

Katarzyna FRANK<sup>1</sup>, Ulrich TAUT<sup>2</sup>, Stanisław WITCZAK<sup>1</sup>

e-mail: s.witczak@po.opole.pl

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska<sup>2</sup> Hocheffiziente Klimasysteme, Korntal, Niemcy

## Analiza wykorzystania płytowych wymienników ciepła w instalacji adiabatycznego chłodzenia powietrza

### Wstęp

Znaczny wzrost popytu w ostatnich latach na urządzenia do klimatyzacji budynków przyczynił się do rozwoju szeregu rozwiązań technicznych w tej dziedzinie. Dotychczasowe możliwości aktywnego klimatyzowania pomieszczeń ograniczają się głównie do zastosowania konwencjonalnych urządzeń elektrycznych zasilających m.in. różnego typu chłodziarki sprężarkowe. Jednym z możliwych sposobów zastąpienia tych metod i urządzeń jest proces adiabatycznego chłodzenia wyparowego (chłodzenia w punkcie rosy). Od pewnego czasu proces ten znalazł zastosowanie na rynku urządzeń chłodniczych [Niezgoda-Żelasko i Zalewski, 2012; Taut, 2008].

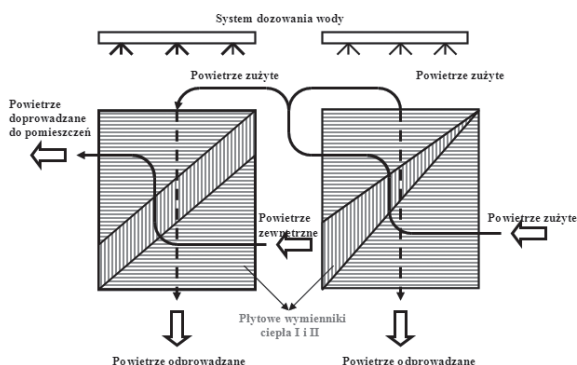
Chłodzenie adiabatyczne polega na nawilżeniu strumienia przepływającego powietrza, które tym samym zostaje schłodzone. Bezpośrednie nawilżanie powietrza doprowadzanego do pomieszczeń (tzw. bezpośrednie chłodzenie wyparowe) posiada jednak tę wadę, iż na skutek wysokiej wilgotności może zostać ono odebrane jako nieprzyjemne. Również z higienicznego punktu widzenia, zwłaszcza przy instalacjach klimatyzacyjnych nieregularnie dozowanych technicznie, proces ten oceniany jest krytycznie. Z tych właśnie względów technika chłodzenia powietrza w punkcie rosy bazuje na zasadzie pośredniego odparowania wody w obiegu wtórnym, przy czym nie dochodzi do przekazywania wilgoci strumieniowi chłodzącego powietrza. Dzięki temu posunięciu możliwe jest chłodzenie powietrza w pobliżu temperatury punktu rosy, a tym samym poniżej temperatury mokrego termometru.

W pracy przedstawiono, w ujęciu syntetycznym, zasadę działania oraz wybrane wyniki obliczeń i badań warunków pracy instalacji chłodzenia powietrza, w której zastosowano płytowe wymienniki ciepła specjalnej konstrukcji.

### Zasada działania instalacji

Opisywana instalacja chłodząca powietrze została zainstalowana w siłowni w miejscowości Herrenberg (Niemcy) i wykorzystana do chłodzenia pomieszczeń z dużą wymianą powietrza [TNO, 2002].

Głównym elementem instalacji były dwa płytowe wymienniki ciepła o specjalnej konstrukcji. Pierwszy z nich służył do obniżenia temperatury powietrza zużytego, natomiast drugi do uzyskania odpowiedniej temperatury powietrza doprowadzanego do pomieszczeń (Rys. 1). Instalacja przeznaczona jest przede wszystkim do pracy w okresie letnim, natomiast w okresie zimowym może pełnić funkcję układu do odzysku ciepła, co pozwoli na zredukowanie potrzebnej energii grzewczej.



