najíždění

- Výchozí stav – armatury na všech vstupech uzavřeny (1; 3; 5; 8; 9; 12)
- Otevřít armatury (1; 8; 9; 12) – ručně
- Zajistit průtok vody výměníkem – uvést do chodu oběhové čerpadlo (18)
- Po 5 sekundách pomalu otevřít přívod páry (3) – cca 5 min
- Uvést do chodu regulaci výkonu v závislosti na výstupní teplotě sekundáru (TA 04) + regulační ventil (5) na straně kondenzátu

Poznámka: Časová prodleva nutná z důvodu potřebného zaplavení výměníku kondenzátem.

Odstavení

- Uzavřít odvod kondenzátu regulačním ventilem (5)
- Po uzavření ventilu (5) uzavřít přívod páry (3)
- Po 10 minutách zastavit cirkulaci sekundárního média výměníkem odstavením čerpadla (18). Zamezovač vzniklého vakua (19) vyrovná tlakové podmínky v parním prostoru výměníku.

Najíždění během provozu

- Uvést do chodu cirkulaci vody v sekundáru – čerpadlo (18)

- Po 5 sekundách pomalu otevřít přívod páry (3) cca 3 minuty
- Uvést do funkce regulaci výkonu – ventil (5)

B. Provoz s kondenzátním čerpadlem (obr.4)

První najíždění

- **Výchozí stav** – armatury na všech vstupech uzavřeny (1; 3; 5; 8; 9; 13; 14; 15; 17)
- Otevřít armatury (1; 8; 9; 12; 14; 15; 17). Ventil (13) uzavřen
- Uvést do chodu oběhové čerpadlo (18) sekundárního okruhu
- Po 5 sekundách pomalu otevřít přívod páry (3) – cca 5 minut
- Uvést do chodu regulaci výkonu v závislosti na výstupní teplotě sekundáru (TA – 04)+ regulační ventil (5) a kondenzátní čerpadlo (16)

Odstavení

- Uzavřít odvod kondenzátu regulačním ventilem (5) a odstavením čerpadla (16)
- Po uzavření ventilu (5) uzavřít přívod páry (3)
- Po 10 minutách zastavit průtok sekundárního média výměníkem (18)
- Zamezovač vzniku vakua (19) vyrovná tlakové podmínky v parním prostoru výměníku.

Najíždění během provozu

- Uvést do chodu cirkulaci na sekundární straně (18)
- Po 5 sekundách pomalu otevřít přívod páry (3) – cca 3 minuty
- Uvést do chodu regulaci výkonu – regulační ventil (5) a kondenzátní čerpadlo(16)

4. Funkční podmínky primárního okruhu

Zaplavení výměníku kondenzátem.

4.1 Při provozu uzavřeného parokondenzátního okruhu vznikají v extrémních stavech specifické podmínky, které je zapotřebí ošetřit softwarem.

Jelikož je možné regulovat výkon výměníku v rozsahu 0 až 100 %, může dojít k situaci, kdy při minimálních výkonech stoupne hladina kondenzátu až do vstupního hrdla páry. Aby se zabránilo jeho vniknutí do parní přípojky, instaluje se zde čidlo (LA – 01) pro snímání hladiny. Při jejím dostoupení na tuto úroveň, se musí zajistit otevření regulačního ventilu na straně kondenzátu a jeho opětovné vrácení do provozní polohy. Cyklem „otevřeno – vrácení do původní polohy“ se zajistí nárazové odpuštění kondenzátu a tím poklesu jeho hladiny do prostoru výměníku.

4.2 Vychlazení kondenzátu

Výkony výměníků jsou stanoveny tak, aby teplota kondenzátu byla v každém provozním stavu max. o 3 až 5 K vyšší, než je teplota zpětné vody sekundáru. V případě, že je dodavatelem tepla požadována určitá limitní hodnota teploty kondenzátu a jeho teplota by stoupla, přechází regulace výkonu z čidla (TA – 01) na čidlo (TA – 02), které reguluje výkon podle hodnot $t_2 = \text{konst.}$ požadované dodavatelem tepla.

5. Funkční podmínky sekundárního okruhu (obr.6)

Jednou z nejdůležitějších veličin pro správnou funkci sekundární soustavy je statický tlak. Jeho úroveň je dána bodem varu otopné látky v nejvyšším bodě soustavy. V tomto místě by měl přesahovat cca o 0,5 baru tlak odpovídající tlaku bodu varu.

