

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/305816941>

Optimalizácia spotreby energie poloprevádzkového papierenského stroja aplikáciou moderného výmenníka tepla

Article in *Energetika* - January 2015

CITATIONS

0

READS

60

4 authors:



A. Pažitný

Výskumný ústav papiera a celulózy

20 PUBLICATIONS 37 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Š. Boháček

Výskumný ústav papiera a celulózy

23 PUBLICATIONS 42 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Peter Medo

Výskumný ústav papiera a celulózy

7 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



J. Balberčák

Výskumný ústav papiera a celulózy

9 PUBLICATIONS 19 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Utilization of Fiber Obtained from Waszed Agglomerated Wood Based Materials [View project](#)



Increase of efficiency of heat recovery in paper industry [View project](#)

Optimalizácia spotreby energie poloprevádzkového papierenského stroja aplikáciou moderného výmenníka tepla

Andrej Pažitný, Štefan Boháček, Peter Medo, Jozef Balberčák

ABSTRAKT: V rámci energeticky náročných priemyselných odvetví, kam sa zaraďuje aj papierenský priemysel, sa dnes značná časť priemyselného výskumu orientuje na vývoj nových komerčne dostupných zariadení, ktoré majú schopnosť zužitkovať odpadové teplo generované rôznymi fyzikálnymi procesmi. V papierenskom podniku ide o prekonanie výparného tepla vody $2,257 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, pričom voda z papierenskej vodolátky s pôvodnou konzistenciou 0,7–1,5 % prejde z kvapalného skupenstva do plynného až v sušiackej časti papierenského stroja. V tejto časti sa odstraňuje najväčšie množstvo vody v celom procese výroby papiera odparením na sušiacich valcoch, keďže mechanicky odstránená voda tvorí až 55,4 % z obsahu papieroviny, ktorá bola upravená v mokrej zóne papierenského stroja. Teplo odchádzajúce zo sušiacich valcov nachádzajúcich sa pod krytom papierenského stroja do okolia valcov pritom možno odvádzať buď do atmosféry, alebo do výmenníka tepla, ktorý možno využiť pri ohreve nátoky papierenskej vodolátky v mokrej časti papierenského stroja. Príspevok pojednáva o vhodnom umiestnení moderného výmenníka tepla a jeho prepojení s krytom sušiackej časti poloprevádzkového papierenského stroja. Prostredníctvom tohto prototypu výmenníka tepla s protiprúdovým usporiadaním možno po ustálení systému dosiahnuť účinnosť rekuperácie tepla až 93,7 %.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: papierenský priemysel, špirálový výmenník tepla, odpadové teplo, termodynamické veličiny, účinnosť rekuperácie tepla

ABSTRACT: In the context of energy-intensive industries, which also includes the paper industry, a significant part of industrial research focuses today on the development of new commercially available equipments that have the ability to utilize the waste heat generated in various physical processes. In the paper mill, it is necessary to overcome the heat of vaporization of water $2,257 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Water from paper pulp-water slurry with original consistency from 0,7 to 1,5 % will pass from the liquid phase to the vapour phase in the drying section of paper machine. If the whole process of making paper is considered, the largest amount of water is removed by evaporating on drying cylinders just in that section, whereas the mechanically removed water comprises up to 55,4 % of the content of pulp stock which is treated in the wet zone of the paper machine. The heat leaving from drying cylinders situated under fume hood of paper machine to environment of the cylinders can be led away either to the atmosphere or to the heat exchanger which is utilizable at heating of inlet of paper pulp-water slurry in wet part of paper machine. The article deals with suitable location of modern heat exchanger and its linking with fume hood of drying section of pilot paper machine. Through this prototype of heat exchanger with countercurrent flow it is possible to achieve the efficiency of heat recovery to 93,7 % after stabilization of the system.

KEYWORDS: paper industry, spiral heat exchanger, waste heat, thermodynamic quantities, heat recovery efficiency

