

## REKUPERACJA CIEPŁA W PRZEMYSŁE PAPIERNICZYM

### Streszczenie

*W artykule omówiono możliwości zastosowań rekuperacji ciepła w przemyśle celulozowo-papierniczym. Przedstawiono istniejące rozwiązania układów rekuperacji ciepła, wskazując na możliwość ich stosowania zarówno w budowanych, nowoczesnych zakładach celulozowo-papierniczych jak i w modernizacji istniejących wieloletnich papierni. Scharakteryzowano osiągnięcia polskiej firmy produkującej innowacyjny system rekuperacji ciepła pracujący w zakładach papierniczych na Ukrainie.*

### WSTĘP

Papier ze względu na szerokie zastosowanie, relatywnie niską cenę oraz biodegradowalność jest jednym z najpowszechniej spotykanych produktów. Jednocześnie produkcja papieru charakteryzuje się bardzo dużą energochłonnością. Zużywając w roku 2005 6,4 EJ przemysł celulozowo-papierniczy odpowiada za 6% światowego zużycia energii co czyni go czwartym co do wielkości konsumentem energii w przemyśle[2].

Produkcja papieru jest procesem wieloetapowym, którego główną część stanowi formowanie wstęgi papieru z wlewu masy papierniczej. Odwadnianie oraz formowanie papieru realizowane jest na maszynie papierniczej kolejno w sekcjach: sitowej, prasowej oraz suszącej. Głównym źródłem energii wykorzystywanej w procesie suszenia masy papierniczej są paliwa kopalne takie jak gaz, olej, lub węgiel. Względne koszty odwadniania papieru w poszczególnych sekcjach kształtują się następująco: sekcja formująca – 10%, prasa – 12%, część susząca – 78%. Część susząca typowej maszyny papierniczej usuwa 1,1 – 1,3 kg wody na 1 kg papieru, część formująca 200 kg wody/1kg papieru, a część prasowa 2,6 kg wody/1kg papieru. Warto również zaznaczyć, że część susząca może stanowić nawet 60% długości linii technologicznej oraz 40% ogółu ceny maszyny [1].

Rosnące koszty energii zmuszają producentów papieru do podnoszenia efektywności energetycznej procesu suszenia zwłaszcza w sekcji suszącej maszyny papierniczej. Na przełomie lat 1980 – 2008 zmniejszono zapotrzebowanie na energię potrzebną do wytworzenia papieru o 20%, a redukcję o kolejne 5% prognozuje się do roku 2020. Rozwiązania energooszczędne stosowane są na wszystkich poziomach procesu produkcji papieru [11].

W celu zmniejszenia zużycia energii w zakładach celulozowo-papierniczych inwestuje się w wymianę, przebudowę lub modernizację ich wyposażenia technologicznego. W wielu przypadkach modernizacja również wiąże się ze wzrostem wydajności i/lub podniesieniem jakości finalnego produktu.

Jednym ze sposobów poprawy energetycznej efektywności maszyny papierniczej jest odzysk i ponowne wykorzystanie ciepła odpadowego wytwarzanego w czasie pracy maszyny. W tym celu można wykorzystywać układy rekuperacji. Zadaniem układu rekuperacji jest obniżenie zużycia energii pierwotnej poprzez odzyskanie ciepła odpadowego powstającego w procesie suszenia masy papierniczej. Systemy rekuperacji ciepła instalowane w papierniach pozwalają odzyskać do 60% ciepła odprowadzanego z układu suszącego. Instalacje układów rekuperacji przynoszą zarówno korzyści ekonomiczne jak i ekologiczne.