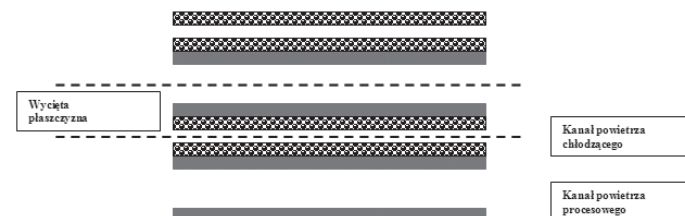
Obydwa wymienniki ciepła charakteryzują się identycznymi wymiarami gabarytowymi i zostały zaprojektowane z różną co do geometrii częścią przeciwną. Wymienniki te zostały wyposażone we wspólny system dozowania wody oraz charakterystyczny system przepływu powietrza.

Praca układu polega na tym, że powietrze zużyte kierowane jest do pierwszego płytowego wymiennika ciepła. Z uwagi na szczególną konstrukcję wymiennika płytowego powietrze to spotyka się z nawilżonym powietrzem zużytym w złożonym systemie przepływu powietrza zużytego i zewnętrznego. W pierwszej i trzeciej części wymiennika dochodzi do kontaktu krzyżowego pomiędzy obiema strumieniami, natomiast w drugiej części strumienie powietrza przepływają względem siebie przeciwnie. 50% strumienia powietrza zużytego – wstępnie ochłodzonego – po opuszczeniu wymiennika ciepła zostaje ponownie do niego kierowane, nawilżane i wykorzystywane do ochłodzenia powietrza zużytego. Druga połowa ilości ochłodzonego powietrza zużytego kierowana jest do drugiego płytowego wymiennika ciepła, gdzie zostaje podobnie jak poprzednio nawilżana i wykorzystywana do chłodzenia strumienia powietrza zewnętrznego. Powietrze zewnętrzne, podobnie jak powietrze zużyte w pierwszym wymienniku, kontaktuje się ze strumieniem nawilżonego powietrza zużytego w pierwszej i trzeciej części drugiego wymiennika krzyżowo, a w drugiej jego części przeciwnie. Tak ochłodzone powietrze zewnętrzne kierowane jest następnie do pomieszczeń.

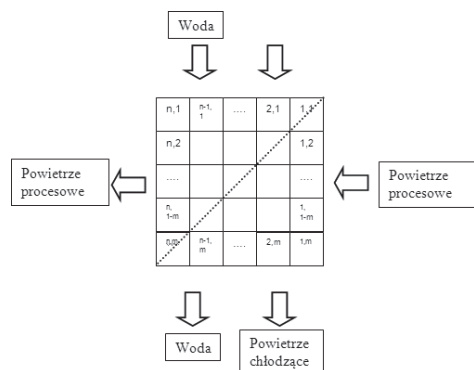
### Model matematyczny wymiennika ciepła

Do opisanego zachowania elementów instalacji chłodzącej (dwóch płytowych wymienników ciepła) zostały sporządzone modele oraz programy symulacyjne, które umożliwiły teoretyczną analizę i optymalizację całego systemu.

W celu utworzenia matematycznego modelu obliczeniowego wymiennika została wycięta symbolicznie z niego płaszczyzna wraz z połową graniczących kanałów przepływu powietrza chłodzącego i powietrza procesowego (powietrze zużyte – I wymiennik, powietrze zewnętrzne – II wymiennik). Zasada podziału płaszczyzn wraz z cięciem oraz podział wyciętego elementu płaszczyzny wymiennika ciepła zostały pokazane na rys. 2 i 3.