1. Úvod

Papierenské podniky sa spolu s podnikmi drevárskeho priemyslu delia o piate miesto v spotrebe energie spomedzi všetkých priemyselných odvetví. Navyše papierenský priemysel má najvyššiu spotrebu vody na 1 tonu výrobku v porovnaní s ktorýmkoľvek iným priemyselným odvetvím. Z toho dôvodu je preto na mieste otázka optimálneho využitia produkovanej energie, teda otázka optimálnej spotreby energie papierenských strojov aplikáciou moderných výmenníkov tepla. Nízkopotenciálové teplo produkované v papierenskom podniku s podielom v rozmedzí 50 až 60 % je pritom energetickým odpadom s najväčším potenciálom, ktorý možno vypúšťať do atmosféry alebo ho zužitkovať práve vo výmenníku tepla [1]. V súčasnosti sa v menších prevádzkach papierenského priemyslu pre účely zužitkovania odpadového tepla používajú rekuperačné zariadenia, ktoré nemajú explicitne charakter protiprúdovej výmeny tepla, pričom v priemysle sa bežne využíva sieť výmenníkov tepla založená na pinch-technológii [2]. Aktuálne hodnoty jednotlivých parametrov procesov, a teda aj rekuperácie tepla v celulózo-papierenskom priemysle možno súčasne meniť prostredníctvom neurónových sietí,

ktoré predstavujú oblasť spracovania informácií, rozpoznávanie zložitých signálov, učiace sa expertné systémy, adaptívne riadenie v reálnom čase a úlohy optimalizačného charakteru za zložitých, časovo premenlivých podmienok [3]. Uvedenými opatreniami v papierenskom podniku možno efektívne zvýšiť využiteľnosť odpadového tepla s nízkym potenciálom až o 20 %, avšak zavedením protiprúdového výmenníka možno podiel využitého odpadového tepla zvýšiť ešte viac.

2. Vlastnosti protiprúdového výmenníka tepla

Vo veľkých papierenských podnikoch a v prípade niektorých menších výrobcov papiera sa používajú rekuperačné zariadenia s nízkou účinnosťou v rozmedzí 50 až 60 % z odvedeného nízkopotenciálového tepla, v prípade nízkotonážnych výrobných papiera rekuperácia tepla dokonca zavedená nie je. Zavedením inovatívneho tepelného výmenníka na báze špirály možno pritom zvýšiť významne účinnosť rekuperácie tepla. Špirálové výmenníky tepla majú pritom viacero výhod, napr. samočistiaci efekt, ktorý prispieva k minimalizácii znečistenia teplovýmennnej plochy, protiprúdové usporiadanie, vysoké hodnoty súčiniteľa prechodu tepla a nízke náklady na údržbu

vďaka jednoduchému prístupu k vnútorným častiam výmenníka. Okrem uvedených výhod majú špirálové výmenníky veľmi nízku tlakovú stratu a sú s nimi spojené nízke náklady na inštaláciu, keďže majú kompaktné rozmery. Postupy konštrukcie a vlastnosti materiálov použitých pri konštrukcii výmenníka tepla s protiprúdovým usporiadaním boli publikované vo viacerých vedeckých prácach [4-7]. **Tab. 1** sumarizuje základné vlastnosti výmenníka tepla na báze špirály, ktoré sú udávané pre známe parametre vlhkého vzduchu vychádzajúceho spod krytu sušiackej časti poloprevádzkového papierenského stroja, pričom rýchlosť prúdenia vzduchu vo výmenníku tepla bola optimalizovaná na úrovni $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hodnota rýchlosti na úrovni $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sa môže meniť podľa typu papierenského stroja [8] a tiež podľa povahy prúdenia vo vybranej oblasti odťahovania rekuperovaného vzduchu.

3. Teplotný profil sušiackej časti poloprevádzkového papierenského stroja

Tab. 2 uvádza teploty valcov v sušiackej časti poloprevádzkového papierenského stroja a v ich okolí. Teploty boli merané teplomerom na báze infračerveného žiarenia (HD 500, Extech Instruments Corporation, USA). Merania teploty boli realizované na poloprevádzkovom papierenskom stroji Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s., Bratislava. Ako vidno z **tab. 2**, sušiacia časť poloprevádzkového papierenského stroja zahŕňa 16 sušiacich valcov. Povrchové teploty, resp. teploty okolia valcov sa líšia v niektorých prípadoch nesusediacich valcov významne. Avšak aj v prípade niektorých susediacich sušiacich valcov je situácia podobná (valce č. 15 a 16). Výsledky meraní ukázali, že najvhodnejšie umiestnenie odťahového potrubia je v strednej oblasti sušiackej časti papierenského stroja, konkrétne nad valcom č. 8, keďže v tomto prípade bola dosiahnutá najvyššia teplota okolia spomedzi všetkých meraní ($48,7 \text{ }^\circ\text{C}$), a to aj napriek tomu, že povrchová teplota valca tu nedosahovala maximum. Maximálna teplota povrchu valca bola dosiahnutá na valci č. 15 ($110,8 \text{ }^\circ\text{C}$), avšak z technických dôvodov a tiež z dôvodu nízkej teploty okolia valca č. 15 ($42,3 \text{ }^\circ\text{C}$) bolo vhodnejšie umiestniť ústie potrubia napojeného na špirálový výmenník tepla nad valec č. 8. Následné merania účinnosti rekuperácie tepla boli realizované s vlhkým teplým vzduchom, ktorý bol odťahovaný práve z tejto oblasti sušiackej časti papierenského stroja. Potrubie bolo tepelne izolované a boli na ňom minimálne tepelné straty, takže špirálový výmenník tepla s protiprúdovou výmenou tepla bol umiestnený niekoľko metrov od ústia potrubia (**obr. 1**).

