

Magdalena SOBCZAK¹
Zbigniew ZAPĄŁOWICZ²

BADANIA WSTĘPNE WPŁYWU ODSYSANIA MIESZANINY PAROWO-POWIETRZNEJ NA EFEKTYWNOŚĆ WYMIANY CIEPŁA MIĘDZY CHŁODZIWEM A PODGRZEWANĄ POWIERZCHNIĄ

W pracy przedstawiono budowę stanowiska badawczego, metodykę pomiarów i obliczeń oraz wstępne wyniki badań doświadczalnych chłodzenia podgrzewanej powierzchni strugami wody. Celem pracy jest wstępna analiza wpływu procesu odsysania mieszaniny parowo-powietrznej na intensywność procesu odparowania filmu wodnego. Nagrzana powierzchnia chłodzona jest trzema strugami wody wytwarzanymi w zakraplaczach zamontowanych w płycie i ustawionych w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Natężenie przepływu wody jest ustalone. W środku tego trójkąta umieszczono sondę połączoną z pompą próżniową, zadaniem której jest usunięcie powstałej nad powierzchnią filmu pary wodnej i otaczającego układu powietrza atmosferycznego. Strugi wody chłodzą powierzchnię roboczą grzejnika wykonanego z bloku miedzianego o wymiarach $0,04 \times 0,04 \times 0,02$ m. Eksperyment przeprowadzono dla temperatury podgrzewanej powierzchni zmieniającej się w zakresie od $50 \div 100^\circ\text{C}$. Na podstawie analizy uzyskanych wstępnych wyników badań oszacowano, że odsysanie mieszaniny parowo-powietrznej z nad warstwy filmu cieczowego zwiększa się intensywność odparowania chłodziwa (wody) o około $25 \div 50\%$.

Słowa kluczowe: odsysanie, odparowanie, film wodny, odprowadzanie pary, chłodzenie strugą, chłodzenie ścianki

1. Wprowadzenie

Zastosowanie odpowiednio dobranego sposobu chłodzenia powierzchni ma znaczący wpływ na pracę i sprawność urządzeń. Przy wysokich kosztach chłodzenia ważne jest zintensyfikowanie procesu wymiany ciepła między chłodzi-

¹ Autor do korespondencji: Magdalena Sobczak, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, tel. 91 449 4272, magdalena.sobczak@zut.edu.pl

² Zbigniew Zapalowicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, zbigniew.zapalowicz@zut.edu.pl

wem a powierzchnią chłodzoną. Intensyfikacji procesu chłodzenia można dokonać m.in. poprzez zastosowanie układu wielu dysz chłodzących [6÷7, 12, 16] bądź też utworzenie specjalnych struktur na podgrzewanej powierzchni [4÷5, 9, 16÷17]. Do chłodzenia można również wykorzystać różne czynniki robocze: w postaci alkoholi [6÷7, 15], ciekłych metali [1], parafin zmieniających fazę [13], nanopłynów [8]. Jednak ze względów ekonomicznych najczęściej stosowanymi chłodziwami są powietrze i woda.

Chłodzenie nagrzaną powierzchnię wodą stosuje się w wielu gałęziach przemysłu m.in. samochodowym (chłodzenie silnika), energetycznym (chłodzenie reaktorów w elektrowniach), elektronicznym (chłodzenie chipów), etc. Chłodzenie elementów elektroniki od wielu lat bazuje na ich chłodzeniu strumieniem powietrza. Wadą tego sposobu chłodzenia są ograniczone wymiary systemów i duża ich waga oraz niewystarczająca ilość odprowadzanego ciepła z powierzchni. Dlatego w ostatnich latach coraz częściej pojawiają się propozycje chłodzenia elementów elektroniki za pomocą strumienia wody [2÷3, 14]. W zależności od struktury strumienia woda może występować w postaci strug [5, 9] bądź „spray’ów”, tj. mieszaniny wody z powietrzem [2, 10÷11, 14, 17]. Chłodzenie strugą zapewnia nie tylko dobry odbiór ciepła z powierzchni, ale również usuwa opór termiczny między powierzchnią a chłodziwem. Ten rodzaj chłodzenia jest chętnie stosowany w procesie wytwarzania stali i tworzyw sztucznych, przy chłodzeniu łopatek turbiny, przy chłodzeniu paneli fotowoltaicznych. Większość dostępnej literatury skupia uwagę na chłodzeniu powierzchni przy pomocy „spray’u”. Literatury dotyczącej chłodzenia powierzchni strugą jest znacznie mniej. Natomiast informacje na temat badań dotyczących odsysania pary w czasie chłodzenia powierzchni wodą są nieliczne i fragmentaryczne.