Za pomocą metody elementów skończonych, która jest przybliżoną metodą rozwiązywania równań różniczkowych, możliwe zostało sporządzenie bilansu masy i bilansu energetycznego rozpatrywanego modelu. W tym celu badany obszar został podzielony na wiele podobszarów, stanowiących elementy skończone w analizowanym modelu. Wielkości niewiadome w poszczególnych elementach rozwiązywane były za pomocą równań bilansu masy i energii z uwzględnieniem uproszczonych założeń. Uproszczenia, ze względu na stosunkowo niewielkie wymiary



Rys. 3. Podział wyciętej płaszczyzny wymiennika ciepła

elementów skończonych, nie wpływały negatywnie na otrzymane wyniki obliczeń.

Wynikiem obliczeń symulacyjnych były temperatury wyjściowe powietrza procesowego i powietrza zużytego oraz ich wilgotność.

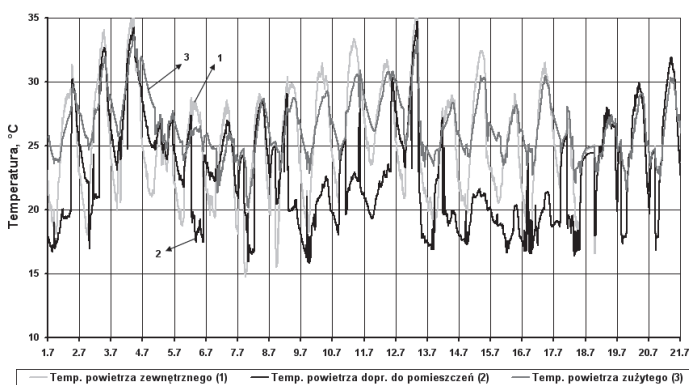
## Wyniki pomiarów

Dokładną analizę otrzymanych wyników pomiarowych umożliwił system zapisywania danych firmy *Spectra*. Wielkościami mierzonymi były wartości temperatury i wilgotności powietrza, które mierzone zostały zarówno w wymienniku ciepła, jak i kanałach doprowadzających powietrze do instalacji.

### Badania doświadczalne

Wyniki badań doświadczalnych zostały przykładowo przedstawione dla miesiąca lipca 2010 (Rys. 4), gdzie porównano zmierzone temperatury powietrza zewnętrznego, powietrza doprowadzonego do pomieszczeń oraz powietrza zużytego.

Przebieg temperatur - lipiec 2010



Rys. 4. Przebieg temperatur w instalacji chłodzącej powietrze

Z przedstawionego wykresu wynika, iż mimo chłodzenia temperatura w pomieszczeniu (temperatura powietrza zużytego) jest równa, a czasami nawet większa aniżeli temperatura powietrza zewnętrznego. Efekt ten jest spowodowany występowaniem obciążeń wewnętrznych oraz napromieniowaniem, gdyż nie zostały zamknięte osłony przeciwsłoneczne. Ponadto powietrze zużyte zasysane zostaje tuż przy suficie hali, gdzie panują najwyższe temperatury. Pomiar temperatury w pomieszczeniu był niemożliwy do zrealizowania. W momencie gdy temperatura w hali jest większa niż temperatura powietrza zewnętrznego, rozsądniejsze jest otwarcie okien i naturalne wietrzenie. Wentylacja natomiast może zostać wyłączona ze względów oszczędnościowych.

### Wyniki symulacji

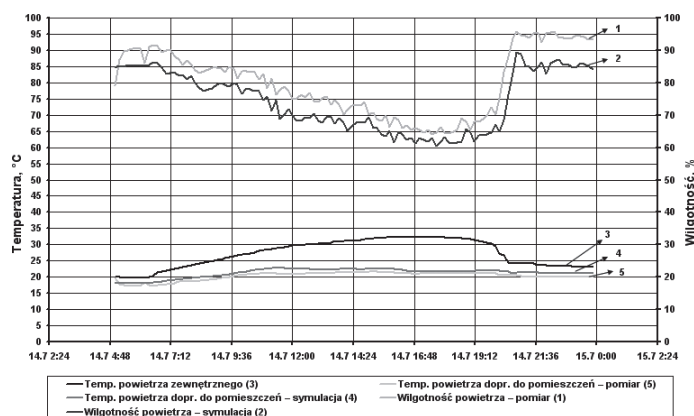
Rozwinięte dla badanej jednostki chłodzącej powietrze modele symulacyjne były rozwiązywane w środowisku symulacyjnym INSEL, a następnie porównane z rzeczywistymi wynikami pomiarów. Porównania obliczeń symulacyjnych z wynikami otrzymanych pomiarów dokonano