4. Výpočet účinnosti rekuperácie tepla

Pre výpočet výkonu výmenníkov tepla možno využiť modifikovanú ε -NTU metódu [9] pre krížové výmenníky tepla, v ktorých sú aplikované dve nemiešané teplovýmenné médiá. ε -NTU metóda bola prvýkrát použitá Londonom a Sebanom [10] a možno ju aplikovať na moderné výmenníky tepla, resp. slúži v pomocnej línii pre výskum analogických výmenníkov tepla [11]. Vstupnými údajmi pre výpočet tepelného výkonu výmenníka tepla sú okrem definovanej geometrie výmenníka vstupné teploty médií a ich hmotnostné prietoky, ktoré možno vypočítať na základe meraných parametrov teplovýmenných médií. Preto nie sú nutné komplikované iterácie výstupnej teploty čerstvého prúdu vzduchu a rekuperovaného vzduchu, ktoré sú vo väčšine prípadov neznámou veličinou. Nevýhodou metódy je však nutnosť použitia presne daného typu výpočtu účinnosti z dôvodu premenlivých pomerov tepelných tokov čerstvého a rekuperovaného vzduchu. Autori metódy vychádzali z výpočtu efektivity ε , ktorá je pomerom

Tab. 1. Vlastnosti jednotky na rekuperáciu tepla pre známe parametre vzduchu

Veličina/parameter	Jednotka	Hodnota
Vonkajšie rozmery jednotky	mm x mm x mm	891 x 852 x 555
Hrúbka plechu špirály	mm	0,5
Efektívna dĺžka plechu špirály	m	22,72
Efektívna šírka plechu špirály	mm	460
Šírka medzery pre prúdenie vzduchu	mm	25
Hydraulický priemer	mm	47
Vnútorný priemer pre vstup potrubia s kruhovým prierezom	mm	100
Hustota vzduchu pri $37 \text{ }^\circ\text{C}$ a $101,4 \text{ kPa}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1,139
Kinetická viskozita vzduchu pri $37 \text{ }^\circ\text{C}$ a $101,4 \text{ kPa}$	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$1,6704 \cdot 10^{-5}$
Maximálna rýchlosť prúdenia vzduchu pri $37 \text{ }^\circ\text{C}$ a $101,4 \text{ kPa}$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	4,5
Optimálna rýchlosť prúdenia vzduchu pri $37 \text{ }^\circ\text{C}$ a $101,4 \text{ kPa}$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	3,6

Tab. 2. Teploty valcov poloprevádzkového papierenského stroja a ich okolia

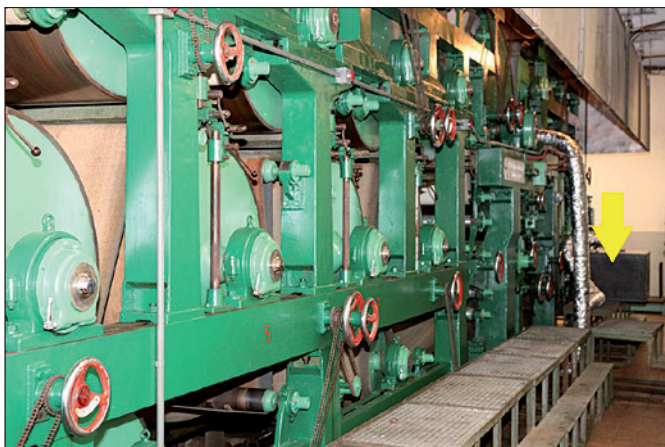
Poradie valca	Priemerná teplota vzduchu okolia valca ($^\circ\text{C}$)	Teplota povrchu valca ($^\circ\text{C}$)	Vhodnosť odťahovania vzduchu pre účely rekuperácie tepla
1	30,0	57,7	nevhodné
2	35,1	106,2	vhodné
3	35,1	106,1	vhodné
4	35,5	106,4	vhodné
5	39,8	107,1	vhodné
6	42,9	107,2	nevhodné
7	45,6	107,5	nevhodné
8	48,7	107,6	vhodné
9	46,6	108,1	nevhodné
10	45,0	108,6	vhodné
11	45,1	108,7	nevhodné
12	45,8	108,9	vhodné
13	44,1	109,8	vhodné
14	40,5	110,3	vhodné
15	42,3	110,8	vhodné
16	34,2	40,2	nevhodné