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu zastosowania odsysania mieszaniny parowo-powietrznej na intensyfikację wymiany ciepła między powierzchnią grzaną a chłodziwem.

2. Stanowisko badawcze

Widok stanowiska badawczego pokazano na rysunku 1. Stanowisko badawcze składa się z następujących układów: zakraplania, grzania, odsysania, pomiaru i rejestracji temperatury.



Rys.1. Widok stanowiska badawczego

Fig.1. View of the test stand

Strugi cieczy są wytwarzane w zakraplaczach, którymi są trzy typowe igły lekarskie. Średnica zewnętrzna igły jest równa 0,0006 m. Igły umieszczono w otworach wywierconych w przezroczystej płytce. Otwory w płytce nawiercono tak, że odległości między nimi tworzą trójkąty równoboczne o różnych długościach boku. Możliwe jest więc wykonywanie badań dla zmiennych rozstawów między zakraplaczami. Igły poprzez gumowe przewody są połączone ze zbiorniczkiem przelewowym. Zbiorniczek ten jest umieszczony na statywie. Zadaniem zbiorniczka przelewowego jest zapewnienie stałego ciśnienia hydrostatycznego napływającej cieczy. W niniejszej pracy cieczą chłodzącą była woda. Woda o zadanej wartości temperatury dopływa przewodami gumowymi z ultratermostatu typu UH4. Wytworzone w zakraplaczach strugi kierowane są na powierzchnię roboczą grzejnika. Odległość końcówek zakraplaczy od powierzchni grzejnej można regulować za pomocą śrub mocujących płytkę z zakraplaczami w statywie. Nadmiar wody chłodzącej z powierzchni grzejnej spływa do zbiornika pomiarowego, będącego ostatnim elementem układu zakraplania. W środku płytki z zakraplaczami znajduje się sonda do odsysania mieszaniny parowo-powietrznej z nad powierzchni roboczej grzejnika. Średnica wewnętrzna sondy jest równa 0,004 m. Sonda połączona jest za pomocą gumowego przewodu z pompą próżniową typu 1154.4.

Grzejnik w formie bloczku miedzianego o wymiarach 0,04×0,04×0,02 m jest umieszczony poniżej zestawu zakraplaczy. Wewnątrz płytki miedzianej zamontowano standardową grzałkę elektryczną w kształcie cylindra o średnicy 0,006 m i długości 0,04 m. Moc elementu grzejnego wynosi 125 W. Regulacja

temperatury grzania następuje za pomocą regulatora RK40. Sygnałem sterującym jest temperatura zmierzona wewnątrz grzejnika termometrem oporowym Pt100. W grzejniku wywiercono otwory, w których zamontowano czujniki temperatury. Do pomiaru rozkładu temperatury w grzejniku zastosowano termopary typu J o średnicy 0,001 m. Termopary te podłączono do układu rejestracji danych wyposażonego w rejestrator APAR typu AR206/8. Dodatkowo przy pomocy termohigrometru typu LB-701H mierzono temperaturę otaczającego powietrza i jego wilgotność względną.

