

# Výroba technologické a topné páry z tepla odpadních spalin produkovaných elektrickou obloukovou pecí na provozu NS 320 VHM a.s.

Ing. Kamil Stárek, Ph.D., Ing. Kamila Ševelová, doc. Ing. Ladislav Vilimec

**Klíčová slova:** Elektrická oblouková pec, využití odpadního tepla spalin, technologická a topná pára, elektrická energie, soběstačnost

## **Anotace:**

*V době, kdy stoupají ceny primárních surovin, roste tlak na zlepšení hospodaření s energiemi, zvýšení účinnosti zařízení a snížení produkce škodlivin vypouštěných do ovzduší, přišly VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. s myšlenkou zpracovat studii zaměřenou na využití odpadního tepla spalin z elektrické obloukové pece (EOP5). Ve výběrovém řízení na zpracování studie uspěla se svým návrhem nyní již společnost VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s., konkrétně pak oddělení výzkumu a vývoje. V daném příspěvku je představeno navrhované řešení a výchozí podmínky pro jeho návrh.*

## Úvod

Převést myšlenku využití odpadního tepla z elektrické obloukové pece pro výrobu páry do technického řešení si vyžádalo jednak pochopit a popsat samotný proces výroby oceli, omezující kritéria, tak především specifikovat konkrétní parametry charakterizující proces tavení oceli z pohledu produkce odpadního tepla vázaného ve spalinách.

Podklady, které by popisovaly parametry odpadních spalin, nebyly k dispozici. Nedalo se ani vyjít z instalovaného provozního měření na peci. Proto jsme navrhli ve spolupráci s provozovatelem zařízení měření, které sledovalo parametry odpadních spalin celkem šesti taveb. Výsledky měření pak sloužily jako výchozí podklady pro návrh samotného technického řešení.

## Provozní měření na odtahu spalin z EOP5

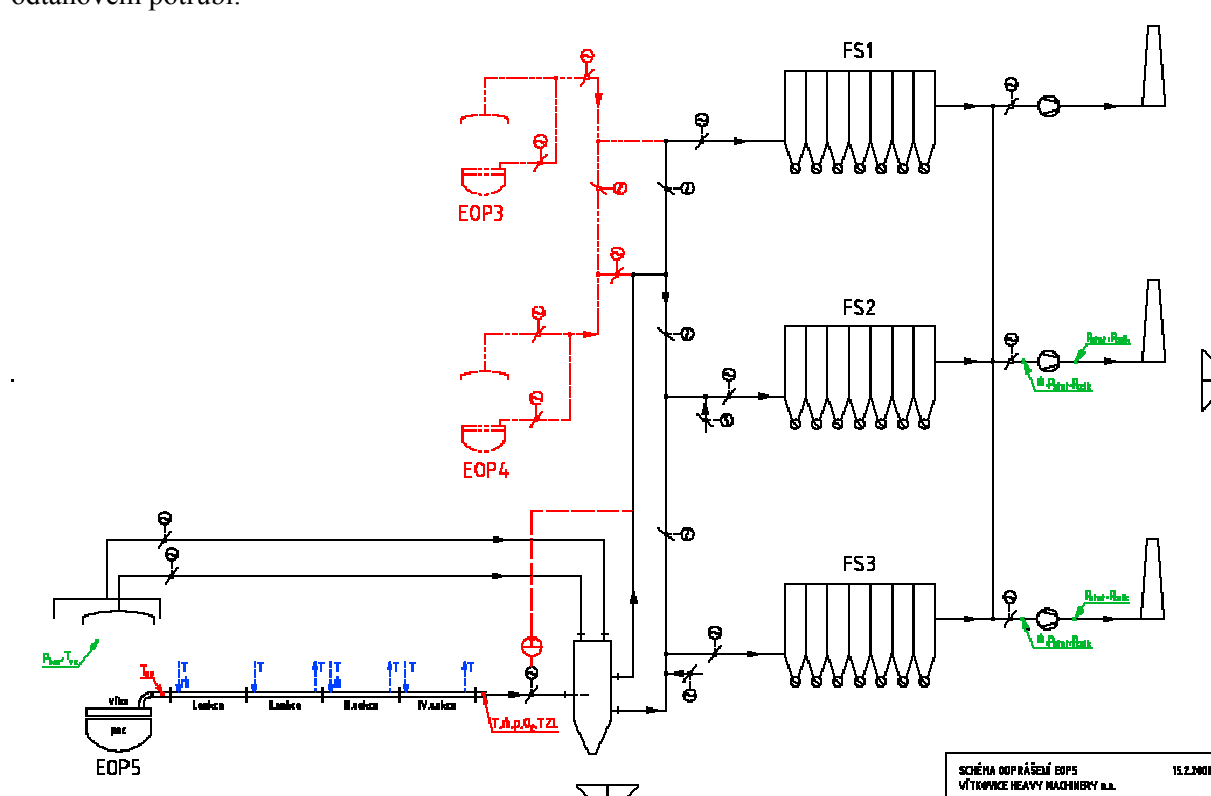
Za technologií pece tvořené tavicí pánví a chlazeným víkem navazuje odtahové potrubí o světlosti 1800 mm. Odtahové potrubí je chlazeno vodou o průtoku 500 m<sup>3</sup>/hod. Skládá se z dospalovací části, mechanického odlučovače žhavých částí a samotných vodou chlazených sekcí. Teplota spalin na výstupu ze závěrečné chlazené sekce odtahového potrubí by neměla překročit hodnotu 450 °C a to z důvodu ochrany materiálu rukávců látkového odlučovače. K tomuto účelu je mezi třetí a čtvrtou chlazenou sekcí vloženo sprchování rozprášenou tlakovou vodou. Využitím výparného tepla a na určené vypařovací dráze má dojít k poklesu teploty spalin pod předepsanou hodnotu. Spaliny jsou za chlazenou částí odtahového potrubí zavedeny do vertikální směšovací komory, kde probíhá jednak směšování odpadních plynů z pecí 3 a 5 s odvětráváním z vnějšího prostoru pece 5, tak i rozdělení průtoku mezi filtrační stanice 1 až 3.