na podstawie podania wszystkich zmierzonych w realnych warunkach wielkości wejściowych dla rozpatrywanych przypadków.

W celu zachowania przejrzystości otrzymanych rezultatów do porównania wyników symulacji i wyników pomiarów wybrano jedynie reprezentatywną datę 14.07.2010.

Kluczową niewiadomą podczas opracowywania modelu symulacyjnego okazał się stopień zwilżenia powierzchni kontaktu. Został on określony na podstawie otrzymanych wyników pomiarów oraz obliczeń symulacyjnych i wyniósł 40%. Tak wyznaczony stopień zwilżenia powierzchni zapewniał dużą zgodność pomiędzy wynikami pomiarów a wynikami symulacji i był wykorzystywany w obliczeniach dla pozostałych parametrów eksploatacyjnych.

Na podstawie przeprowadzonego porównania można zauważyć (Rys. 5), że symulowana obliczeniowa temperatura powietrza doprowadzane do pomieszczeń jest często wyższa aniżeli temperatura zmierzona. Powodem takiego stanu jest m.in. to, że występujące przez obudowę płytowego wymiennika ciepła oraz przez przewody rurowe straty ciepłone do otoczenia, nie zostały uwzględnione w obliczeniach symulacyjnych. Należy sądzić, że uwzględnienie tego typu strat ciepła pozwoli na dokładniejsze przewidywanie warunków dla chłodzenia powietrza.



Rys. 5. Porównanie wyników symulacji z wynikami pomiarów

## Wnioski

Poprzez zastosowanie technik chłodzenia w punkcie rosy z wykorzystaniem powietrza zużytego może zostać osiągnięta odpowiednio duża moc chłodzenia. Technika ta pozwala również na możliwość realizacji efektywnego chłodzenia powietrza bez konieczności instalowania chłodziarek sprężarkowych. Tym samym spada zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do funkcjonowania sprężarki i urządzeń pomocniczych. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że w przypadku zastosowania tych procesów nie dochodzi do wykorzystania ekologicznie nieprzyjaznych dla środowiska naturalnego czynników chłodzących.

Rozwinięcie przedstawionego modelu numerycznego oraz prowadzenie przy jego wykorzystaniu dalszych obliczeń i analiz pozwoli docelowo na wskazanie właściwych warunków eksploatacyjnych (optymalizacyjnych) pod względem wymaganych wydajności i zakresu temperatur.

## LITERATURA

- Niezgoda-Żelasko B., Zalewski W., 2012. Chłodnicze i klimatyzacyjne wymienniki ciepła. Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków
- Taut U., 2008. *Realisierung von Kühleinheiten für ca. 5000 m<sup>3</sup>/h Zuluft auf der Basis der adiabaten Verdunstungskühlung als nachgeschaltete Einheit zu bestehenden Lüftungsgeräten*. Abschlussbericht zum Förderprogramm „Betriebliche Umwelttechnik“ des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (Förderkennzeichen: BUT 028). (06.2013) [http://www.umwelttechnik-fe.de/de/download/BUT028\\_Abschlussbericht\\_01\\_09.pdf](http://www.umwelttechnik-fe.de/de/download/BUT028_Abschlussbericht_01_09.pdf)
- TNO, 2002. *Zusammenfassung der Untersuchung Beurteilung Technologie Taupunktkühlung*. Umwelt, Energie und Prozessinnovation Rapport, R 2002/576, Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)