Problematyka rekuperacji ciepła stanowi przedmiot licznych opracowań naukowych i technicznych. Zasadniczą część tych prac

dotyczy optymalizacji oraz modelowaniu procesów energetycznych układów rekuperacji zainstalowanych w konkretnych zakładach celulozowo-papierniczych. Większość pracujących w warunkach przemysłowych układów rekuperacji ciepła opiera się na modelu wielostopniowego odzysku ciepła przebiegającego w wymiennikach różnego typu. Uwzględniając fakt, że większość maszyn papierniczych projektowana i budowana jest na indywidualne zamówienia nie jest dziwne, że i stosowane w nich rekuperatory ciepła są także projektowane oraz dedykowane konkretnej maszynie. Zatem i nie mogą one odznaczać się uniwersalnością swoich charakterystyk techniczno-eksploatacyjnych.

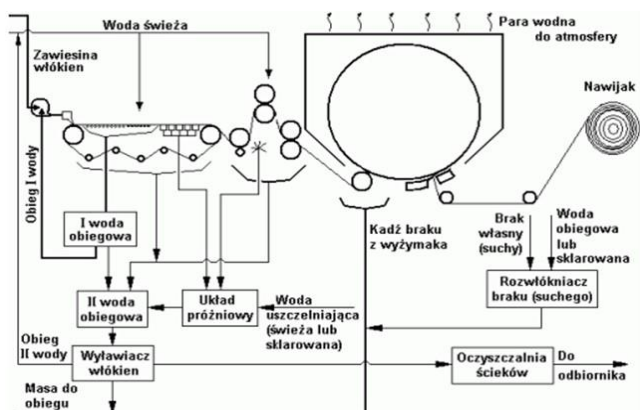
W niniejszym artykule zebrano podstawowe informacje dotyczące procesu suszenia papieru oraz rekuperacji ciepła. Dokonano charakterystyki przykładowych rozwiązań zastosowanych w fabrykach papieru na świecie oraz zaprezentowano układ rekuperacji zaprojektowany i wykonany przez polskiego producenta maszyn dla przemysłu papierniczego.

### 1. SUSZENIE TAŚMY PAPIERU W SEKCJI SUSZENIA MASZINY PAPIERNICZEJ

Końcową, wymaganą wilgotność, wychodzącą z maszyny papierniczej wstęga papieru uzyskuje w rezultacie odparowanie zawartego w niej nadmiaru wody zachodzącego w czasie jej kontaktu z powierzchnią zewnętrzną cylindra/cylindrów suszących sekcji suszenia maszyny papierniczej. Najczęściej cylindry ogrzewane są dostarczaną do ich wnętrza przegrzaną parą wodną. Jest to najbardziej energochłonny proces w papiernictwie, wymagający użycia energii o wartości 1500 - 3000 kWh na 1 tonę produktu [5].

Proces suszenia większości rodzajów papieru w suszarniach kontaktowych realizowany jest w sekcji suszenia utworzonej w zależności od parametrów technologicznych oraz konstrukcyjnych maszyny przez zespół kilkunastu a nawet kilkudziesięciu cylindrów suszących. Papiery sanitarne lub jednostronnie gładkie suszy się najczęściej tylko na jednym cylindrze o dużo większej średnicy, tzw. cylindrze Yankee. Ważną rolę w poprawie efektywności procesu suszenia odgrywa zainstalowana bezpośrednio na tym cylindrze osłona konwekcyjna. W porównaniu z suszeniem na wielu cylindrach, wskaźnik intensywności suszenia kontaktowo-konwekcyjnego cylindra Yankee może być do 10 razy większy [4].

Proces technologiczny odwadniania wstęgi papieru z zastosowaniem cylindra Yankee przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu suszenia papieru z wykorzystaniem cylindra Yankee [8]

W zależności od parametrów powietrza dostarczanego przez osłonę konwekcyjną jej udział w suszeniu może wynosić nawet 50%. Proces suszenia papieru składa się z wymiany ciepła oraz masy. Energia cieplna uwolniona na skutek kondensacji pary ogrzewa powierzchnię bębna osuszając przewijany po nim mokry papier – wymiana ciepła. Powietrze nadmuchiwane na wstęgę odbiera wodę odparowaną z papieru - wymiana masy. Dla poprawy jakości i efektywności procesu suszenia praca sekcji suszącej powinna być zoptymalizowana pod kątem procesu wymiany ciepła jak i wymiany masy (wody).