Cílem provozního měření bylo nejenom kvantifikovat parametry spalin po trase chlazeného odtahovaného potrubí, ale také určit vhodnou oblast odběru spalin pro navrhovanou technologii. Odběrové místo muselo splňovat dvě kritéria, a to dostatečné parametry pro výrobu páry a vhodné začlenění do stávající technologie s minimálním dopadem na její provoz.

Měření bylo navrženo tak, aby v žádném případě neovlivnilo provoz samotné pece.

Podmínkou úspěšného měření však bylo instalovat nová měřicí místa na stávajícím odtahovém potrubí. K tomuto účelu jsme využili časového prostroje pece vyčleněného pro její běžnou údržbu.

V průběhu instalace měřicích míst a měřicích plošin odsouhlasených provozovatelem pece, byl zpracován podrobný program měření. Na obr. 1 je znázorněno schéma měřicích míst na chlazeném odtahovém potrubí.



**Obr.1 Schéma odtahu spalin a měřicích míst**

Cílem měření bylo především stanovit průběh teploty spalin po dobu tavby, před chlazenou sekcí 1, 2, 3 a 4 odtahového potrubí za mechanickým odlučovačem tuhých částí, protože zde byly projekční důvody pro možný odběr spalin. Dále pak stanovit průtočné množství odtahovaných spalin za dobu tavby, jejich složení, koncentraci tuhých částic, hodnotu rosného bodu spalin a tlaky v místě měření. Pro stanovení teploty spalin před jednotlivými chlazenými sekcemi byly použity dvě metody. První metoda se opírala o on-line měření teploty spalin v nechlazeném potrubí a o měření tepelného výkonu odvedeného v chladicí vodě v jednotlivých sekcích. Druhá metoda využívala kontaktního on-line měření teploty spalin pomocí termočlánku typu K. Během samotného měření byly zaznamenávány i hodnoty z řídicího systému pece (teplota vody z jednotlivých chladicích okruhů pláště pece, vstupní a výstupní teploty chladicí vody u chladicích věží, počet spuštěných chladicích ventilátorů, průtok chladicí vody, aj.) a byl zaznamenáván samotný proces tavby oceli (vsázka 1 a 2, oxidace a odpich).