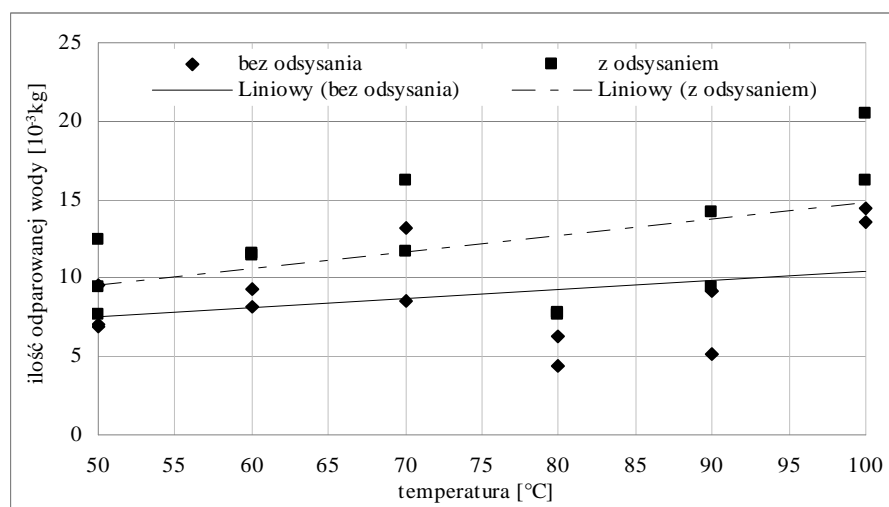
3. Metodyka badań

W celu określenia wpływu odsysania mieszaniny parowo-powietrznej na efektywność wymiany ciepła między chłodziwem, a grzaną powierzchnią wykorzystano metodę wagową. W niniejszych badaniach jako chłodziwo zastosowano wodę destylowaną o temperaturze 20°C. Przed pomiarem ważono (trzykrotnie) pusty zbiornik pomiarowy. Zakraplacze umieszczono w otworach płytki w wierzchołkach trójkąta równobocznego. W prowadzonym eksperymencie odległość między sąsiednimi zakraplaczami (bok trójkąta) wynosiła 0,006 m. W kolejnym kroku ustalono natężenie przepływu wody przez zakraplacze zmieniając wzajemne położenie zbiorniczka przelewowego i płytki z zakraplaczami. Wyływ wody z zakraplaczy jest wywołany ciśnieniem hydrostatycznym. W niniejszej próbie wysokość słupa wody, mierzonego między powierzchnią lustra w zbiorniczku przelewowym a końcówką zakraplacza była równa 0,205 m. Przed pomiarem ustawiano także odległość między końcówkami zakraplaczy, a powierzchnią grzaną. Odległość ta była równa 0,06 m. Następnie stabilizowano wyływ wody z zakraplaczy, odpowietrzając przewody gumowe łączące zbiorniczek przelewowy z zakraplaczami. Ustalano również położenie sondy odsysającej mieszaninę parowo-powietrzną w stosunku do powierzchni grzejnej. Badania przeprowadzono dla ustalonej wartości natężenia przepływu strumienia mieszaniny parowo-powietrznej. Eksperyment przeprowadzono dla zmiennych temperatur powierzchni grzanej (40 ÷ 100°C). Czas trwania pojedynczego pomiaru wynosił 5 minut. Po każdym pomiarze ważono zbiornik pomiarowy z wodą nieodparowaną i następnie obliczano ilość odprowadzonej wody. Dla każdej temperatury powierzchni grzanej wykonano po trzy serie pomiarowe, bez stosowania odsysania pary i z zastosowaniem odsysania mieszaniny parowo-powietrznej. Następnie obliczano współczynnik odparowania jako różnicę mas odparowującej wody, gdy zastosowano odsysanie mieszaniny parowo-powietrznej i przy braku odsysania. W kolejnym kroku obliczono względny stosunek odparowania odnosząc otrzymaną różnicę mas do wartości strumienia masy przy braku odsysania mieszaniny parowo-powietrznej. Parametr ten określano w procentach.

4. Wyniki badań

Wyniki badań doświadczalnych przedstawiono na rys. 2 i 3. Na obu rysunkach pokazano jedynie wyniki badań po wykonaniu analizy statystycznej i odrzuceniu punktów pomiarowych uznanych jako błędy grube. W tym przypadku zdecydowano się na zastosowanie ostrego kryterium oceny, zgodnie z którym punkt pomiarowy jest odrzucony, jeśli jego wartość różni się więcej niż o wartość odchylenia standardowego.

Na rys. 2 przedstawiono zależność masy odparowującej wody od średniej temperatury ogrzewanej powierzchni ścianki odpowiednio przy odsysaniu i braku odsysania mieszaniny parowo-powietrznej. Na rysunku tym wykreślono również linie tendencji pokazujące kierunek zmian ilości odparowanej pary. Z przebiegu linii tendencji wynika, co jest zgodne z oczekiwaniami, że ilość odparowującej wody jest większa, gdy wyższa jest średnia temperatura podgrzewanej powierzchni ścianki dla obu analizowanych przypadków. Linia tendencji ilustrująca intensywność odparowania wody w przypadku zastosowania odsysania jest położona wyżej niż ta, gdy brak jest odsysania mieszaniny parowo-powietrznej.