Neméně důležitá je potřebná hodnota statického tlaku, který zabraňuje odpařování vlivem přehřátí vody v trubkách výměníku v místě vstupu páry do výměníku. Jeho hodnota závisí na konstrukci výměníku, tlaku páry a provozní teplotě sekundáru.

Při nedodržení těchto vzájemných vazeb může dojít k tlučení ve výměníku a následně destrukci otopných trubek. V diagramu (obr. 6) jsou znázorněny dva příklady pro stojatý výměník s rovnými trubkami.

Podle prvního kritéria pojišťovací pro otopnou soustavu objektu 10 m vysokého s teplotním rozdílem 90/70 °C by postací přetlak 1,5 baru.

Podle druhého kritéria „místní přehřátí“ pára 5 bar přetlaku – pojišťovací přetlak u výměníku voda 90/70 °C – 2,6 bar. Z tohoto porovnání vyplývá nutnost posouzení obou vlivů a volit vždy pro pojištění soustavy hodnotu vyšší. V daném případě 2,6 bar.

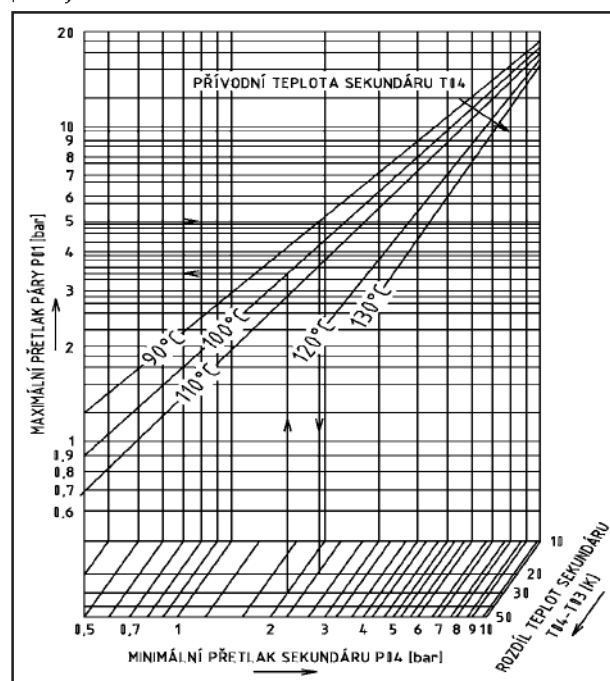
6. Závěr

Výměňková stanice se stojatými výměníky, uzavřeným parokondenzátním okruhem a regulací výkonu na straně kondenzátu, řeší následující nedostatky v soustavách zásobovaných párou:

- Úplně se odstraňuje odpar kondenzátu. Dochází k snížení ztrát tepelné energie ve stanici. Zvyšuje se její životnost (technologie, MaR a elektro). Zvýšená vlhkost v prostředí stanice u tradičního řešení způsobuje předčasnou korozi a časté poruchy.
- Úplně odstraňuje kondenzátní hospodářství – snižuje pořizovací náklady jak na samotnou stanici, tak hlavně na plošné nároky.
- Stabilizuje hydraulické podmínky v kondenzátní síti.
- Podstatně zjednodušuje technologické schéma výměňkové stanice a snižuje rovněž počet potřebných armatur.
- Maximálně využívá tlaku páry pro funkci celé soustavy – doprava kondenzátu zpět do zdroje tepla bez další vynaložené energie.

□ Ing. Miroslav Kotrbatý, KOTRBATÝ – V. M. Z., spol. s r.o., Peltřimov

Obr. 6 Diagram pro určení pojišťovacího tlaku sekundární soustavy při zadaném přetlaku páry před výměníkem.



Poznámka recenzenta:

Koncepcí parních stojatých výměníků s regulací na straně páry jsme se zabývali v Topin 2/1998 a 4/1998 (Doubrava, Fischer) v Topin 4 a 5/2000 (Neužil). Dnes jsme dali prostor autorovi, který je zastáncem koncepce regulace na straně kondenzátu a doplnili jsme tím komplexnost informací o způsobech regulace stojatých parních výměníků.

□ □ □