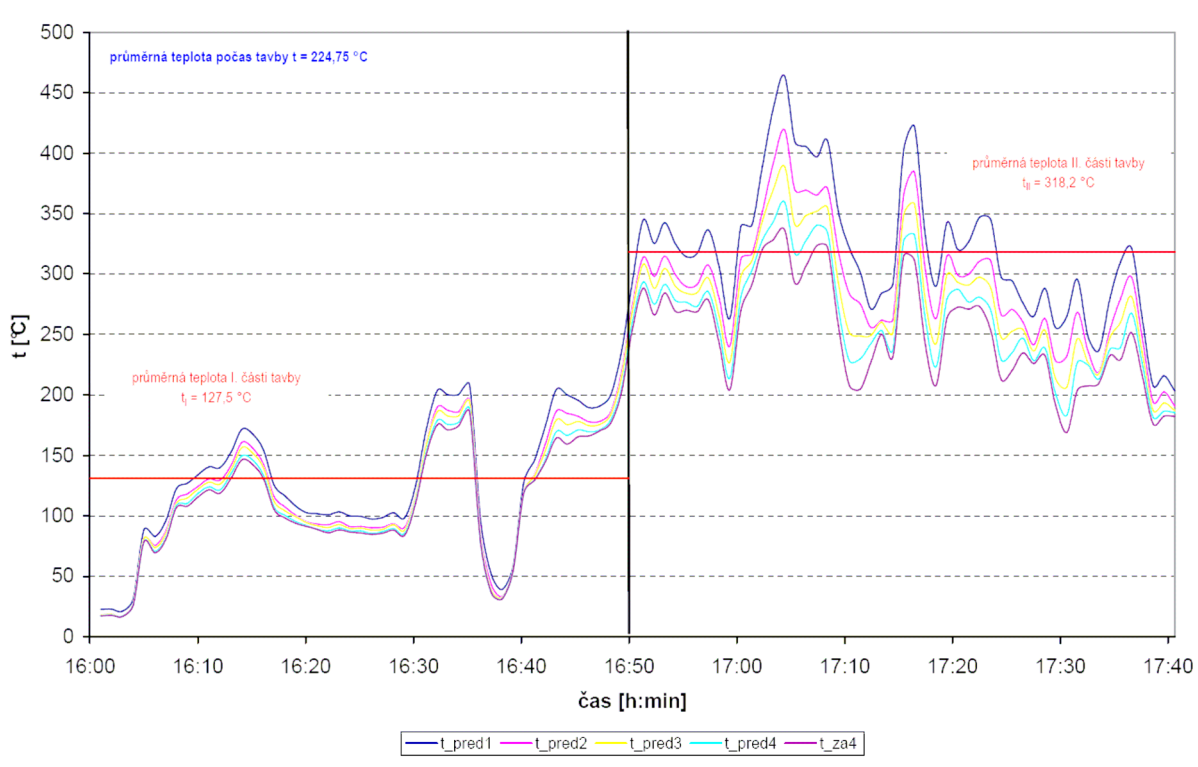
### **Výchozí parametry pro návrh technologie využití odpadního tepla**

Obecně lze konstatovat, že proces výroby oceli v elektrické obloukové peci je charakterizován dvěma oblastmi, a to oblastí s nízkým vývinem tepla a oblastí se zvýšeným vývinem tepla.

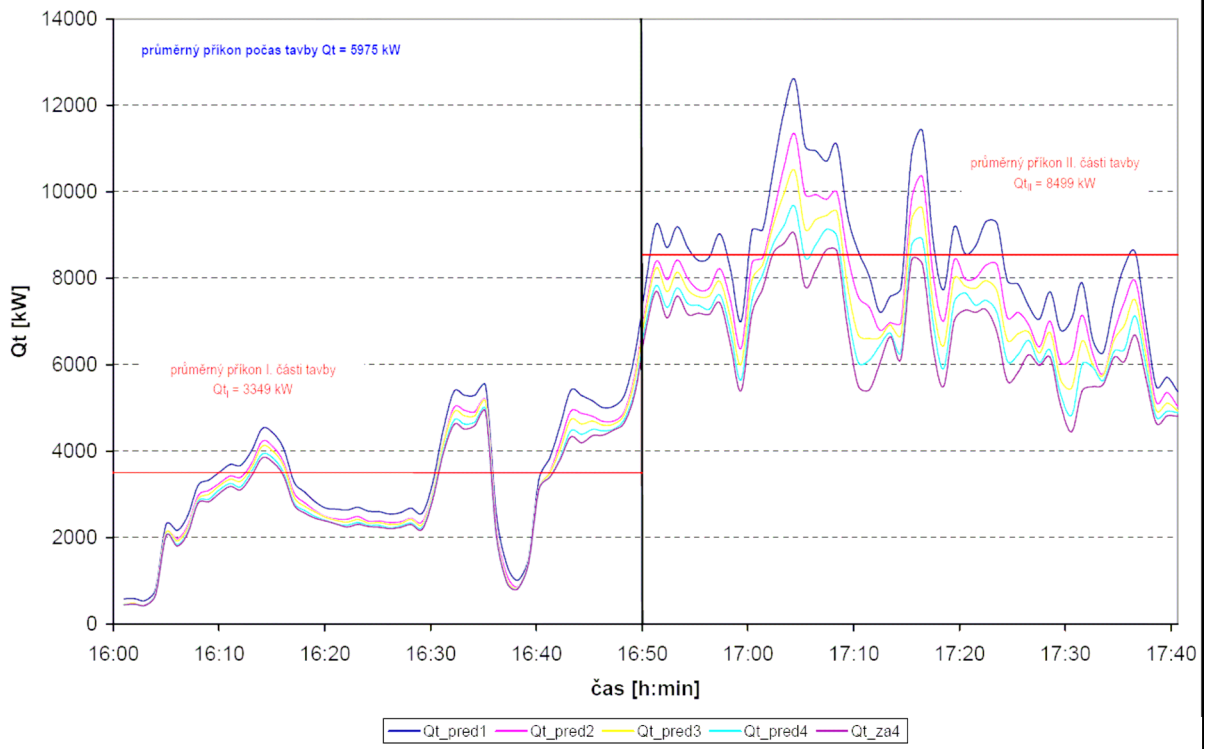
První oblast se týká fáze počátečního tavení oceli až do druhé vsázky. Po vložení druhé vsázky přechází provoz pece do druhé oblasti projevující se zvýšenou teplotou odpadních spalin.