Efektywność procesu suszenia zależy m.in. od następujących czynników:

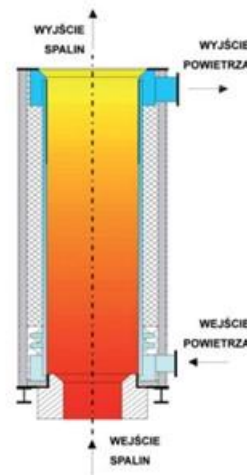
- ciśnienie i temperatura pary wodnej;
- temperatura i wilgotność powietrza;
- wartość energetyczna pary wodnej;
- współczynnik przenikania ciepła i masy.

## 2. ODZYSKIWANIE CIEPŁA Z GAZÓW ODPADOWYCH

Przenoszenie ciepła w wymiennikach odbywa się w wyniku przewodzenia, konwekcji i promieniowania. W zależności od parametrów procesu i rodzaju medium rozróżnia się szereg rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń realizujących odzysk ciepła.

Wymienniki (przenośniki) ciepła są aparatami służącymi do przenoszenia energii cieplnej od jednego płynu do drugiego. W praktyce przemysłowej stosowane są najczęściej następujące rodzaje wymienników ciepła. Rekuperatory czyli wymienniki przepływowe odznaczające się tym, że obydwa płyny uczestniczące w procesie oddzielone są przegrodą, poprzez którą przenika ciepło. Przegrodę stanowią przeważnie ścianki rur czasami płyt. Rekuperatory działają w sposób ciągły, a pole temperatury w nich jest ustalone w czasie. Regeneratory czyli wymienniki z wypełnieniem działają okresowo: płyny przepływają w nich na przemian przez kanały w masie wypełniającej oddając względnie przejmując ciepło za jej pośrednictwem. Pole temperatury w regeneratorsze jest niestalone w czasie i podlega zmianom okresowym. Wymienniki kontaktowe, w których przenoszenie ciepła odbywa się przy bezpośrednim zetknięciu dwu płynów o różnych stanach skupienia. Tymi płynami są przeważnie: jednym woda a drugim para, gaz lub mieszanina gazowo - parowa. Najprostszą odmianą tego rodzaju wymienników są mieszankowe podgrzewacze wody lub skraplacze pary wodnej, w których kontaktują się para wodna i woda. Z powyższych trzech odmian zasadnicze znaczenie dla techniki maszynowej mają rekuperatory - stosowane są bowiem powszechnie. Regeneratory i wymienniki kontaktowe znajdują zastosowanie w niektórych dziedzinach gospodarki [4], Wśród stosowanych w przemyśle reku-

peratorów wyróżnia się rekuperatory radiacyjne, konwekcyjne lub hybrydowe. Rekuperatory radiacyjne dedykowane są odzysku ciepła ze spalin o temperaturze powyżej 1000°C. Przykładowa konstrukcja rekuperatora radiacyjnego z podwójną powłoką przedstawiono na rysunku 2.

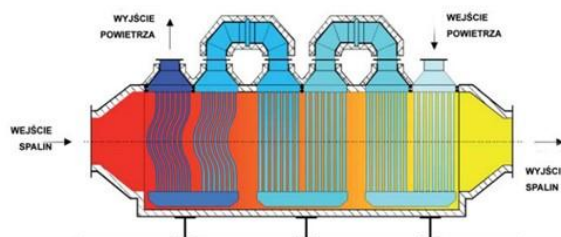


Rys. 2. Schemat rekuperatora radiacyjnego [10]

Rekuperatory radiacyjne z podwójną powłoką, zapewniają mniejsze zużycie paliwa, nawet o ponad 40%. Rekuperatory składają się z dwóch cylindrów współśrodkowych, w których wtórny przepływ przemieszcza się ruchem prostoliniowym lub wirowym równoległe do osi rekuperatora, w przeciw- lub współprądowo [http://www.kalfrisa.com/Archivos/Descargas/Rekuperatory.pdf] Zasadniczą wadą rekuperatorów radiacyjnych wykonanych ze stali jest ograniczenie temperatury pracy do 1100°C. W wyższych temperaturach stosuje się rekuperatory ceramiczne [10].