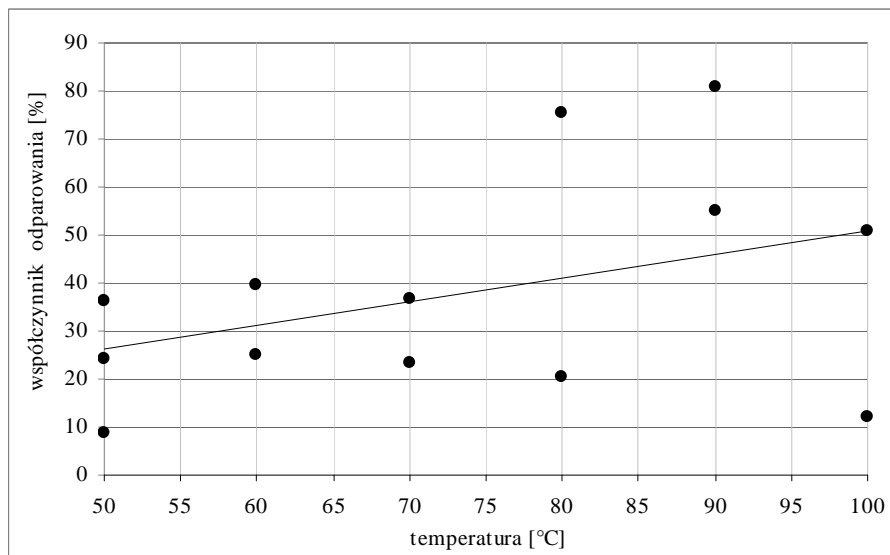
Rys.2. Zależność ilości odparowanej wody od temperatury ścianki

Fig.2. Relation between mass of evaporated water and wall temperature

Z kolei na rysunku 3 przedstawiono zależność między względnym współczynnikiem odparowania określonym w procentach, a średnią temperaturą podgrzewanej ścianki. Na rysunku tym pokazano także linię tendencji wskazującą, że wzrost średniej temperatury powierzchni ścianki powoduje większą intensywność odparowania w przypadku zastosowania odsysania mieszaniny paro-

wo-powietrznej. Z analizy wyników badań wynika, że intensywność chłodzenia powierzchni (odprowadzania ciepła) można istotnie zwiększyć, jeśli zastosuje się odsysanie mieszaniny parowo-powietrznej. Przybliżone średnie wartości względnego współczynnika odparowania wynoszą od 25÷50%.

Otrzymane wyniki badań wykazują jednak duży rozrzut punktów pomiarowych, wynikający z jeszcze niedoskonałej metodyki badań. Przyczynami tak dużego rozrzutu punktów pomiarowych mogą być m.in. zastosowanie metody wagowej oceny ilości odparowującej wody, wpływ zmiennych warunków otoczenia, nierównomierne podawanie wody z zakraplacz.



Rys.3. Współczynnik odparowania dla wody od temperatury ścianki

Fig.3. Coefficient of evaporation for water in function of wall temperature

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych można stwierdzić, że odsysanie mieszaniny parowo-powietrznej z nad podgrzewanej powierzchni pokrytej filmem ciekłym istotnie zwiększa intensywność jego odparowania. Zastosowanie odsysania powoduje, że w badanym zakresie zmian temperatury powierzchni ścianki, średnie wartości względnego współczynnika odparowania filmu wodnego zmieniają się od 25% dla temperatury powierzchni ścianki około 50°C do 50% dla temperatury powierzchni ścianki około 100°C. Niedoskonałości w metodyce badań wskazują na konieczność ich kontynuacji.