skutočného tepelného toku \dot{Q} a maximálneho možného tepelného toku \dot{Q}_{\max} , ako to znázorňuje nasledujúci vzťah (1).

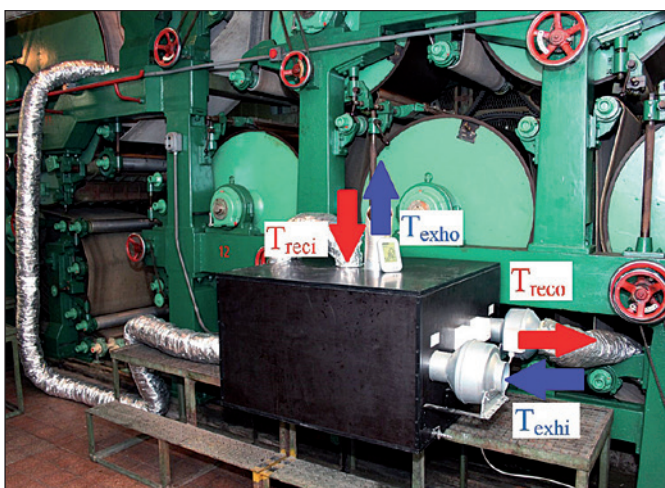
$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (1).$$

Účinnosť výmenníka tepla je definovaná ako pomer skutočného tepelného toku \dot{Q} a optimálneho tepelného toku \dot{Q}_{opt} podľa vzťahu (2).

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\text{opt}}} \quad (2).$$



Obr. 1. Sušiacia časť poloprevádzkového papierenského stroja Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s., Bratislava s inštalovaným špirálovým výmenníkom tepla

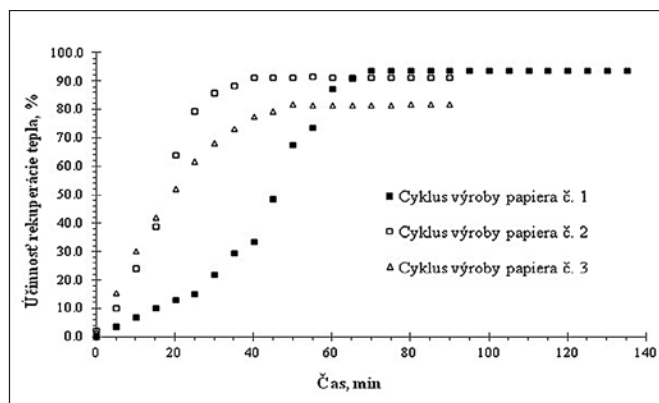


Obr. 2. Integrácia špirálového výmenníka tepla do technológie sušenia papiera. Červenou, resp. modrou farbou sú znázornené merané teploty teplého, resp. studeného prúdu vzduchu na vstupe a výstupe z výmenníka tepla

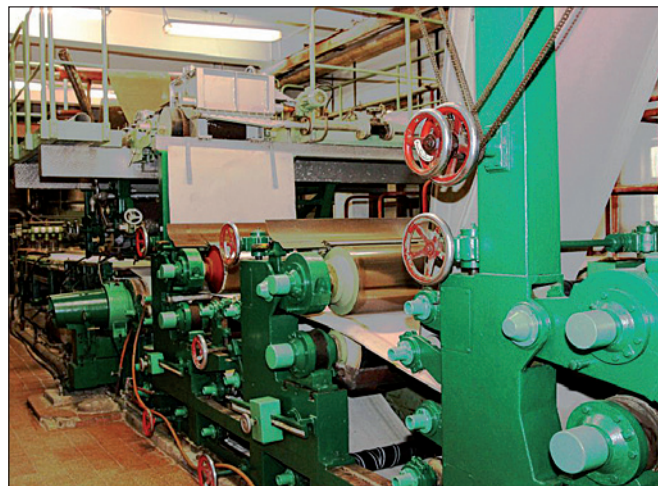
Vzťah medzi účinnosťou výmenníka tepla a efektívnosťou podľa ε -NTU metódy je po kombinácii rovníc (1) a (2) daný vzťahom (3).