Rekuperatory konwekcyjne stosuje się do odzysku ciepła z gazów o temperaturze niższej niż 1000°C, nie zawierających składników korozyjnych i/lub większej ilości cząstek stałych. W rekuperatorach tych, za pomocą prostych wiązek rur ze stali, przepływ ciepła między pierwotnym a wtórnym płynem dokonuje się przez konwekcję. Wymiennik ciepła składa się z cylindrycznego płaszczka i przebiegających w nim rurek. Czynnik oddający ciepło przepływając przez wymiennik ogrzewa rury wewnątrz których płynie powietrze odbierające ciepło. W tego typu urządzeniach efektywność wymiany ciepła zależy od ilości, średnicy oraz długości rurek. Są to najczęściej stosowane w przemyśle wymienniki ciepła, występujące w różnych konfiguracjach. Przykładowy schemat konwekcyjnego wymiennika ciepła przedstawiono na rysunku 3.

Dla uzyskania wysokiej efektywności odzysku ciepła z gazów odpadowych o wysokiej temperaturze budowane są rekuperatory hybrydowe, w których łączy się wymiennik radiacyjny z wymiennikiem konwekcyjnym.



Rys. 3. Schemat konwekcyjnego rekuperatora ciepła [10]

### 3. PRZYKŁADY UKŁADÓW REKUPERACJI CIEPŁA STOSOWANYCH W PAPIERNIACH

Duże ilości energii cieplnej dostarczanej w postaci przegrzanej pary wodnej do wnętrza cylindra suszącego jak i w postaci gorącego powietrza doprowadzanego pod kaptur osłony konwekcyjnej tracona jest w postaci ciepła odpadowego odprowadzanego ze strefy suszenia za pośrednictwem powietrze nasyconego parą wodną o temperaturze ponad 100°C. W celu poprawy sprawności energetycznej pracy sekcji suszenia maszyny papierniczej powszechnie stosuje się odzysk ciepła odpadowego zwłaszcza w zimie, gdy temperatura powietrza pobieranego z otoczenia jest niska.

Typowe układy rekuperacji ciepła wyposażone są w przeponowe instalacje wymiany ciepła. Rozróżnia się dwa typy wymienników ciepła instalowanych w papierniach:

- wymiennik gaz – gaz,
- wymiennik gaz - ciecz.

Wymienniki pracujące w układzie gaz - gaz stosowane są do podgrzewania powietrza nadmuchiwanego pod osłonę konwekcyjną oraz do wentylacji hali.

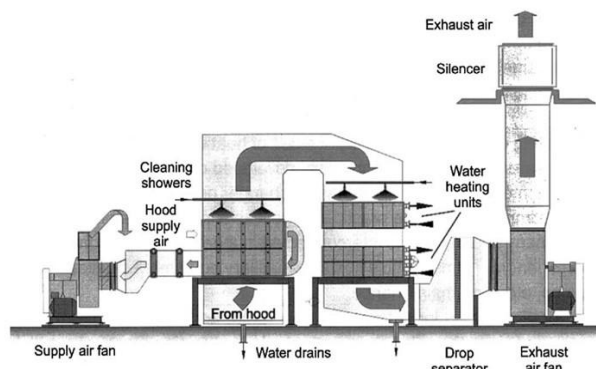
Wymienniki gaz – ciecz są stosowane głównie do podgrzewania wody obiegowej i wody technologicznej.