Literatura

- [1] Deng Y., Liu J.: A liquid metal cooling system for the thermal management of high power LEDs, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37, 2010, s. 788 – 791.
- [2] Kim J.: Spray cooling heat transfer: The state of the art, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 28, 2007, s. 753 – 767.
- [3] Lai Y., Cordero N., Barthel F., Tebbe F., Kuhn J., Apfelbeck R.: Liquid cooling of bright LEDs for automotive applications, *Applied Thermal Engineering* 29, 2009, s. 1239 – 1244.
- [4] Lin C., Chen C. J., Chieng C. C., Tseng F. G.: Dynamic effects of droplet impingement on nanotextured surface for high efficient spray cooling, *Transducers'11, Beijing, China*, June 5 – 9, 2011.
- [5] Liu Y. – H., Song S. – J., Lo Y. – H.: Jet impingement heat transfer on target surface with longitudinal and transverse grooves, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 58, 2013, s. 292 – 299.
- [6] Panão M.R.O., Correia A.M., Moreira A.L.N.: High – power electronics thermal management with intermittent multijet sprays, *Applied Thermal Engineering* 37, 2012, s. 293 – 301.
- [7] Panão M.R.O., Moreira A.L.N., Durao D.F.G.: Thermal – fluid assessment of multi-jet atomization for spray cooling applications, *Energy* 36, 2011, s. 2302 – 2311.
- [8] Rafati M., Hamidi A. A., Shariati Niaser M.: Application of nanofluids in computer cooling systems (heat transfer performance of nanofluids), *Applied Thermal Engineering* 45 – 46, 2012, s. 9 – 14.
- [9] Şeşen M., Demir E., İzci T., Khudhayer W., Karabacak T., Koşar A.: Submerged jet impingement cooling using nanostructured plates, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 59, 2013, s. 414 – 422.
- [10] Somasundaram S., Tay A.A.O.: A Study of the Effect of Exit Boundary Conditions on the Performance of a Spray Cooling System, *12th Electronics Packaging Technology Conference*, 2010.
- [11] Somasundaram S., Tay A.A.O.: Comparative study of intermittent spray cooling in single and two phase regimes, *International Journal of Thermal Science* 74, 2013, s. 174 – 182.
- [12] Tan Y.B., Xie J.L., Duan F., Wong T.N., Toh K.C., Choo K.F., Chan P.K., Chua Y.S.: Multi – nozzle spray cooling for high heat flux applications in a closed loop system, *Applied Thermal Engineering* 54, 2013, s. 372 – 379.
- [13] Tinger J., Sedeh M.M., Sharpe T., Bufford A., Floyd T. – Smith: Analysis of a platform for thermal management studies of microelectronics cooling methods, *Applied Thermal Engineering* 60, 2013, s. 88 – 95.
- [14] Vondran G., Makris K., Fragopoulos D., Papadas C., Kumari N.: Thermal Performance of Inkjet – assisted Spray Cooling in a Closed System, *13th IEEE ITherm Conference*, 2012.

- [15] Wang C. – H., Sun C. – J., Kuo H. – C.: An experimental investigation of heat transfer of a droplet impinging upon a hot surface, INT. COMM. HEAT MASS TRANSFER, Vol. 24, No. 1, 1997, pp. 65 – 78.
- [16] Xie J.L., Tan Y.B., Duan F., Ranjith K., Wong T.N., Toh K.C., Choo K.F., Chan P.K.: Study of heat transfer enhancement for structured surfaces in spray cooling, Applied Thermal Engineering 59, 2013, s. 464 – 472.
- [17] Zhang Z., Li J., Jiang P. – X.: Experimental investigation of spray cooling on flat and enhanced surfaces, Applied Thermal Engineering 51, 2013, s. 102 – 111.

INITIAL INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE STEAM-AIR MIXTURE SUCTION ON HEAT TRANSFER EFFICIENCY BETWEEN COOLING AGENT AND PREHEATED SURFACE

S u m m a r y

The paper presents test stand structure, measurement and calculation methodology and initial results of investigation of preheated surface cooling by water stream. The aim of this article is preliminary analysis of influence of steam-air mixture evacuation on the intensity of water film evaporation. The hot surface is cooling by three streams of water. Streams are produced in droppers mounted in plate and located in the vertices of an equilateral triangle. The water flow rate is stationary. In the center of triangle is mounted the probe connected to a vacuum pump that is used for evacuation of steam-air mixture from above the hot surface and atmospheric air surrounding the system. Streams of water cooling the heater surface made of copper block with the dimensions: 0.04×0.04×0.02 m). The surface temperature of block is changed in the range from 50°C to 100°C. Based on the results of preliminary investigations it was stated that the suction of steam-air mixture from above the liquid film layer enhances the water film evaporation about 25÷50%.

Keywords: suction, evaporation, water film, steam evacuation, spray cooling, wall cooling

DOI: 10.7862/rm.2014.28

Otrzymano/received: 15.05.2014

Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014