$$\eta = \frac{\varepsilon \dot{Q}_{\max}}{\dot{Q}_{\text{opt}}} \quad (3)$$

Poloprevádzkové skúšky boli realizované podľa skôr publikovanej metodiky, ktorá bola aplikovaná na prevádzkový papierenský stroj [8]. Prúd čerstvého vzduchu vchádzajúci príslušným otvorom do výmenníka tepla s teplotou T_{exhi} a vychádzajúci otvorom s teplotou T_{exho} bol vo výmenníku tepla protiprúdovo ohrievaný teplým prúdom vzduchu vychádzajúceho spod krytu sušiackej časti poloprevádzkového papierenského stroja, ktorý mal na vstupe do výmenníka tepla cez príslušný otvor potrubia teplotu T_{reco} a na výstupe z výmenníka tepla teplotu T_{reci} . Prítok vzduchu bol meraný anemometrom GM 816 (GM 816, Sinokit Enterprise Limited, Čína) umiestneným v systéme potrubí. Rovnomernosť prúdenia vzduchu



Obr. 3. Distribúcia časovej závislosti účinnosti špirálového výmenníka tepla počas troch cyklov výroby papiera na poloprevádzkovom papierenskom stroji pri optimálnom nastavení procesových parametrov



Obr. 4. Mokrú časť poloprevádzkového papierenského stroja Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s., Bratislava

v potrubí bola regulovaná ventilátormi v potrubnom systéme. Vstupné a výstupné teploty oboch prúdov vzduchu (tab. 3) boli merané on-line počas sušiacieho procesu pri výrobe papiera (**obr. 2**), pričom proces pozostával z troch cyklov. Uvedené teploty slúžili pre výpočet účinnosti výmenníka tepla η v závislosti od času. Tepelné toky v rovniciach (1) až (3) sú funkciou termodynamických veličín. Pri poloprevádzkových skúškach možno vplyv teploty vzduchu na jeho termodynamické parametre ako hustota, merná tepelná kapacita a vplyv relatívnej vlhkosti vlhkého vzduchu pre potreby zjednodušenia výpočtu zanedbať a následne bude platiť zjednodušený vzťah (4) pre výpočet účinnosti výmenníka tepla.

$$\eta = \frac{T_{\text{exho}} - T_{\text{exhi}}}{T_{\text{reco}} - T_{\text{reci}}} 100\% \quad (4)$$

Časová závislosť účinnosti procesu je znázornená na **obr. 3**. V rámci poloprevádzkových skúšok výmenníka tepla bolo zistené, že maximálna hodnota účinnosti výmenníka tepla spomedzi troch cyklov poloprevádzkovej výroby papiera bola dosiahnutá v 70. minúte prvého cyklu, pričom hodnota účinnosti výmenníka tepla bola na úrovni 93,7 %. Maximálna

Tab. 3. Závislost účinnosti rekuperácie tepla od času merania pri troch nezávislých cykloch poloprevádzkovej výroby papiera