W niektórych przypadkach w końcowym etapie rekuperacji stosuje się dodatkowo płuczki gazów, w których zachodzi bezprzeponowe ogrzewanie wody obiegowej lub technologicznej ciepłem odpadowym zawartym w odprowadzanym z sekcji suszenia powietrzu.

System rekuperacji ciepła maszyny papierniczej stanowi układ wymienników ciepła odzyskujących energię z wilgotnego powietrza odpadowego pochodzącego z jednego lub kilku źródeł procesu produkcji wstęgi papieru. Typowe przeponowe układy rekuperacji ciepła instalowane w papierniach stanowią wymienniki ciepła o konstrukcji płytowej lub rurowej. Znajdują one szerokie zastosowanie ze względu na niskie koszty produkcji oraz brak konieczności doprowadzania energii zewnętrznej do ich pracy. Istnieje kilka odmian wymienników oraz układów w jakich pracują. Najszersze zastosowanie znajdują wymienniki krzyżowe, których sprawność odzysku energii wg producentów osiąga 60%. Ze względu na małe rozmiary mogą być instalowane bezpośrednio w istniejący układ wentylacyjny maszyny.

Układy rekuperacji instalowane są w papierniach wyposażonych zarówno w maszyny papiernicze starego typu produkujących kilkadziesiąt ton papieru na dobę jak i w papierniach wyposażonych w nowoczesne maszyny papiernicze o wydajnościach do 500 ton papieru na dobę. Strumień wydalanego, a zatem i traconego do atmosfery, ciepła z wielocylindrowej nowoczesnej maszyny papierniczej, osiąga wartość 15-20MW, mimo 55-65% efektywności odzysku ciepła w rekuperatorze. W suszarniach starszego typu efektywność rekuperacji mieści się w przedziale 20-30%.

Optymalny układ rekuperacji ciepła powinien być zaprojektowany indywidualnie dla określonych typów maszyn papierniczych, ich parametrów techniczno-eksploatacyjnych, rodzaju i jakości produkowanego papieru. Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów rekuperatorów oferowanych przez różnych producentów. Większość tych układów składa się z metalowych wymienników przeponowych, w niektórych wydaniach uzupełnionych o wymiennik bezprzeponowy - skruber. Przykład wielostopniowego układu rekuperacji ciepła w zainstalowanego w nowoczesnej papierni przedstawiono na rysunku 4 [8].



**Rys. 4.** System rekuperacji ciepła w fabryce papieru: supply air fan – wentylator nawiewu, hood supply air – nawiew powietrza pod osłonę konwekcyjną; cleaning showers – natrysk czyszczący, from hood – z osłony konwekcyjnej; water drains – spust wody; water heating units – ogrzewacze wody; drop separator – oddzielacz kropli; exhaust air fan – wentylator wyciągowy; silencer – tłumik; exhaust air – powietrze wylotowe (odpadowe) [8]

Wilgotne powietrze odprowadzane jest przez układ wymienników, w których ciepło odpadowe służy do ogrzania powietrza atmosferycznego zasilającego maszynę. Głównie stosowane są wymienniki krzyżowe wyposażane w system myjący. Ilość wymienników oraz ich konfiguracja zależy od struktury systemu rekuperacji ciepła oraz wymagań technologicznych. W kolejnym etapie znajdują się wymienniki powietrze-woda, w których energia cieplna odebrana z powietrza odlotowego zostaje użyta do podgrzewania wody obiegowej, wody technologicznej lub płynu zasilającego układ grzewczy hali[3].

Jednym z producentów kompletnych systemów rekuperacji jest fińska firma EV Group. Oferowane przez nią systemy odzysku ciepła z papierni składają się zwykle z 3 sekcji. W pierwszej sekcji ogrzewane jest powietrze zasilające część suszącą maszyny papierniczej. W kolejnej sekcji, w wymienniku gaz – woda, ogrzewana jest ciepłem odpadowym z sekcji suszącej woda procesowa. W końcowej sekcji systemu znajduje się wymiennik, w którym ogrzewane jest powietrze zasilające instalację wentylacyjną hali. Rozwiązanie tego typu firma EV Group zainstalowała w 2010 roku w zakładach papierniczych Dalum PM 7 w Danii (rysunek 5). Zastosowany system rekuperacji ciepła umożliwił poprawę wydajności o 20% oraz 65% (10 MW) odzysk energii cieplnej[13].