Úroveň tepla v první oblasti provozu pece není možné pro výrobu páry využít. Teplota spalin je dokonce nižší, než je teplota sytosti napájecí vody při daném tlaku. Teprve teplo vázané v odpadních spalinách v druhé oblasti je využitelné pro výrobu páry.

Nejlepší představu o průběhu teplot a tepelných příkonů vázaných ve spalinách před chlazenou sekci odtahového potrubí 1, 2, 3 a 4 dávají obr. 2 a 3.



**Obr.2 Průběh teplot spalin před jednotlivými sekcemi chlazeného odtahového potrubí**

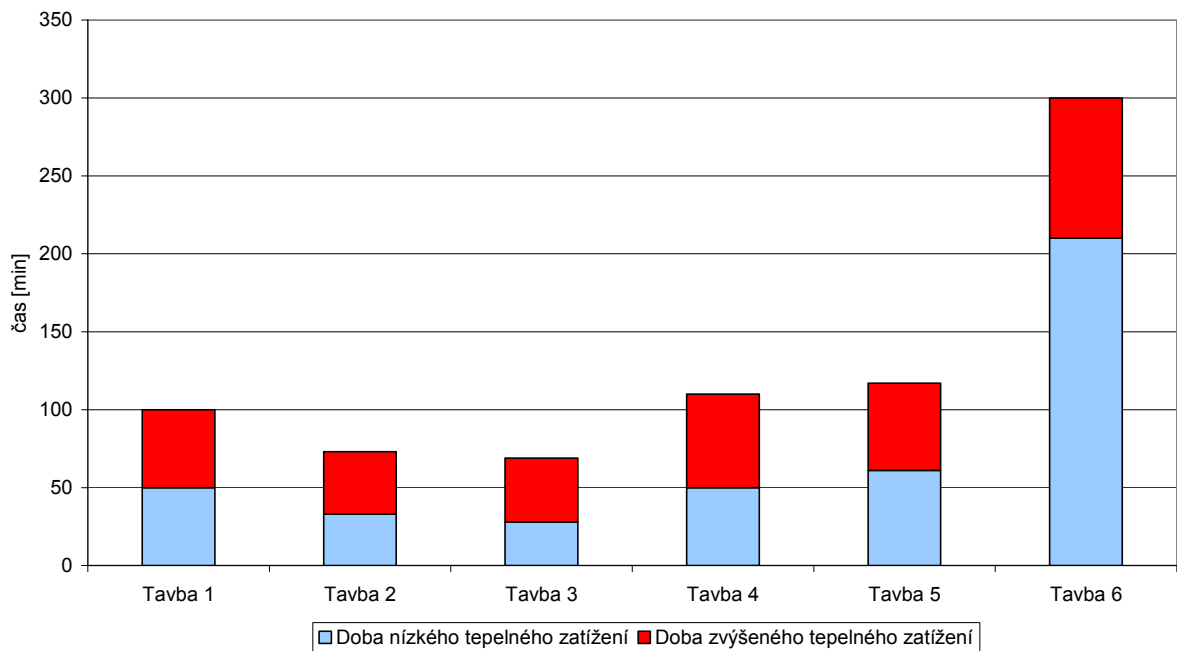


**Obr.3 Průběh tepelných příkonů spalin před jednotlivými sekcemi chlazeného odtahového potrubí**

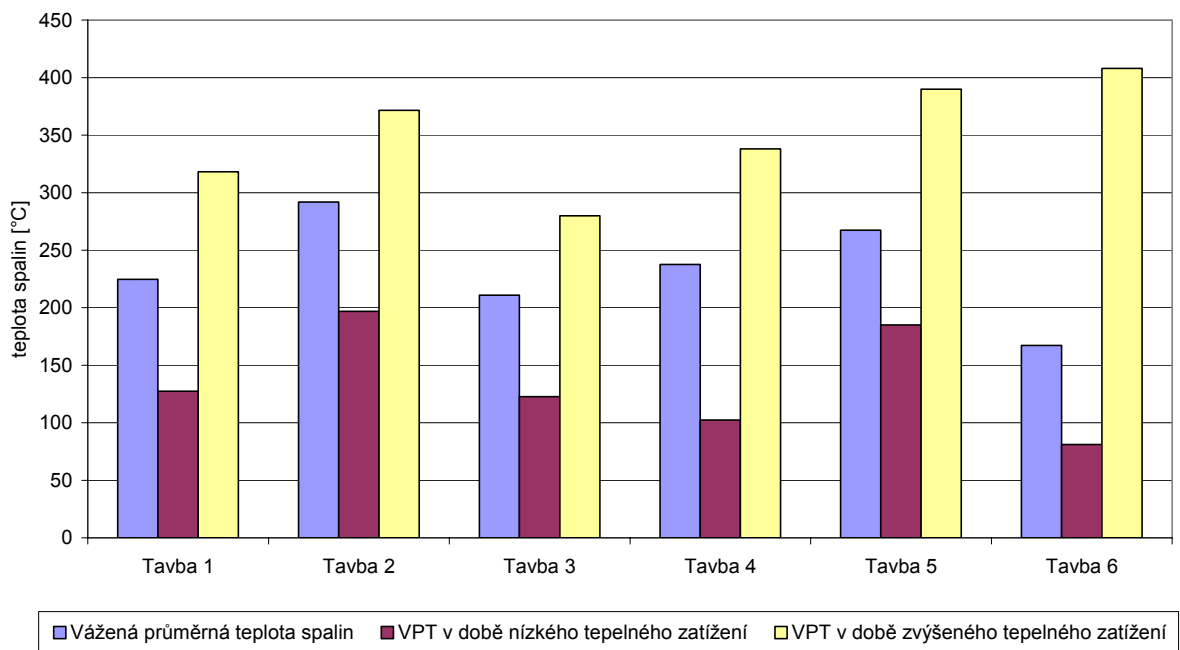
Jako ukázkou typického průběhu teploty a tepelného příkonu byla zvolena tavba 1. Průběh vývinu tepla v peci obr. 2 a 3 korespondoval s výstupním průběhem teplot chladicí vody z pece. Tavba trvala 100 minut. Z časových závislostí vyplývá, že průběh teploty a tepelného příkonu není konstantní, ale projevuje se prudkými změnami hodnot v závislosti na technologii výroby oceli. Daný průběh klade další nároky na vhodný návrh řešení, které nebude mít dopad na jeho provozuschopnost ani životnost.

Dle provedeného měření lze konstatovat, že doba zvýšeného zatížení pece tvoří asi 50 % z celkové doby trvání tavby.

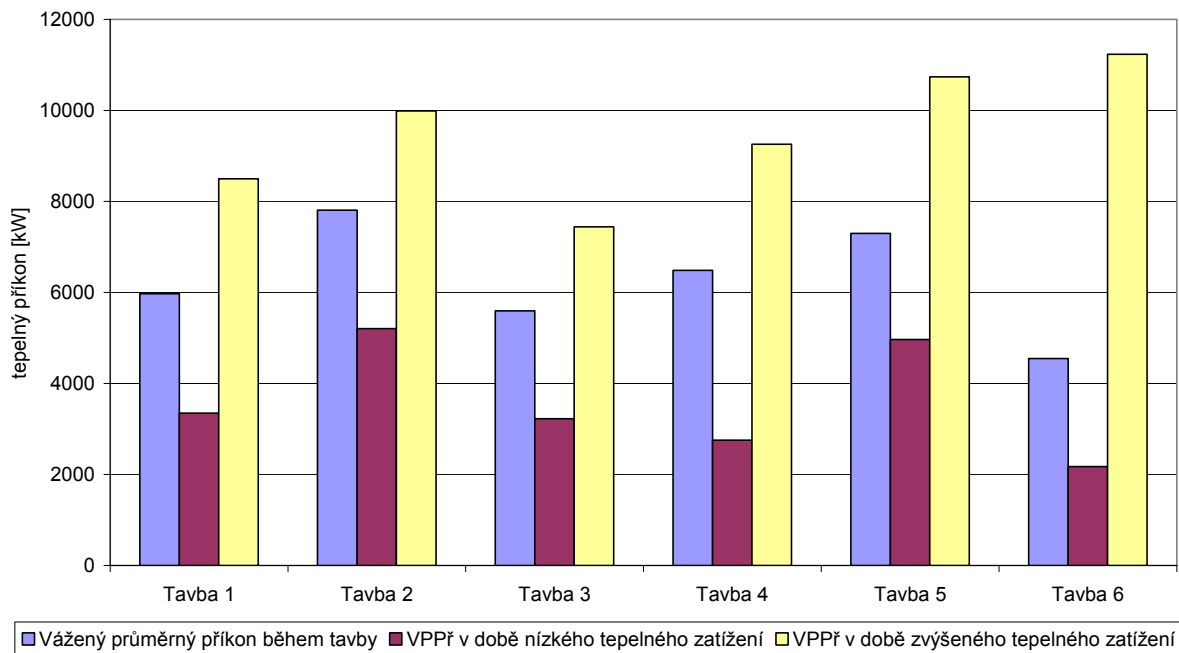
Celkem bylo proměřeno 6 taveb pece. Vlivem různých provozních podmínek nebyly délky taveb stejné. Na následujících obr. 4, 5 a 6 jsou zobrazeny sloupcové grafy, které srovnávají dobu trvání tavby, dobu provozu pece při zvýšeném a sníženém zatížení, průměrné teploty spalin a tepelné příkony.



**Obr.4 Srovnání doby tavby, doby provozu pece při sníženém a zvýšeném zatížení**



**Obr.5 Srovnání průměrných teplot spalin před chladicí sekci 1 odtahového potrubí za dobu tavby a v době zvýšeného a sníženého tepelného zatížení pece**



**Obr.6 Srovnání průměrných tepelných příkonů spalin před chladicí sekci 1 odtahového potrubí za dobu tavby a v době zvýšeného a sníženého tepelného zatížení pece**

Doba tavby se během 6 měření pohybovala v rozmezí 72 až 300 minut, přičemž průměrná doba tavby byla 88 minut.

Během tavby je z pece odtahováno  $74\,088\text{ m}^3_{\text{N}}/\text{hod}$  spalin s proměnnou hodnotou průtoku v rozmezí  $+12$  až  $-8\%$ . Spaliny jsou tvořeny převážně vzduchem, při průměrné koncentraci kyslíku  $17,9\%$ . Z pece jsou kromě spalin odtahovány i tuhé částice tvořené převážně oxidy kovů a uhlíkem, jejichž koncentrace se pohybuje v rozmezí  $3,86$  až  $34,28\text{ g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ .

### Zvolené předpoklady na straně spotřeby

K návrhu samotného řešení bylo nutné stanovit výstupní parametry páry a její spotřebu. V současné době je pára využívána na sekundární metalurgii k pohonu paroproudých vývív při vakuování oceli. Částečně je pára spotřebována i k vytápění pracovních hal pomocí topných registrů.

V době vakuování oceli spotřebovává vývěva páru s intenzitou  $10\text{ tun}$  za hodinu po dobu max.  $25$  minut. Na vstupu do vývěvy musí mít pára min. tlak  $1,0\text{ MPa}$  a přehřátí min.  $20^\circ\text{C}$  nad teplotu sytosti při daném tlaku. Přehřátí páry ze stavu sytosti je zajištěno použitím stávajícího plynového přehříváku. Pára o shodných parametrech je využívána i k vytápění při trvalé spotřebě  $3\text{ tuny}$  za hodinu.

Během měření byla doba trvání tavby průměrně  $88$  minut. Do budoucna se uvažuje s optimalizací provozu na okruhu sekundární metalurgie, což povede ke zkrácení doby trvání tavby na  $72$  minut a ke zvýšení produkce oceli.

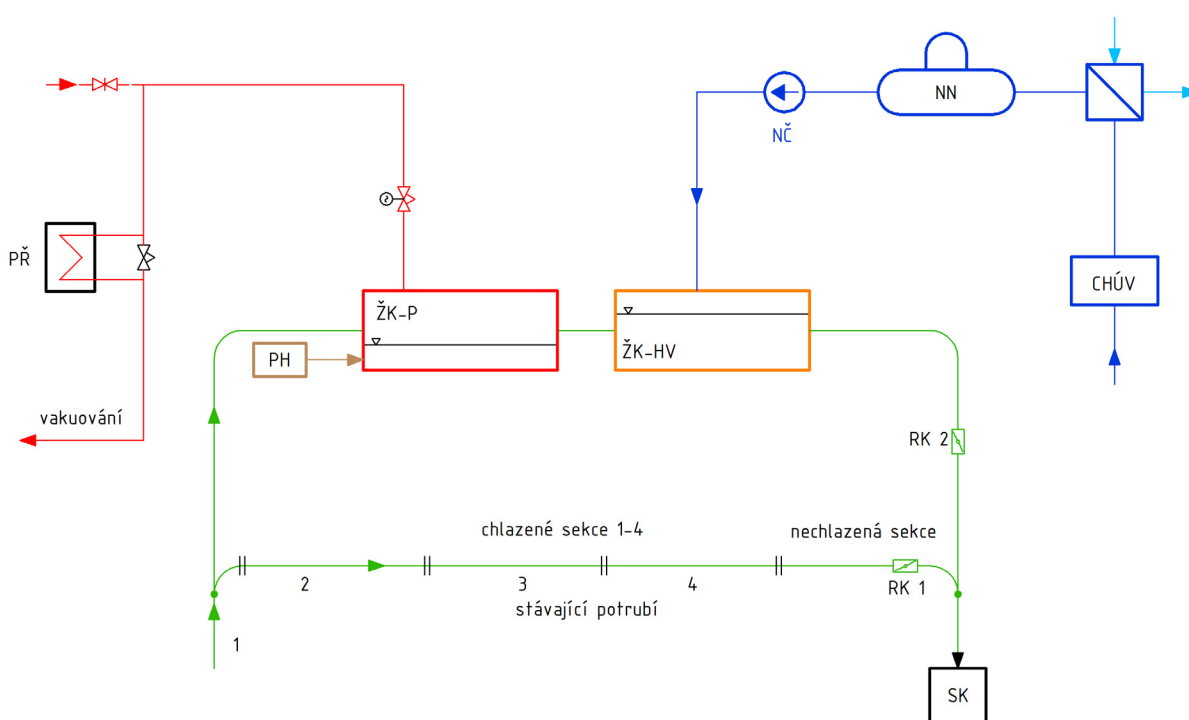
Souběžný provoz dvou vývív lze očekávat až ve  $30\%$  případů, což vyžaduje nárazovou spotřebu páry  $20\text{ tun}$  za hodinu po dobu  $25$  minut.

## Návrh využití odpadního tepla pro výrobu páry

Výše specifikované parametry sloužily pro návrh technologie využívající teplo odpadních spalin z pece na výrobu technologické a topné páry.

V současné době je pára pro sekundární metalurgii dodávána parovodem z Energetiky Vítkovice. Při návrhu řešení jsme byli postaveni před otázku, zdali má daný zdroj zůstat zachován, nebo má být navržené zařízení soběstačné, tedy má zajistit dodávku páry i v době, kdy je vázané teplo v odpadních spalinách deficitní. Přijali jsme druhou variantu a navrhli jsme zařízení, které zajistí dodávku páry i v případě nedostatečného zdroje tepla vázaného v odpadních spalinách nebo při výpadku pece.

Na následujícím obr. 7 je znázorněno technologické schéma navrhovaného řešení.



**Obr.7 Technologické schéma navrhovaného řešení využití tepla odpadních spalin z pece pro výrobu technologické a topné páry**

V kolenové části chlazené sekce 1 odtahového potrubí bylo zvoleno místo odběru spalin. Novým izolovaným potrubím, které kopíruje tvar původního chlazeného odtahového potrubí, jsou spalinové zavedeny do soustavy parního a horkovodního utilizačního kotle. Oba utilizační kotle jsou v žárotrubném provedení. Teplosměnná plocha je tvořena žárovými trubkami, které jsou z vnitřní strany podélně obtékány spalinami a jsou umístěny ve vodním prostoru.

Parní prostor nad hladinou plní současně funkci parního akumulátoru. Teplosměnná plocha parního kotle představuje výparník. Z parního kotle vystupuje pára na stavu sytosti při aktuální hodnotě tlaku v bubnu. Průtok páry na vstupu do parního potrubí je řízen regulačním ventilem.

Druhý kotel zapojený v sérii plní funkci ohříváku vody s parním polštářem, přičemž zvyšuje akumulační schopnost soustavy. Přednosti tohoto systému se projeví při odběru páry a poklesu tlaku v bubnu.

Zdrojem vody pro horkovodní a parní kotel je napájecí nádrž. Horkovodní kotel je napájen demineralizovanou odplyněnou vodou o teplotě 105°C. K odplynění vody je využívána vlastní pára. Průtok napájecí vody je regulován přepouštěním do nádrže. Napájecí nádrž je navržena tak, aby vyrovnávala disproporci v dodávce páry. Množství vody v nádrži může kolísat v rozmezí  $\pm 4,5$  t/hod.

Řešení počítá i s částečným využitím nízkopotencionálního tepla chlazení mechanických částí pece. Teplá voda z chlazení pláště pece je využívána k předehřevu přídavné vody na vstupu do napájecí nádrže na teplotu 45 °C. K tomuto účelu je použit deskový výměník instalovaný za chemickou úpravnou vody. Ochlazená větev je zavedena do sací větve podávacího čerpadla.