Čas (min)	T _{exho} (°C)			T _{reci} (°C)			T _{exhi} (°C)			T _{reco} (°C)			η (%)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	28,9	33,9	36,8	28,8	29,6	32,0	22,7	24,3	25,6	22,7	24,2	25,5	0,0	2,3	2,1
5	29,1	34,1	37,1	26,4	30,2	32,6	22,9	24,9	26,2	22,8	24,5	25,5	3,7	10,3	15,6
10	29,5	34,2	37,2	26,6	30,5	32,6	23,0	25,5	27,0	22,8	24,6	25,6	6,9	24,3	30,4
15	29,9	34,3	37,2	27,0	30,7	32,7	23,3	26,0	27,5	23,0	24,6	25,6	10,3	38,9	42,2
20	30,3	34,4	37,2	27,2	30,8	32,8	23,4	26,9	27,9	23,0	24,6	25,6	12,9	63,9	52,3
25	30,7	34,4	37,1	27,4	31,0	32,9	23,5	27,4	28,2	23,0	24,7	25,6	15,2	79,4	61,9
30	31,0	34,5	37,0	27,8	31,0	32,9	23,8	27,6	28,4	23,1	24,6	25,6	21,9	85,7	68,3
35	31,4	34,6	37,0	28,0	31,2	32,9	24,2	27,7	28,6	23,2	24,7	25,6	29,4	88,2	73,2
40	31,8	34,7	36,9	28,2	31,2	32,9	24,5	27,7	28,7	23,3	24,5	25,6	33,3	91,4	77,5
45	32,0	34,8	36,9	28,5	31,3	33,0	25,2	27,8	28,7	23,5	24,6	25,6	48,6	91,4	79,5
50	32,3	34,8	36,9	28,9	31,3	33,0	25,9	27,6	28,8	23,6	24,4	25,6	67,6	91,4	82,1
55	32,4	35,1	36,8	29,0	31,5	33,0	26,1	27,8	28,7	23,6	24,5	25,6	73,5	91,7	81,6
60	32,4	35,0	36,8	29,2	31,6	33,0	26,4	27,9	28,7	23,6	24,8	25,6	87,5	91,2	81,6
65	32,6	35,1	36,8	29,3	31,7	33,0	26,8	28,0	28,7	23,8	24,9	25,6	90,9	91,2	81,6
70	32,6	35,2	36,8	29,4	31,7	33,0	26,9	28,0	28,7	23,9	24,8	25,6	93,7	91,4	81,6
75	32,6	35,2	36,8	29,4	31,8	33,0	26,9	27,9	28,7	23,9	24,8	25,6	93,7	91,2	81,6
80	32,6	35,3	36,9	29,4	31,8	33,0	26,9	27,9	28,7	23,9	24,7	25,5	93,7	91,4	82,1
85	32,6	35,4	36,9	29,4	31,9	33,0	26,9	27,8	28,7	23,9	24,6	25,5	93,7	91,4	82,1
90	32,6	35,4	36,9	29,4	31,9	33,0	26,9	27,8	28,7	23,9	24,6	25,5	93,7	91,4	82,1
95	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
100	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
105	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
110	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
115	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
120	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
125	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
130	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-
135	32,6	-	-	29,4	-	-	26,9	-	-	23,9	-	-	93,7	-	-

hodnota účinnosti po ustálení systému počas druhého cyklu výroby papiera mierne klesla v 70. minúte tohto cyklu na úroveň 91,4 % a počas tretieho cyklu bola po ustálení na konečnej úrovni 82,1 %. Zmeny účinnosti pri tepelnej výmene mohli nastať vplyvom tvorby kondenzátu z vodnej pary, čo však vyžaduje ďalší výskum v tejto oblasti.

Prebytkový sušiaci vzduch odchádzajúci spod sušiaceho krytu papierenského stroja obsahuje paru s vysokým obsahom tepla, ktorého časť možno rekuperáciu zužitkovať, napr. odvádzaním rekuperovaného prúdu teplého vzduchu tepelne izolovaným potrubím vedúcim od rekuperačného zariadenia k výmenníku tepla. Výmenník tepla a nátokovú skriňu umiestnenú v mokrej časti papierenského stroja (obr. 4) možno prepojiť sprchovým chladičom. Získa sa tým časť vlhkosti teplého vzduchu vo forme teplej vody, ktorá sa dá zmiešať s vodou v nátokú vodolátky. Pri nátokú papierenského stroja sa využíva voda s teplotou 19,3 °C a prietokom 2,891 kg.s⁻¹. Po opustení chladiča sa získa 0,746 kg.s⁻¹ vody (60 % vody zo vzduchu odchádzajúceho z krytu) s teplotou 35,0 °C. Pri zmiešaní tejto vody s vodou z nátokú možno dosiahnuť novú

teplotu nátokú s hodnotou 22,5 °C. Všeobecne je známe, že so zvyšovaním teploty suspenzie buničiny dochádza k jej lepšiemu odvodneniu, s čím sú teda spojené nižšie prevádzkové náklady. Pre účely rekuperácie tepla v priemysle sa už v súčasnosti používajú rôzne typy prevádzkových rúrkových výmenníkov tepla. Ich náhradou za navrhovaný špirálový rekuperačný výmenník tepla však možno dosiahnuť zvýšenie účinnosti rekuperácie tepla z dôvodu totálnej protiprúdnej výmeny tepla [12] a znížovanie straty energetickej potenciálu medzi technologickými prúdmi s rôznou teplotou. Zvýšením účinnosti rekuperácie sa dosiahne zníženie prevádzkových nákladov a taktiež pozitívne environmentálne dopady podnikov v papierenskom priemysle.

5. Záver

Poloprevádzkové testy výmenníka tepla dimenzovaného na základe technických skúseností v priemysle a implementovaného do výroby papiera na poloprevádzkovom papierenskom stroji ukázali, že vhodným umiestnením potrubia odvádzajúceho prebytkový teplý vzduch obohatený o vodnú paru

odchádzajúci spod krytu sušiackej časti papierenského stroja možno dosiahnuť účinnosť rekuperácie tepla až 93,7 % už v prvom cykle výroby papiera. V ďalších dvoch cykloch sa pravdepodobne vznikom malého množstva kondenzátu maximálna účinnosť rekuperácie tepla znížila na úroveň 91,4 %, resp. 82,1 %. Uvedený výmenník tepla možno testovať aj v prevádzkových podmienkach pri dodržaní určitých obmedzení, ktoré môžu pri prevádzkovej výrobe papiera nastať, ako je napr. tvorba väčšieho množstva kondenzátu, prípadne možno navrhnuť podobný výmenník tepla, ktorý by pri rovnakých výrobných podmienkach bol prepojený so sprchovým chladičom, v ktorom kondenzuje para z výroby papiera. Kondenzát – vzniknutú teplú vodu možno následne použiť na dodatočný ohrev nátoky vodolátky, čím sa ušetria prevádzkové náklady z dôvodu lepšieho odvodnenia suspenzie buničiny.

Pod'akovanie:

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0788-11.

Literatúra:

- [1] Ghosh, A. K.: Fundamentals of paper drying – theory and application from industrial perspective. In: *Evaporation, condensation and heat transfer* (ed. Amimul Ahsan). InTech Europe, Rijeka, Croatia, p. 535-583, 2011. ISBN 978-953-307-583-9.
- [2] Rezaei, E., Shafiei, S.: An NLP approach for evaluation of heat exchanger networks designed by pinch technology. *Iranian Journal of Chemical Engineering*. Vol. 5, Issue 1, p. 13-21, 2008. ISSN 1735-5397
- [3] Medo, P.: Riadenie procesu výroby grafických papierov na papierenskom stroji. Diplomová práca, evidenčné číslo: FEI-5406-43878, 82 s., Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, 2014.
- [4] Picón-Núñez, M., Canizalez-Dávalos, L., Medina-Flores, J. M.: Alternative Sizing Methodology for Compact Heat Exchangers of the Spiral Type. *Heat Transfer Engineering*. Vol. 30, Issue 9, p. 744-750, 2009. ISSN 0145-7632.
- [5] Bes, T. H., Roetzel, W.: Distribution of heat flux density in spiral heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 35, Issue 6, p. 1331-1347, 1992. ISSN 0017-9310.
- [6] Shah, R. K., Thonon, B., Benforado, D. M.: Opportunities for heat exchanger applications in environmental systems. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 20, Issue 7, p. 631-650, 2000. ISSN 1359-4311.
- [7] Dongwu, W.: Geometric calculations for the spiral heat exchanger. *Chemical Engineering & Technology*. Vol. 26, Issue 5, p. 592-598, 2003. ISSN 1521-4125.
- [8] Pažitný, A., Boháček, Š., Medo, P., Balberčák, J.: Application of innovative heat recovery unit in paper industry with potential utilization in wood-processing and furniture industry. *Wood Research*. Vol. 60, Issue 1, p. 101-112, 2015. ISSN 1336-4561.
- [9] Fakheri, A.: Heat Exchanger Efficiency. *Journal of Heat Transfer*. Vol. 129, Issue 9, p. 1268-1276, 2007. ISSN 0022-1481.
- [10] London, A. L., Seban, R. A.: A generalization of the methods of heat exchangers analysis, TR No. NTU-1, Mechanical Engineering Department, Stanford University, Stanford, California, 1942; *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 23, Issue 1, p. 5-16, 1980. ISSN 0017-9310.
- [11] Pavlů, J.: Vývoj výpočetního modelu a metodiky pro výpočet kondenzátorů s minikanálky (Computing software and methodology development for refrigeration minichannel condenser evaluation). *Doktorská práca*. 150 s., Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2012.
- [12] Pažitný, A., Boháček, Š., Medo, P., Balberčák, J., Kuňa, V., Schwartz, J.: Minimalizácia energetickej náročnosti papierenských strojov zvýšením účinnosti rekuperácie tepla. *Papír a celulóza*. Vol. 70, Issue 3, p. 76, 2015. ISSN 0031-1421.