Kolejnym z przykładów stosowanych rozwiązań jest rekuperacja ciepła w przeponowym szklanym wymienniku ciepła. Janek i in. przeanalizowali pod kątem sprawności energetycznej, pracę instalacji rekuperacji ciepła maszyny papierniczej produkującej tekturę w fabryce Umka Cardboard Mill (Serbia). W układzie rekuperacji zastosowano przeponowe wymienniki ciepła wykonane ze szklanych rurek. System rekuperacji składa się z 3 rurowych szklanych wymienników ciepła, których zadaniem jest odzyskanie ciepła z powietrza wyciąganego z osłon konwekcyjnych nad: systemu wałków suszących, cylindrem Yankee oraz nad sekcji powlekania. Odzyskane ciepło służy do wstępnego ogrzania świeżego powietrza kierowanego do układu suszącego oraz na halę produkcyjną. Przeprowadzone badania wykazały małą sprawność rekuperacji ciepła dla wymiennika zainstalowanego w układ zasilający okapturzenie cylindra Yankee. Sprawność odzysku ciepła odpadowego wyniosła 3,9% – 39,9%, natomiast sprawność temperaturowa 21,7% - 56,4% w zależności od miejsca zainstalowania wymiennika [3].

Holenderskie Centrum Badań Energii (ECN) zamieściło informacje o wdrożeniu pompy ciepła w układ suszący maszyny papierniczej. Zadaniem urządzenia jest ponowne wykorzystanie powietrza

odpadowego z procesu suszenia, ogrzewając je z temperatury 60°C do 140°C. Rozwiązanie to wg twórców ma zredukować o 10% zużycie pary w procesie suszenia [9].



Rys. 5. Rekuperator ciepła w fabryce Dalum produkcji EV[9]

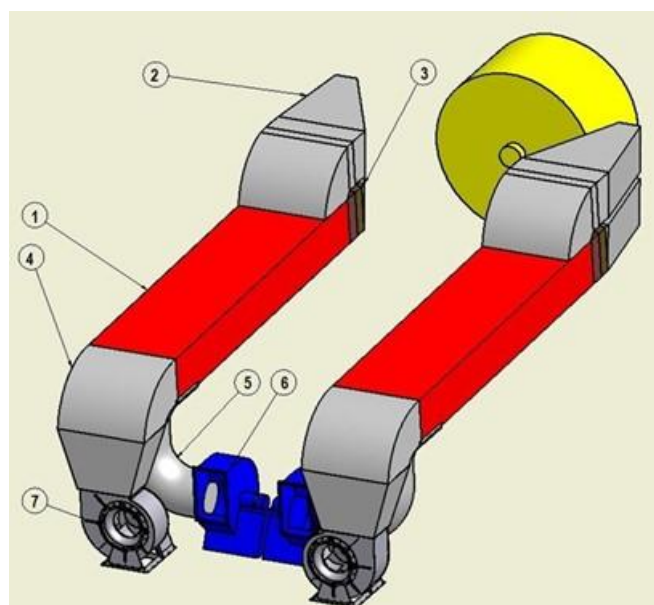
#### 4. SYSTEM REKUPERACJI CIEPŁA PPH KRYSTIAN

