

## Předávací stanice tepla v parních soustavách CZT

Ing. Miroslav Kotrbatý

(miroslav.kotrbaty@kotrbaty.cz)

Autor působí ve firmě KOTRBATÝ, s. r. o.

Recenzoval: Doc. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Klíčovým souborem v parní soustavě CZT je výměňková stanice a následně pak způsoby připojování jednotlivých spotřebičů tepla. Výměňková stanice se stojatými výměníky, uzavřeným parokondenzátním okruhem a regulací výkonu na straně kondenzátu řeší některé nedostatky v soustavách zásobovaných párou.

Dosavadní způsoby připojování odběratelů tepla a následný provoz v parních soustavách CZT je ukázkou používání zastaralých principů řešení samotných výměňkových stanic. Chybí soulad mezi zdrojem tepla, tepelnou sítí a vlastními spotřebiči. Mnozí projektanti a autoři odborných článků se zabývají pouhým vyhodnocováním určitých prvků (výměník, armatura apod.) bez jakékoliv souvislosti s celkovým řešením soustavy. Tento postup je značně zavádějící.

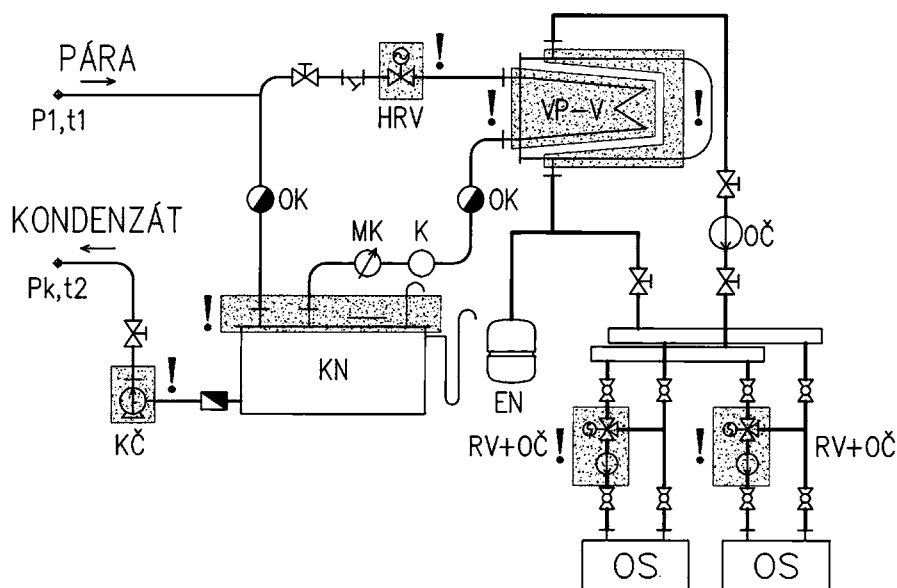
### Výměňkové stanice s otevřeným parokondenzátním okruhem

Nejvíce rozšířený princip zapojení stanice je řešení s otevřeným parokondenzátním okruhem, regulací výkonu na parní straně a sběrem kondenzátu do nádrže s následným přečerpáváním (obr. 1). Tento princip se praktikuje od samých začátků zásobování teplem. Byl uváděn v německé publikaci Rietschel v padesátých letech minulého století. Schéma bylo

však používáno již dlouhá léta před jejím vydáním. Na obr. 1??? jsou klíčová místa, kde dochází k bezúčelnému maření energie, zvýrazněna tmavším podkladem a vykřičníkem.

Regulační ventil (HRV), který plní zároveň s výměníkem (VP-V) havarijní funkci, zcela bez užítku zmaří přetlak páry. Ve sběrné nádrži na kondenzát (KN) spojené s venkovní atmosférou dojde ještě ke ztrátě odparem. Do soustavy je zapotřebí vložit další novou energii, potřebnou pro přepravu kondenzátu zpět do zdroje tepla (KČ).

Na straně sekundární přicházejí v úvahu tlakové ztráty ve výměníku (VP-V), tlakové ztráty regulačních ventilů a vkládání nové energie v podobě provozu oběhových čerpadel jednotlivých sekcí (RV + OČ). V případě použití deskových výměníků s velkým odporem dochází k vysokým provozním nákladům během celé doby životnosti zařízení. Dlouholeté působení tohoto technického řešení používané odbornou veřejností má negativní vlivy na hospodárny provoz celé soustavy zásobování teplem (párou).