Pro výpočet výkonu a stanovení teplosměnné plochy parního a žárotrubného kotle byl zpracován matematický model se zanesením reálného vývinu tepla v peci.

Kotle mohou být provozovány v rozmezí tlaků 1,25 až 3,2 MPa. V době produkce tepla v peci a sníženém odběru páry pracují kotle v akumulacím režimu a stoupá tlak v parním prostoru bubnu. Při zvýšeném odběru páry dochází k vybíjení bubnu provázeného poklesem tlaku až na min. hodnotu 1,25 MPa.

Pro najíždění kotlů, v době nižšího vývinu tepla v peci nebo při zvýšeném odběru páry je aplikován plynový hořák. Spotřeba plynu a tomu odpovídající tepelný příkon hořáku byly stanoveny s ohledem na dosažení co nejvyšší účinnosti využití odpadního tepla.

Kotlem je produkována sytá pára. Paroproudá vývěva však vyžaduje přehřátou páru. Přehřátí páry bude zajišťovat stávající plynový přehřívák instalovaný po trase přívodu páry.

Ze studeného stavu (tlak 0,12 MPa a teplota 105 °C) lze kotle najet na maximální provozní tlak 3,2 MPa za pomoci plynového hořáku o příkonu 11 MW<sub>t</sub> za 43 minut. V případě odběru páry pro vytápění při dosažení min. tlaku v bubnu 1,25 MPa dosáhne kotel maximálního tlaku 3,2 MPa ze studeného stavu za 58 minut.

Rozdělení průtoku spalin mezi kotle na odpadní teplo a původně chlazené odtahové potrubí je realizováno instalací regulačních klapek před společným potrubím přívodu spalin do směšovací komory. Obtokové potrubí bude využíváno i v případě výpadku pece, nebo sníženého vývinu tepla v peci, kdy vstupní teplota spalin je nižší než teplota v bubnu parního kotle anebo při dosažení maximálního provozního tlaku v bubnu.

Ochranu před překročením povolené odechozí teploty spalin do směšovacího kusu zajišťuje klapka přívodu studeného vzduchu nasávaného z okolního prostředí.

### **Využití tlakové energie páry naakumulované v bubnu na výrobu elektřiny**

Průtok páry vývěvou je řízen regulačním ventilem, který maří tlakovou energii páry naakumulovanou v bubnu. Z tohoto důvodu byl s využitím programu Thermoflex proveden návrh točivých redukcí a způsobu regulace řízení umožňující transformovat tepelnou energii páry naakumulovanou za dobu tavby na energii elektrickou při odběru technologické páry a topné páry. Využitím točivých redukcí lze získat nominální elektrický výkon 486 kWe.

## Závěr

Původním záměrem navrhovatele řešení bylo využít odpadní teplo spalin z elektrické obloukové pece na výrobu páry pro pohon paroproudých vývěv a vytápění. Tento záměr byl naplněn využitím žárotrubných kotlů ve spolupráci s přitápěcím hořákem na zemní plyn. Navržené řešení zajistí nejenom dodávku páry o požadovaných parametrech pro provoz sekundární metalurgie a vytápění, výrobu elektřiny, ale nabízí i možnost odpojení se od stávajícího zdroje páry. Provoz sekundární metalurgie není ohrožen ani v případě výpadku pece.

### Literatura

- [1] Stárek, Kamil - Ševelová, Kamila – Berka, Ivo. Nabídka – Studie využití odpadního tepla EOP5, 11/2007.
- [2] Stárek, Kamil – Milčák, Pavel – Ševelová, Kamila. Měření parametrů v odtahovém potrubí pece, 2/2008.
- [3] Stárek, Kamil – Milčák, Pavel. Doplnující měření parametrů v odtahovém potrubí pece EOP5 – zhodnocení naměřených výsledků, 3/2008.
- [4] Stárek, Kamil – Milčák, Pavel – Ševelová, Kamila. Zadání pro návrh žárotrubného parního a horkovodního kotle, 4/2008.

**Ing. Kamil Stárek, Ph.D.**, VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s., Ruská 1142/30, 70602 Ostrava – Vítkovice, e-mail: [kamil.starek@vitkovice.cz](mailto:kamil.starek@vitkovice.cz)

**Ing. Kamila Ševelová**, VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s., Ruská 1142/30, 70602 Ostrava – Vítkovice, e-mail: [kamila.sevelova@vitkovice.cz](mailto:kamila.sevelova@vitkovice.cz)

**doc. Ing. Ladislav Vilimec**, VŠB – TU Ostrava, 17. listopadu, 708 33, Ostrava – Poruba, e-mail: [ladislav.vilimec@vsb.cz](mailto:ladislav.vilimec@vsb.cz), 597 324 484, 728 856 502