Ing. Andrej Pažitný (1981) – je vedecko-výskumným pracovníkom Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s., Bratislava. Pracuje na Úseku konverzie výrobných technológií, ktorý vznikol pre potreby projektovej spolupráce so spoločnosťou Smurfit Kappa Štúrovo, a.s., (teraz Priemyselný park Štúrovo, a.s.). Zaoberá sa komplexnými riešeniami v energetike papierenských podnikov a navrhuje riešenia s ohľadom na úspory energie pre energeticky náročné sušiacie procesy v papierenskom priemysle. Jeho hlavné zameranie je na využitie priemyselných odpadov obsahujúcich celulózu v celulózo-papierenskom priemysle, v priemysle palív a energetike.



Ing. Štefan Boháček, PhD. (1965) – generálny riaditeľ spoločnosti Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., Bratislava od roku 1997 a v tejto spoločnosti pôsobí od roku 1987. Je vrcholným predstaviteľom výskumných aktivít v oblasti celulózo-papierenského priemyslu. Je nositeľom Ceny podpredsedu vlády Slovenskej republiky a ministra školstva za vedu a techniku 2006 – Osobnosť vedy a techniky za osobný prínos k riešeniu problematiky znižovania energetickej náročnosti výroby celulózy a papiera, zvýšenie konkurencieschopnosti výrobcov celulózy a papiera a vývoj retenčného činidla na prírodnej báze.



Ing. Peter Medo (1982) – pracuje ako výskumný pracovník na Úseku konverzie výrobných technológií Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s., Bratislava. Je úspešným absolventom Fakulty informatiky a informačných technológií Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Jeho diplomová práca „Riadenie procesu výroby grafických papierov na papierenskom stroji“ vypracovaná v odbore automatizácia je nápomocná pri riešení aktuálnych projektov spoločnosti, teda aj v prípade projektov zameraných na energetiku, resp. modernizáciu papierenských strojov.



Ing. Jozef Balberčák (1962) – pracuje v spoločnosti Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., Bratislava nepretržite od roku 1986. Počas tejto doby získal cenné medzinárodné skúsenosti z prevádzok v rámci celulózo-papierenského priemyslu, a takisto z riešenia mnohých agentúrnych projektov aplikovaného výskumu. Bol riešiteľom úspešných projektov 3. a 5. rámcového programu. V súčasnosti je zodpovedným riešiteľom projektu „Zvýšenie účinnosti rekuperácie tepla v papierenskom priemysle“ a je riešiteľom niektorých ďalších podobných projektov.

Recenze: **doc. Dr. Ing. Jan Kyncl, Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.**

Recyklace transuranů

Nový pokročilý reaktor by jako palivo využíval transurany, umělé těžké prvky vznikající při jaderném štěpení. Ty jsou hlavním problémem radioaktivních odpadů. Pokud by se recyklovaly, mohla by se doba nutné izolace části radioaktivních odpadů zkrátit na několik set let.

Tým odborníků ze tří amerických univerzit (Michiganská univerzita, Kalifornská univerzita v Berkeley a MIT) prověřuje pomocí počítačových simulací bezpečnost provozu pokročilého varného reaktoru (typ RBWR) japonské firmy Hitachi. Reaktor zatím existuje pouze na papíře, ale pokud všechny bezpečnostní analýzy dopadnou dobře, chce Hitachi v horizontu deseti až patnácti let začít s výstavbou demonstračního zařízení.

To by jako palivo využívalo transurany, umělé izotopy plutonia, americia, curia a neptunia s velmi dlouhým poločasem rozpadu, které vznikají v reaktoru. Společně s jinými štěpnými produkty tvoří jen cca 3 % celkového objemu vyhořelého jaderného paliva, zůstávají ovšem vysoce radioaktivní po desítky tisíc let. Právě kvůli nim je nutné použít jaderné palivo uložit do úložiště v hloubce kolem půl kilometru pod zemí, kde zůstane bezpečně izolováno od biosféry až sto tisíc let. Odebrání transuranů za účelem jejich dalšího využití by pomohlo snížit náklady na ukládání vyhořelého paliva. Za prvé by se snížil objem odpadů, které je nutné bezpečně uložit na sto tisíc let. A za druhé by se podstatná část vyhořelého paliva mohla izolovat jen po dobu několika staletí, což je technicky i ekonomicky mnohem jednodušší. (Zdroj: ČNS)