Obr. 1 Výměňková stanice s otevřeným parokondenzátním okruhem

### Výměňkové 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 výměníky s rovnými teplosměnnými trubkami (pára v plášti, voda v trubkách), neboť způsobují minimální hydraulické ztráty jak na straně primární, tak i sekundární.

Nehodí se naopak výměníky 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 výměníky spirálové (pára v trubkách) s ohledem na nekvalitní regulaci při zaplávání. Není u nich možná výměna teplosměnných trubek. Případná porucha otopné trubky znamená odstavení výměníku. Zaslepení poškozené trubky může podstatně 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 eventuálním zaslepení trubičky zmenší minimálně (obr. 2).

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

Schematické znázornění výměňkové stanice, která odstraňuje všechny zmíněné nedostatky, je uvedeno na obr. 2. Pára (01) se přivádí 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, který udržuje konstantní přetlak před výměníkem. Před vstupem páry do výměníku se zařazuje zamezovač vzniku vakua (19), jehož úkolem je vyrovnání přetlaku uvnitř výměníku při přerušení provozu.

Parokondenzátní okruh je uzavřen na výstupu kondenzátu z výměníku speciálním regulačním ventilem (5), který má ve svém tělese filtr a dva malé uzavírací ventilk, které umožní zastavit průtok kondenzátu, filtr vyjmout a vyčistit. Ventil v tomto provedení se vyrábí pouze v dimenzi DN 15. U velkých výkonů výměníků, kdy tento ventil nestačí, se před regulační ventil zařazuje ještě uzavírací ventil a filtr. 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). Odpor výměníku na parní straně je minimální a pohybuje se v rozmezí od 20 do 500 mbar (1 bar = 10 Pa) podle délky trubiček ve výměníku.

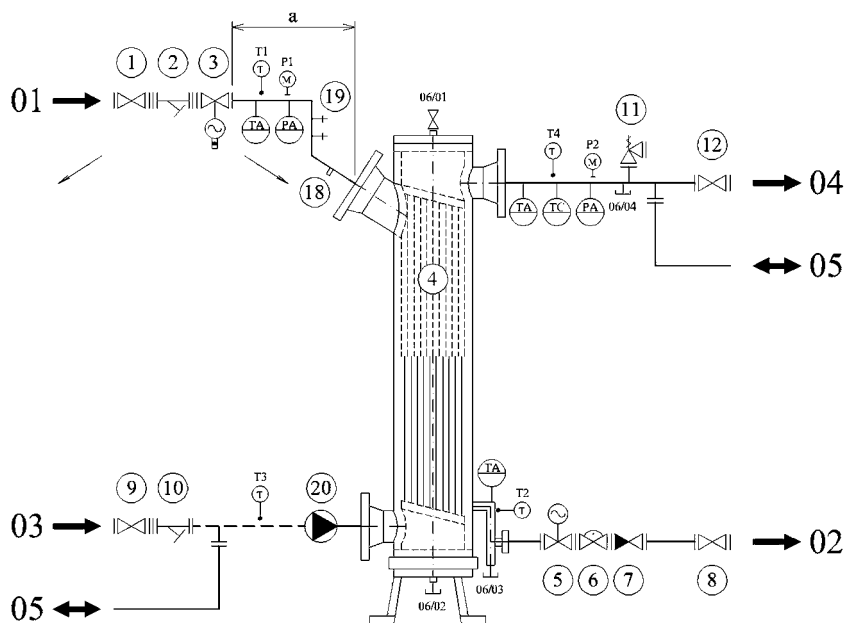
Sekundární strana má běžné armatury a zařízení zajišťující její funkci. Na vstupu zpětné vody sekundární strany (03) je klapka nebo kulový uzávěr (9), za kterou následuje filtr (10) a oběhové čerpadlo (18), které však může být zařazeno i do přívodního potrubí (04). V této části stanice se umísťuje pojišťovací 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 sekundární strany a způsobu pojištění sekundární soustavy. Odpor výměníku s rovnými trubkami na sekundární straně je rovněž naprosto zanedbatelný. Při délce trubek  $L_1 = 1\ 000\text{ mm}$  je  $\Delta p_2 = 20$  až 150 mbar. Výkon výměníku je regulovatelný v rozmezí 0 až 100 %.