Innowacyjne rozwiązanie przeproponowego rekuperatora ciepła zaproponowała firma PPH KRYSTIAN specjalizująca się m.in. w produkcji maszyn dla przemysłu papierniczego. Zaprojektowano i wykonano układ rekuperacji charakteryzujący się wymiennikiem ciepła o innowacyjnej konstrukcji. Rekuperator został zainstalowany w modernizowanej papierni na terenie Ukrainy. Nowatorski układ rekuperacji ciepła został zamontowany do układu suszącego maszyny papierniczej o wydajności produkcji papieru 35 ton/dobę. Układ suszący składa się z cylindra Yankee oraz dwuczęściowej osłony konwekcyjnej. Osłona konwekcyjna podzielona na 2 części (tzw. suchą oraz moką) zasilana jest powietrzem atmosferycznym ogrzany do odpowiedniej temperatury za pomocą zespołu rekuperator-nagrzewnica gazowa. Obie części osłony wyposażone są w osobny układ rekuperacji ciepła wraz z nagrzewnicą.

Odzysk ciepła z układu suszącego realizowany jest przez przeproponowy wymiennik ciepła o przepływie przeciwwądownym. Każdy z zainstalowanych wymienników może zapewnić ponad 500 m<sup>2</sup> powierzchni wymiany ciepła. Parametry technologiczne procesu mogą być sterowane i optymalizowane pod kątem panujących warunków zewnętrznych oraz wydajności maszyny papierniczej.

Sprawność temperaturowa odzysku ciepła w warunkach letnich zainstalowanego i pracującego rekuperatora wynosi 81%. Na rysunku 6 przedstawiono schemat układu rekuperacji ciepła PPH KRYSTIAN składający się z następujących zespołów:

1. Wymiennik ciepła,
2. Kanał doprowadzający powietrze odpadowe z procesu suszenia
3. Nagrzewnica gazowa
4. Kanał wyprowadzający powietrze odpadowe z wymiennika
5. Kanał doprowadzający powietrze pierwotne do układu
6. Wentylator tłoczący powietrze pierwotne
7. Wentylator ssący powietrze odpadowe



Rys. 6. Schemat układu rekuperacji ciepła PPH KRYSTIAN

Rekuperacja następuje w oparciu o zasadę przenikania ciepła przez ściany separujące strumienie powietrza. Czynnikiem ogrzewanym zasilającym maszynę papierniczą jest powietrze atmosferyczne o parametrach zmiennych, zależnych od pory dnia, roku, warunków pogodowych. Czynnikiem grzewczym jest powietrze odpadowe nasycone parą wodną z zanieczyszczeniami cząstek stałych celulozy wyprowadzane z osłony konwekcyjnej cylindra suszącego.

W układzie systemu rekuperacji ciepła zainstalowano dodatkowo wymiennik bezprzeponowy umożliwiający wymianę masową czynnika doprowadzanego z wyprowadzanym z układu.

Powietrze atmosferyczne (czynnik ogrzewany) tłoczony jest przez kanały wymiennika, a następnie nagrzewnicę do części suszącej wstęgę papieru na maszynie papierniczej. Czynnik przepływający przez wymiennik ogrzewany jest do temperatury 70°C-100°C, a wymagana temperatura na poziomie 135°C osiągana jest na nagrzewnicy gazowej zainstalowanej za kanałem wylotowym. Jednocześnie czynnik jest osuszany do wilgotności względnej nie przekraczającej 8%.

Proces suszenia masy papierniczej odbywa się na cylindrze ogrzewanym parą, osłoniętym okapturzeniem – osłona konwekcyjna. W części suszącej wstęgę masy papierniczej suszy się do osiągnięcia końcowej wilgotności względnej na poziomie 10%. Niemal całe ciepło użyte w procesie suszenia wyprowadzane jest z układu. Temperatura czynnika opuszczającego część suszącą wynosi 90-100°C, a zawartość wilgoci 140-160 gramów wody na 1 kg suchego powietrza.