### Tlakový diagram

Na obr. 3 jsou uvedeny tlakové diagramy pro zimní i letní provoz. Tlak páry dodávané ze zdroje tepla ( $P_0 = 10\text{ bar}_p$ ) je celoročně konstantní. V zimním špičkovém období díky většímu odběru, a tím větší tlakové ztrátě ( $P_0 - {}^1P_1 = 3\text{ bary}$ ) je na vstupu do stanice k dispozici tlak  ${}^1P_1 = 7\text{ bar}$ . Celý soubor armatur a výměník ( ${}^1P_1$  až  ${}^1P_4$ ) spotřebuje cca 0,4 bar. Potom před vstupem do regulačního ventilu bude k dispozici  ${}^1P_4 = 5,9\text{ bar}$ .

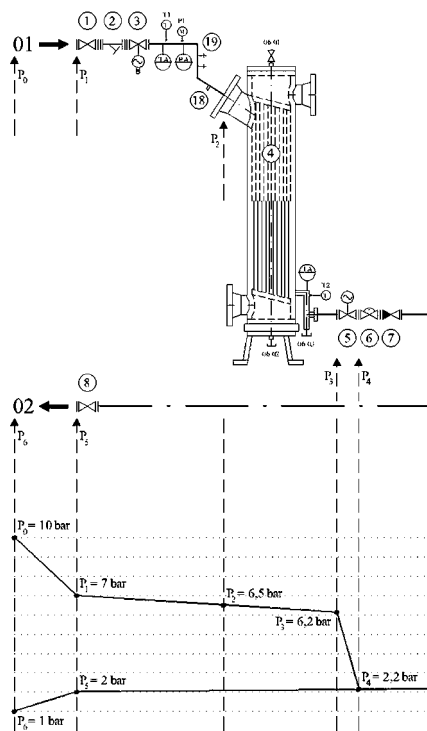
Armatury za regulačním ventilem mají tlakové ztráty cca 0,2 bar. Na výstupu ze stanice je ve špičce a při nárazovém čerpání kon-



Obr. 2 Výměňková stanice s uzavřeným okruhem

denzátu od jiných odběratelů požadován přetlak 3,0 bary. Potom pro dimenzování regulačního ventilu na straně kondenzátu zbývá  $\Delta p = 5,9 - 3,2 = 2,7\text{ bar}$ .

V letním období, menším odběru a menších tlakových ztrátách v sítích probíhají tlaky podle druhého diagramu s tím, že se na straně páry uvažuje s použitím havarijního ventilu s regulační funkcí, který umožní vytvořit vhodné podmínky pro funkci regulačního ventilu na straně kondenzátu. Tento ventil může být zařazen do schématu stanice i pro zimní provoz nebo samostatně do obchozu.



Obr. 3 Tlakové diagramy při dostatečném tlaku páry

### 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 zamezovač vzniku vakua (19). Parokondenzátní okruh je uzavřen na výstupu kondenzátu z výměníku dvěma způsoby, které vyplývají z provozních podmínek primární sítě. V zimním období, kdy je velký odběr a tlak páry nepostačuje pro vrácení kondenzátu zpět do zdroje tepla, je přímý odtok uzavřen ventilem (13). Čerpadlo (16), které je dimenzované na množství cca o 1/3 větší, než je výkon výměníku, je zařazeno do parokondenzátního okruhu otevřením ventilů (15 a 17). Otevře se rovněž zkrat (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 obchozu lze místo ručního regulačního ventilu (14) zařadit clonu vypočítanou na požadované parametry.

Obchod 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.

Tlaková ztráta páry na úseku zdroj – výměňková stanice je  $P_0 - {}^1P_1 = 2,5\text{ bar}$ . Potom na vstupu do stanice je k dispozici tlak

$^1P_1 = 2,5 \text{ bar}_p$ . Soubor armatur a výměník spotřebují cca 1,1 bar a soubor armatur za výměníkem cca 0,2. Pro regulační ventil a dopravu kondenzátu zbývá celkem:  $\Delta p = 2,5 - 1,1 - 0,2 = 1,2 \text{ bar}$ . Protože tlaková ztráta kondenzátního potrubí ( $^1P_8 - P_{KO}$ ) činí 2 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  $\Delta p_c = 2,6 \text{ bar}$ . Po odečtení všech tlakových ztrát ve stanici a respektování potřebného tlaku pro dopravu kondenzátu do zdroje tepla zbývá pro dimenzování regulačního ventilu:

$$\Delta p_{RV} = ({}^1p_4 + \Delta p_c) - ({}^1p_7 - {}^1p_8) - ({}^1p_8 - p_{KO}) = (1,4 + 2,6) - (2,2 - 2,0) - (2,0 - 0) = 4,0 - 0,2 - 2,0 = 1,8 \text{ bar}$$

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

$$\Delta p_s = \Delta p_{RV} + ({}^1p_7 - {}^1p_8) + ({}^1p_8 - {}^1p_{KO}) = 2,0 + (2,2 - 2,0) + (2,0 - 0) = 4,2 \text{ bar}$$

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 diagram s následujícími hodnotami v klíčových místech stanice:

$p_0 = 7 \text{ bar}_p$ ;  ${}^2p_1 = 5,5 \text{ bar}$ ;  ${}^2p_6 = 4,4 \text{ bar}$ ;  
 ${}^2p_7 = 2,0 \text{ bar}$ ;  ${}^2p_8 = 1,8 \text{ bar}$ .

Kolisání tlaků zvládne bez problémů regulační ventil na straně kondenzátu.

### Přístroje a čidla pro ovládání stanice

Pro vizuální kontrolu parametrů primární i sekundární strany je zapotřebí osadit výměníkovou 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) a manometr (M).

### Regulace výkonu stanice a zabezpečovací funkce

01 – přívod páry – snímání přetlaku páry (PA) v případě, že provozní podmínky vyžadují redukci tlaku na konstantní hodnotu. Ventil (3) je pak regulační s havarijní funkcí.  
02 – odvod kondenzátu – snímání teploty kondenzátu (TA) v případě, že je požadováno nepřekročení stanovené teploty. V této fázi provozu se pak reguluje výkon výměníku v závislosti na teplotě kondenzátu. Snímání přetlaku (PA) – pro udržování konstantní tlakové difference mezi 01 – PA a 02 – PA v případě, že v kondenzátní síti dochází ke změnám protitlaku. Tuto diferenci udržuje regulační ventil (3).  
04 – přívodní potrubí sekundáru – snímání teploty (TA) pro regulaci výkonu; snímání teploty (TC) pro havarijní funkci – překročení dovolené teploty; snímání přetlaku (PA) pro havarijní funkci – podkročení dovoleného tlaku.

## 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 zkonkondenzováno veškeré množství páry ve výměníku při jeho odstavení. Stejně tak nelze otevřít parní i kondenzátní stranu současně s ohledem na nebezpečí vniknutí páry do kondenzátního potrubí. Proto při navrhování software je zapotřebí respektovat následující podmínky:

## 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 otevírat 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 při otevření přívodu páry je nutná z důvodu potřebného zaplavení výměníku kondenzátem. Tímto postupem se zabrání vniknutí páry do kondenzátního potrubí – na regulační ventil.

### Odstavení

- uzavřít odvod kondenzátu regulačním ventilem (5),
- po uzavření ventilu (5) uzavřít přívod páry (3),
- po 10 minutách zastavit cirkulaci sekundární teplotnosné látky výměníkem odstavením čerpadla (18). Zamezovač vzniku vakua (19) vyrovná tlakové podmínky v parním prostoru výměníku.

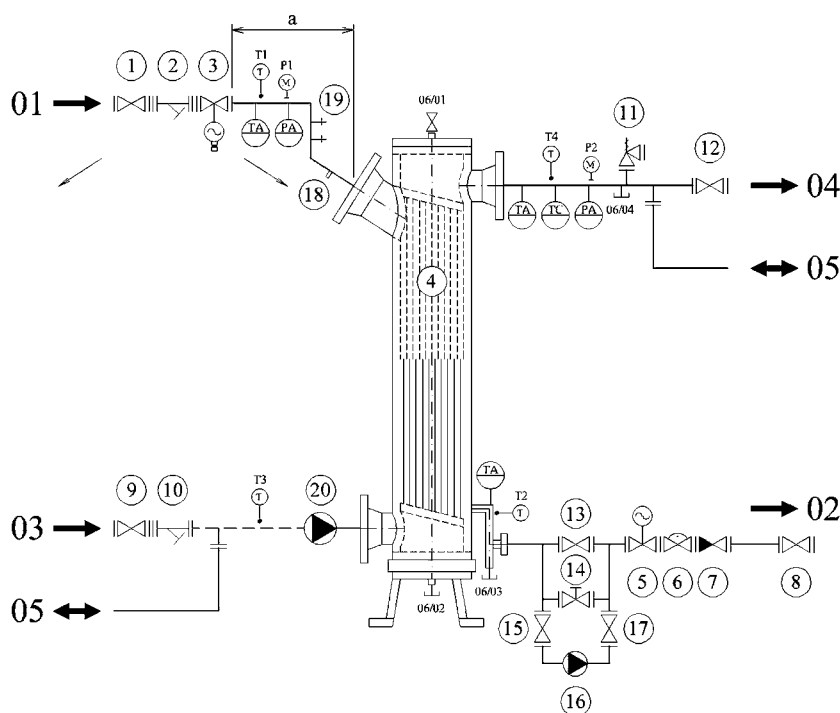
### Najíždění během provozu

- Uvést do chodu cirkulaci vody na sekundární straně – čerpadlo (18),
- Po 5 sekundách pomalu otevírat přívod páry (3) – cca 3 minuty. Zkrácený interval proti prvnímu najíždění se uvažuje proto, že se předpokládá určitý objem kondenzátu ve výměníku.
- Uvést do funkce regulaci výkonu – ventil (5) + TA (04).

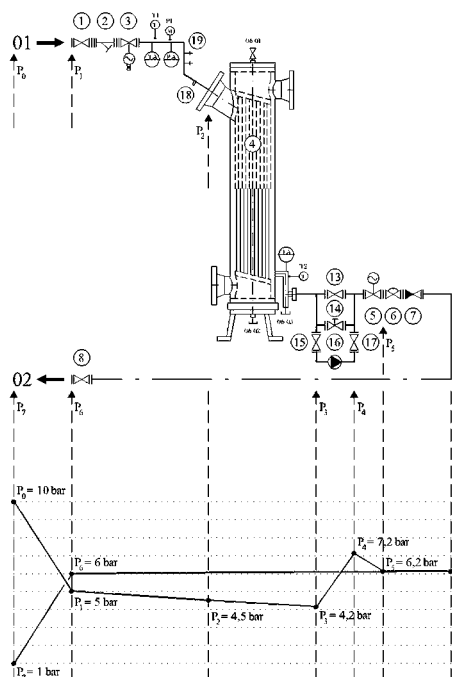
## A. Provoz s kondenzátním čerpadlem (obr. 4)

### První najíždění

- Výchozí stav – armatury na všech vstupech uzavřeny (1, 3, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17).



Obr. 4 Schéma stanice při nedostatečném tlaku páry



Obr. 5 Tlakové diagramy při nedostatečném tlaku páry

- Otevřít armatury (1, 8, 9, 12, 14, 15, 17), ventil (13) uzavřen.
- Uvést do chodu oběhové čerpadlo (18) sekundárního okruhu.
- Po 5 sekundách pomalu otvírat přívod páry (3) – cca 5 minut.
- Uvést do chodu regulaci výkonu v závislosti na výstupní teplotě na sekundární straně (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 sekundární teplotonosné látky 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) + kondenzátní čerpadlo (16) + TA (04).

## Funkční podmínky primárního okruhu

### Zaplavení výměníku kondenzátem

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

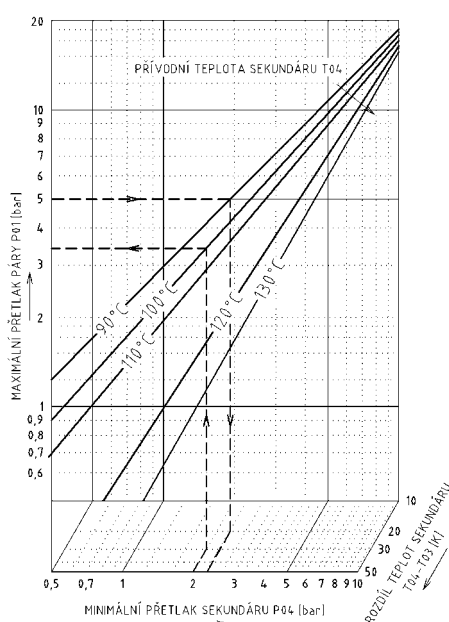
softwarem. Jelikož je možné regulovat výkon výměníku v rozsahu 0 až 100 %, může dojít k situaci, kdy při minimálních výkonech stoupá hladina kondenzátu až do přívodního parního potrubí. Aby se zabránilo vniknutí kondenzátu do parní přípojky, instaluje se před vstupem páry do výměníku čidlo (LA – 01) snímání hladiny. Při dosažení této úrovně hladiny se musí otevřít regulační ventil na straně kondenzátu a opětovně vrátit do provozní polohy. Zajistí se tak částečný odtok kondenzátu, a tím snížení jeho hladiny do prostoru výměníku.

### Vychlazení kondenzátu

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

## Funkční podmínky sekundárního okruhu

Jednou z nejdůležitějších veličin pro správnou funkci sekundární soustavy je statický přetlak. Jeho úroveň je dána bodem varu teplotonosné látky v nejvyšším bodě soustavy. V tomto místě by měl tlak odpovídat tlaku bodu varu přesahovat cca o 0,5 baru. Neméně důležitá je potřebná hodnota statického přetlaku, který zabráňuje odpařování vlivem přehřátí vody v trubkách výměníku v místě vstupu páry do výměníku. Jeho hodnota závisí na konstrukci výměníku, přetlaku páry a provozní teplotě na sekundární straně.



Obr. 6 Funkční podmínky sekundárního okruhu

Při nedodržení těchto vzájemných vazeb může dojít k hlukovým projevům (tlučením) ve výměníku a následné destrukci otopných trubek. V diagramu na obr. 6 jsou znázorněny dva příklady pro stojatý výměník s rovnými trubkami. Podle prvního pojistného kritéria pro otopnou soustavu s výškou 10 m a teplotním spádem 90/70 °C by stačil přetlak 1,5 baru. Podle druhého kritéria místní přehřátí s párou o 5 bar přetlaku je pojističový přetlak u výměníku na straně vody s teplotním spádem 90/70 °C roven 2,6 bar. Z tohoto porovnání vyplývá nutnost posouzení obou vlivů a volba vyšší hodnoty pro pojištění soustavy, což je v daném případě 2,6 bar.

## Závěr

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

- Úplně se odstraňuje odpar kondenzátu. Snižuje se ztráty tepelné energie ve stanici a zvyšuje se její životnost (technologie, MaR a elektro). Zvýšená vlhkost v prostředí stanice s otevřeným parokondenzátním okruhem způsobuje předčasnou korozi a časté poruchy.
- Úplně odstraňuje kondenzátní hospodářství – snižuje pořizovací náklady jak na samotnou stanici, tak na plošné nároky.
- Stabilizuje hydraulické podmínky v kondenzátní síti.
- Podstatně zjednodušuje technologické schéma výměňníkové 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.

Foto a obrázky: archiv autora

## Literatura

1. Neužil, M.: Moderní řešení výměňníkových stanic pára – voda – část 1. Topenářství instalace 4. 2000.
2. Neužil, M.: Moderní řešení výměňníkových stanic pára – voda – část 2. Topenářství instalace 5. 2000.
3. Kotrbatý, M.: Firemní literatura. Stojaté výměňníky pára – voda. www.kotrbaty.cz.
4. Kotrbatý, M.: Připojování odběratelů tepla v soustavách CZT – Část 1. Topenářství Instalace 6. 2002.
5. Cikhart, J., Doubrava J.: Regulace výměňníkových stanic. Topenářská příručka GAS. 2 500 s. 2001.
6. Kotrbatý, M.: Regulace výměňníkových stanic pára – voda s uzavřeným parokondenzátním okruhem. Sborník konference Vykurovanie 2009. Tatranské Matliare.
7. Kotrbatý, M.: Optimální řešení předávacích stanic tepla voda – voda, pára – voda. Sborník konference Vykurovanie 2009. Tatranské Matliare.

Článek byl zpracován z podkladů autora částečně prezentovaných na konferenci Vykurovanie 2009 – Tatranské Matliare a portálu Tzb-info.cz.