Powietrze odlotowe z sekcji suszenia (czynnik grzewczy) jest pobierane do wymiennika wraz z powietrzem z hali produkcyjnej. Wydajność wentylatora ssącego gwarantuje całkowite odprowadzenie ogrzanego powietrza do rekuperatora. Powietrze grzewcze o temperaturze początkowej ok. 135°C, stanowiące czynnik oddający ciepło poprzez przegrody płytowe w procesie rekuperacji, przepływając w przeciwwądownie z czynnikiem ogrzewanym, oziębia się do ok 100°C. Jednocześnie podczas wymiany ciepła następuje kondensacja zawartej w czynniku odlotowym pary wodnej oraz osadzanie zanieczyszczeń na powierzchni wymiennika. System wyposażony jest w automatyczny układ myjący, którego praca nie zaburza warunków wymiany ciepła.

W końcowym etapie schłodzone powietrze może zostać zawrócone do obiegu lub odprowadzone do atmosfery. Bezprzeponowy rekuperator pełni funkcję komory mieszania powietrza pobiera-

nego z zewnątrz z powietrzem wychodzącym z układu w celu podwyższenia jego temperatury oraz zmiany wilgotności względnej.

## PODSUMOWANIE

Przemysł celulozowo-papierniczy należący do jednych z najbardziej energochłonnych działów gospodarki podjął w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat szereg działań zmierzających do zdecydowanej poprawy jego efektywności energetycznej przy jednoczesnym podnoszeniu jakości oferowanych wyrobów. Jedną z takich dróg jest wdrażanie coraz nowocześniejszych i skuteczniejszych systemów odzysku ciepła odpadowego z maszyn papierniczych. Zastosowanie rekuperacji jest jednym z najważniejszych metod zmniejszenia energochłonności przy jednoczesnej podniesieniu jakości wytwarzanego asortymentu wyrobów celulozowo papierniczych. Do działań w tym obszarze włączyła się także polska firma PPH KRYSZTIAN oferując i wdrażając innowacyjny system rekuperacji ciepła.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ajit K Ghosh, Fundamentals of Paper Drying – Theory and Application from Industrial Perspective, Australia 2011.
2. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia – [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org); Thermal Energy Equipment: Waste Heat Recovery
3. Jankes, G. G., et al.: Waste Heat Potentials in the Drying Section of ..., THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 3, pp. 735-747;
4. Klepaczka A., Wysokowydajne dyszowe osłony konwekcyjne w wielocylindrowych suszarniach maszyn papierniczych, Przegląd Papierniczy 66 (2006), s.299-303;
5. Pettersson F., Soderman J., Design of robust heat recovery systems in paper machines, Chemical Engineering and Processing 46 (2007) 910–917,
6. Pudlik W.: Wymiana i wymiennik ciepła. Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2012, str. 77
7. Sivill, L., Ahtila, P., Taimisto, M., Thermodynamic Simulation of Dryer Section Heat Recovery in Paper Machines, Applied Thermal Engineering, 25 (2005), 8-9, pp. 1273-1292;
8. [http://www.starpap.pl/pl/proces\\_produkcyj/](http://www.starpap.pl/pl/proces_produkcyj/)
9. <https://www.ecn.nl/newsletter/english/2012/december/using-waste-heat-in-the-paper-industry/>
10. <http://www.kalfrisa.com/Archivos/Descargas/Rekuperatory.pdf>
11. <http://www.heatispower.org/wp-content/uploads/2011/10/Frost-and-Sullivan-on-waste-heat-recovery.pdf>
12. <http://data.toimisait.com/evgroup/userData/products/ev-heat-recovery.pdf>
13. <http://www.evgroup.fi/folders/Files/News/EV%20News%20-%20Dalum%20PM7.pdf>

## HEAT RECOVERY IN PAPER INDUSTRY

### Abstract

*The article focuses on the possibilities of heat recovery application in the pulp and paper industry. Authors presented examples of existing solutions of heat recovery systems, pointing to the possibility of use in modern and modernized paper factories. The Polish achievement on the example of heat recovery system applied in the paper factory in Ukraine by the PPH Krystian company was described in the end part of work.*

Autorzy:

dr hab. inż. **Paweł Drożdziel** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny..

mgr inż. **Dominik Grygiel** – doktorant, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny