

INSTYTUT MASZYN PRZEPŁYWOWYCH PAN
OŚRODEK O2

SPRAWOZDANIE

z realizacji tematu O2/T3 w roku 2009 pt.:

**„Problemy cieplno-przepływowe w urządzeniach niskotemperaturowej
($<200\text{ }^{\circ}\text{C}$) energetyki ciepłej, także z wykorzystaniem
odnawialnych źródeł energii.”**

W temacie realizowano trzy zadania pt.:

- 1. Mikrosiłownie na czynniki organiczne**
- 2. Obiegi skojarzone lewobieżne oraz prawobieżne z wykorzystaniem ekologicznych czynników roboczych**
- 3. Zastosowanie procesów elektrohydrodynamicznych oraz nanotechnologii w zagadnieniach cieplno-przepływowych energetyki.**

Kierownik tematu: prof. Marian Trela

Gdańsk listopad 2009

ZADANIE 1

"Mikrosiłownie na czynniki organiczne."

Kierownik tematu: **Prof. dr hab. inż. JAROSŁAW MIKIELEWICZ**

Obsada etatowa:

1.	Prof. dr hab. inż.	JAROSŁAW MIKIELEWICZ	0,5 etatu	Kierownik
2.	Dr inż.	ZBIGNIEW DROŻYŃSKI	1,0 etatu	w działalności statutowej
3.	Dr inż.	EUGENIUSZ IHNATOWICZ	1,0 etatu	w działalności statutowej
4.	Dr inż.	HENRYK BIELIŃSKI	0,5 etatu 0,5 etatu	w działalności statutowej w ramach grantu MNiSW
5.	Mgr inż.	SEBASTIAN BYKUĆ	1,0 etat	w działalności statutowej

Razem - 4,5 etatu w działalności statutowej

1. CEL I PRZEDMIOT PRACY W ZAKRESIE TEMATU

Jednym z nowych obiecujących kierunków współczesnej energetyki uzupełniającym scentralizowany sektor energetyki jest sektor energetyki rozproszonej, w którym wytwarzana jest energia elektryczna w kogeneracji z ciepłem. Istnieje szereg technologii energetyki rozproszonej o małej mocy wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Wg naszej wiedzy najkrótszy horyzont czasowy związany jest z zastosowaniem parowych obiegów Rankine'a na czynnik niskowrzący (Organic Rankine Cycle-ORC) w mikrośilowni. Na tej bazie powstała w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN koncepcja Domowej Mikrośilowni Kogeneracyjnej. Mikrośilownia ta o obiegu ORC ma ona służyć do produkcji energii elektrycznej i ciepła do użytku domowego [I/4, I/7, I/8, I/10]. W przyszłości Mikrośilownia Kogeneracyjna zastąpi konwencjonalne kotły do ogrzewania obiektów takich jak: domki jednorodzinne, domy wielorodzinne, osiedla itp. Gabarytowo kocioł z Mikrośilownią będzie niewiele różnić się od dotychczasowego kotła grzewczego ale będzie oprócz funkcji ogrzewania wytwarzać dodatkowo energię elektryczną. Mikrośilownia parowa na czynnik niskowrzący pracująca w zakresie znacznie niższych temperatur niż silnik spalinowy i turbina gazowa wymaga mniej cennych materiałów, łatwiejsza też jest technologia jej wytworzenia. Przy jej pomocy staje się możliwe generowanie energii elektrycznej przy cenach zbliżonych do cen energii wytwarzanej w tradycyjnych siłowniach dużej mocy. Lepsze wykorzystanie energii paliwa w Mikrośilowniach Kogeneracyjnych prowadzi do obniżenia szkodliwych emisji towarzyszących procesowi spalania paliwa. Mała siłownia kogeneracyjna może być w pełni zautomatyzowana i nie wymaga obsługi. Podstawowymi elementami składowymi mikrośilowni są: kocioł (parownik), turbina parowa, skraplacz (kondensator), generator elektryczny i pompa zasilająca. Nowa koncepcja mikrośilowni wymaga rozwiązania szeregu nowych problemów. Jednym z nich jest wybór odpowiedniego czynnika roboczego [I/6]. Aby zastosować kompaktne wymienniki ciepła o intensywnej wymianie ciepła w mikrokanalach, analiza obiegu uwzględnia spadki ciśnienia w wymiennikach, które z kolei wpływają na różnice temperatur w wymiennikach a tym samym i na

wymiary tych wymienników ciepła. Należało więc w obliczeniach koncepcyjnych uwzględnić spadek ciśnienia przy przepływie dwufazowym przez parownik i skraplacz [I/16]. Wymianę ciepła podczas wrzenia w parowniku wyznaczono z własnego modelu przepływu dwufazowego. Oprócz prac teoretycznych prowadzone są w kooperacji z Politechniką Gdańską (Katedrą Techniki Ciepłej) prace eksperymentalne [I/3, I/5, I/9, I/11]. Zbudowano stanowisko eksperymentalne symulujące pracę mikrośiłowni, na którym przeprowadzone są wstępne pomiary parametrów obiegu, współczynników wymiany ciepła w wymiennikach metodą Wilsona oraz sprawności ekspandera spiralnego. Otrzymane wyniki są zachęcające. W dalszych badaniach eksperymentalnych ekspander (odwrócona chłodnicza sprężarka spiralna) będzie zastąpiony mikroturbiną własnej konstrukcji.

Źródłem ciepła mikrośiłowni w zależności od konfiguracji, może być gaz pochodzący ze spalania zasobów naturalnych lub biomasy, złoża geotermalne lub kolektor słoneczny. Jako źródło ciepła może być również wykorzystane ciepło odpadowe z procesów technologicznych. Energia elektryczna jest wytwarzana przez generator napędzany mikroturbiną pracującą na parę wodną lub parę czynnika niskowrzącego. Moc projektowanej turbiny zawiera się w granicach od kilku do kilkudziesięciu kW w zależności od zastosowań. Zaletą mikrośiłowni jest jej kompaktowość oraz małe wymiary. Małe wymiary siłowni uzyskuje się dzięki wykorzystaniu nowoczesnych materiałów i nowoczesnej mikrotechnologii. Małe wymiary turbiny i wymienników ciepła prowadzą do niskich kosztów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Bardzo korzystną cechą mikrośiłowni jest również łatwa i bezpieczna eksploatacja z uwagi na pełną automatyzację. Przewiduje się, że siłownia będzie cicha i bez drgań z uwagi na jedną tylko część wirującą (wirnik generatora elektrycznego i wirnik turbiny na jednym wale). Jako przykład rozpatrywano siłownię pracującą na gaz pochodzący ze spalania biomasy, która może znaleźć powszechne zastosowanie np. w budownictwie jednorodzinnym..

W ramach prac statutowych, projektu „ekoenergia” jak i projektu kluczowego prowadzone były prace nad zagadnieniami związanymi z opracowaniem koncepcji, analizą czynników roboczych i parametrów pracy obiegu oraz analizą rozwiązań konstrukcyjnych podstawowych elementów Kogeneracyjnej Mikrośiłowni Parowej pracującej w obiegu Rankine'a na czynnik niskowrzący [I/16, III/1, III/2, III/3, III/4, IV/1, IV/2, IV/3]

W 2009 roku kontynuowane były prace nad zagadnieniem kondensacji pary wodnej z mieszaniny parowo powietrznej w kondensatorach turbin parowych. Rozpatrywanie tego zagadnienia ma znaczenie teoretyczne oraz użytkowe. Z analiz wiadomo, że obecność gazów inertnych w skraplaczach obiegu parowego w sposób zdecydowanie niekorzystny wpływa na procesy wymiany ciepła. Gazy te przedostając się poprzez nieszczelności do obiegu parowego pogarszając wymianę energii przyczyniają się do poważnych strat energetycznych i dalej ekonomicznych. Obecności tych gazów w skraplaczach powoduje zwiększenie zużycia paliwa (węgla) na jednostkę wyprodukowanej energii a co za tym idzie większą emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Są dwie drogi do uniknięcia obecności gazów inertnych w kondensatorach turbin parowych: likwidacji nieszczelności układów próżniowych oraz skuteczne ich odessanie z objętości urządzenia.

Z obliczeń oraz eksperymentów przeprowadzonych na rzeczywistych obiektach przemysłowych wynika, że koncentracja powietrza (jako głównego składnika gazów inertnych) w mieszaninie z parowo powietrznej ulega najbardziej intensywnym zmianom z pośród wszystkich innych parametrów charakteryzujących czynnik obiegowy. Wartość tego parametru zmienia się z wielkości niemierzalnych $c = 5 \cdot 10^{-5}$ tuż nad pęczkami rurek do wartości $c = 0.75$ w króćcu ssawnym odprowadzającym mieszaninę parowo powietrzną do pomp próżniowych. W niewielkiej przestrzeni urządzenia dochodzi więc do zmiany koncentracji powietrza w mieszaninie prawie 10^4 razy. W poprzednich opracowaniach określono mechanizmy tak intensywnych zmian. Są to dryfowanie inertnych cząstek wraz z przepływem pary wodnej oraz

wypieranie tych cząsteczek w kierunku gradientu malejącego ciśnienia cząstkowego pary wodnej nad przestrzenią wymiany ciepła.

Opracowany teoretyczny model kondensacji pary wodnej na rurce rzeczywistego kondensatora obejmuje dwa przypadki procesu wymiany ciepła jako konwekcji wymuszonej gdzie dominującym zjawiskiem jest transport cząsteczek inertych gazów w kierunku przepływu pary wodnej oraz konwekcji swobodnej gdzie dominującym jest wypieranie cząsteczek gazów w kierunku powierzchni wymiany ciepła czyli powierzchni rurek. Ten uniwersalny model zaadoptowano do obliczeń termodynamicznych najbardziej typowych w Polsce skraplaczy współpracujących między innymi z turbinami 200 MW. Z pierwszym zjawiskiem mamy do czynienia w tak zwanych wstępach czyli w pęczkach kondensacji pary wodnej pierwszego oraz drugiego biegu kondensatorów na które bezpośrednio napływa strumień pary wodnej opuszczający turbinę. Swobodna kondensacja zachodzi natomiast w pęczkach osłoniętych przed bezpośrednim napływem mieszaniny parowo powietrznej o czym świadczą odpowiednie liczby Reynoldsa. Dokonując szeregu uzasadnionych założeń opierając się na wynikach badań doświadczalnych przyjęto geometrię pęczków pierwszego biegu najbardziej popularnych kondensatorów w Polsce. Dla takich danych wyznaczano rozkłady koncentracji gazów inertych wzdłuż rurek pęczków pierwszego biegu kondensatorów. Również w kondensatorach mikrośilowni może wystąpić podobne zagadnienie, gdy skraplacz pracuje pod ciśnieniem niższym od atmosferycznego. Uzyskane wyniki badań dotyczących pary wodnej będą mogły być przeniesione na inne czynniki stosowane w obiegach ORC. Wyniki prac nad kondensacją pary wodnej posłużą do optymalizacji kondensatorów w tym również mikrośilowni.

W zastosowaniu do obiegów w mikrośilowni kontynuowano prace nad uogólnieniem obiegu z cyrkulacją naturalną, w którym występuje skraplacz i parownik, natomiast w porównaniu z obiegiem mikrośilowni nie występuje ekspander. W takim obiegu następuje naturalna cyrkulacja czynnika wywołana przez termiczne gradienty gęstości czynnika i nie ma konieczności stosowania wymuszenia cyrkulacji poprzez pompę lub wentylator. Czynnik może być w stanie cieczy lub podlegać w pętli cyrkulacyjnej przemianom fazowym. Przeprowadzono analizę wymiany ciepła i ruchu płynu w uogólnionym modelu termosyfonu dwufazowego z niecałkowitym odparowaniem dla różnych wariantów. Pierwszy – z ogrzewaniem od dołu i z boków oraz chłodzeniem od góry i z boków. Drugi wariant – z ogrzewaniem od dołu i z jednego boku pionowego oraz chłodzeniem od góry oraz drugiego boku pionowego. Analizę ruchu płynu i wymiany ciepła oparto na stacjonarnym i jednowymiarowym modelu. Dwufazowy przepływ płynu opisano za pomocą rozdzielonego modelu płynu dwufazowego. Dla obliczenia stopnia wypełnienia (void fraction) posłużono się korelacją El-Hajala z 2003 r. Wielkość strat tarcia podczas przepływu dwufazowego czynnika R11 w odcinkach adiabatycznych wyznaczono przy pomocy korelacji Zhang-Webb'a (2003), natomiast dla odcinków nieadiabatycznych według korelacji Tran'a (2000). Wykonano obliczenia numeryczne w celu określenia rozkładu masowej prędkości zredukowanej czynnika dwufazowego w funkcji gęstości strumienia dostarczanego ciepła do obiegu dla obu wariantów [I/2], [I/15]. Ponadto określono wartość współczynnika przejmowania ciepła dla wrzenia w przepływie według uogólnionej korelacji J. Mikieliewicza (2007) [I/1] oraz Owahib'a (2007) [I/14] dla minikanalów.

2. CHARAKTERYSTYKA UZYSKANYCH WYNIKÓW

1. Opracowano uogólnione kryteria termodynamiczne doboru czynnika roboczego dla obiegów ORC (podkrytycznych i nadkrytycznych).
2. Opracowano rozptyw czynnika w kolektorach mikrowymienników kanalikowych
3. Opracowano algorytmy obliczeniowe dla mikrowymienników ciepła (skraplacza i parownika) typu mikrokanalikowego.
4. Przeprowadzono wstępną symulację pracy parownika i skraplacza.
5. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że dobrymi płynami do zastosowań w mikrośrodku jest SES36, etanol oraz R141b. Powyższe wnioski wynikają z rozpatrzenia sprawności obiegu oraz osiąganej mocy w turbinie. Bardzo perspektywicznym czynnikiem roboczym w mikrośrodkach wydaje się być alkohol etylowy.
6. W Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Gdańskiej we współpracy z IMP PAN powstał prototyp mikrośrodku o obiegu ORC. Posłużył on do zdobycia doświadczeń eksploatacyjnych tego urządzenia.
7. Uzyskano wyniki obliczeń [I/13] w postaci rozkładów parametrów termodynamicznych czynników biorących udział w procesie kondensacji pary wodnej z mieszaniny parowo powietrznej na kolejnych rurkach pęczków pierwszego biegu kondensatora. Dla kolejnych rzędów rurek w pęczkach (r) są to rozkłady parametrów wzdłuż ich długości. Są to rozkłady:
temperatury czynników biorących udział w procesie: $t_w(r, l)$, $t_{wi}(r, l)$, $t_{wo}(r, l)$,
 $t_{ci}(r, l)$, $t_m(r, l)$,
ciśnienia cząstkowych pary wodnej oraz powietrza w podwarstwie gazowej warstwy termicznej: $p_{pi}(r, l)$, $p_{pm}(r, l)$, $p_{gi}(r, l)$, $p_{gm}(r, l)$,
opory przepływu ciepła: $R_w(r, l)$, $R_r(r, l)$, $R_f(r, l)$, $R_c(r, l)$, $R_m(r, l)$,
współczynnika przenikania ciepła $k(r, l)$ ze składowymi
współczynnikami wnikania: $\alpha_w(r, l)$, $\alpha_c(r, l)$, $\alpha_m(r, l)$,
strumienia ciepła $q(r, l)$,
masowe natężenie kondensacji pary wodnej i przepływu powietrza: $m_p(r, l)$,
 $m_g(r, l)$,
koncentracji powietrza w warstwie termicznej wzdłuż rurki $c_g(r, l) = c_{gm}(r, l)$,
sprawności procesu wymiany ciepła na powierzchni rurki $\eta(r, l)$.
8. Opracowano teoretyczny model rozdzielony wymiany ciepła i ruchu płynu w uogólnionym, minikanalowym termosyfonie dwufazowym z niecałkowitym odparowaniem i sprawdzono jego funkcjonowanie na różnych wariantach. Pierwszy – z ogrzewaniem od dołu i z boków i chłodzeniem od góry i z boków. Drugi wariant – z niesymetrycznym ogrzewaniem dolnej gałęzi poziomej i dolnego odcinka gałęzi pionowej oraz niesymetrycznym chłodzeniem rozłożonym na górnej poziomej gałęzi oraz na górnym odcinku przeciwległej gałęzi pionowej.
9. Opracowano programy numeryczne w celu określenia rozkładu masowej prędkości zredukowanej czynnika dwufazowego w funkcji gęstości strumienia ciepła dostarczanego do obiegu według modelu rozdzielonego przepływu dwufazowego z uwzględnieniem korelacji Zhang-Webb'a dla określenia lokalnego współczynnika tarcia w odcinkach adiabatycznych i Trana'a dla określenia lokalnego współczynnika tarcia w odcinkach nieadiabatycznych [I/2], [I/15] oraz korelacji El_Hajala dla określenia stopnia wypełnienia (void fraction).
10. Dla minikanalowego termosyfonu dwufazowego uzyskano numerycznie rozkład współczynnika przejmowania ciepła dla wrzenia w przepływie według uogólnionej korelacji Mikielewicz (2007) oraz korelacji Owahib'a (2007) [I/1], [I/14].

3. WNIOSKI WRAZ Z EWENTUALNYM UZASADNIENIEM KONTYNUOWANIA BADAŃ

Wydaje się, że propozycja rozwijania mikrośiłowni jest bardzo atrakcyjna i może stać się „polskim hitem”. Badania nad powstaniem takiej mikrośiłowni muszą skupić się na szeregu problemach o charakterze teoretycznym jak i eksperymentalnym. Kolejnym wyzwaniem jest propozycja mikroturbiny. Wiele laboratoriów na świecie zaangażowało się w rozwój takiego urządzenia, niestety bez większych jak na razie sukcesów. W przyszłych analizach obiegów ORC nie należy wykluczać możliwości zastosowania obiegów nadkrytycznych. Prace takie rozpoczęto już w IMP PAN.

- Opracowanie prototypu mikrośiłowni kogeneracyjnej dla zastosowań domowych, ze względu na złożoność, jest procesem długotrwałym i wymaga przeprowadzenia szeregu dalszych prac teoretycznych, projektowych i eksperymentalnych m.in. nad procesami wymiany ciepła w mini kanałach przy przepływie jedno- i dwufazowym. Wybór odpowiedniej konstrukcji mikrowymienników będzie związany z analizą rekuperatorów: płaszczowo-rurowych, płytowych mikrokanalikowych. Prowadzone powinny być też prace nad zagadnieniami dynamiki mikrowymienników. Wybór mikrowymienników opierać się będzie o wyniki przyszłych badań teoretycznych i eksperymentalnych.
- Inne zespoły badawcze Instytutu muszą opracować odpowiednią maszynę ekspansyjną, procesy spalania w kotle o nowej konstrukcji.
- W roku 2009 określono w procesie obliczeń proces kondensacji pary wodnej na rurkach pierwszego biegu kondensatora. Zasadniczym jest jednak problem odsysania gazów inertnych ze skraplaczy turbin parowych. Odpowiedź na to pytanie dostarczą rozpoczęte (i planowane w przyszłym roku) obliczenia kondensacji pary wodnej na rurkach pęczków drugiego biegu kondensatora.

Wnioski z obliczeń są zbieżne z wynikami prac eksperymentalnych.

Omawiany model obliczeń powala na optymalizację konstrukcji skraplaczy.

Obecne rozwiązania techniczne pozwalają na odsysanie powietrza z pewnej odległości od powierzchni wymiany ciepła. Przeważnie odbywa się to z przestrzeni za pęczkiem koncentracji gazów inertnych nazywanym chłodnicą powietrza. Taki makroskopowy sposób usuwania tych gazów nie ingerując bezpośrednio w zjawiska kondensacji jest rozwiązaniem pasywnym. Rozwiązanie to powoduje zaleganie dużych ilości gazów inertnych w warstwach termicznych wokół rurek. Na bazie opisywanego powyżej modelu zaprezentowany zostanie nowy aktywny sposób i układ odsysania powietrza z kondensatorów.

- Analizę wymiany ciepła i ruchu płynu w termosyfonach dwufazowych należy rozszerzyć na przepływy czynnika w wielokanałowych grzejnikach minikanalowych. Problem jest ważny dla określenia cyrkulacji czynnika w obiegu ORC.
- Opis cyrkulacji czynnika dwufazowego w obiegu termosyfonu winien być rozszerzony o analizę funkcjonowania naturalnej cyrkulacji wspomaganą przy pomocy pompy.

4. DZIAŁALNOŚĆ POZA TEMATEM O2/T3

- W ramach projektu kluczowego Prof. J. Mikielawicz, Mgr S. Bykuć i Dr E. Ihnatowicz zajmowali się zagadnieniami teoretycznymi dotyczącymi obiegu cieplnego mikrośiowni [IV/1-3] oraz pracami projektowymi nad stanowiskami eksperymentalnymi do badań wymienników ciepła, mikroturbogenerators i kotła na biomasę.
- Poza tematem przeprowadzono popularyzację zagadnienia chłodzenia powierzchni przy pomocy strug czynnika [II/1].
- Prof. J. Mikielawicz i Dr H. Bieliński pracowali [VI/1-9] w ramach grantu KBN PB1880/B/T02/2007/33 nad zagadnieniami cyrkulacji naturalnej w minikanalowych termosyfonach dwufazowych. W 2009 roku przedmiotem pracy było uzyskanie rozkładów entalpii i stopnia suchości czynnika dwufazowego cyrkulującego w obiegu w różnych wariantach minikanalowych termosyfonów. Pierwszy – wariant z ogrzewaniem i chłodzeniem poziomych gałęzi obiegu. Drugi wariant z ogrzewaniem i chłodzeniem bocznych gałęzi obiegu. Trzeci wariant z niesymetrycznym ogrzewaniem od dołu i z boku oraz niesymetrycznym chłodzeniem bocznym. Czwarty wariant z niesymetrycznym ogrzewaniem od dołu i z boku oraz niesymetrycznym chłodzeniem bocznym. Piąty wariant z ogrzewaniem od dołu i z boku oraz chłodzeniem od góry i z boku. Dla określenia rozkładu entalpii i stopnia suchości uzyskano wpiery rozkład masowej prędkości zredukowanej w funkcji gęstości strumienia ciepła dostarczonego do obiegu przy wykorzystaniu modelu rozdzielonego przepływu czynnika dwufazowego z korelacją El-Hajala dla określenia stopnia zapełnienia (void fraction), korelacją Zhang-Webba i korelacją Trana dla określenia lokalnego współczynnika tarcia przy przepływie czynnika dwufazowego.
- Prof. J. Mikielawicz i Dr H. Bieliński pracowali [VI/10-13] także w ramach grantu KBN PB1400/T02/2006/30, w którym rozpatrzono wymianę ciepła i ruch płynu dwufazowego w wariantcie termosyfonu minikanalowego z ogrzewaniem bocznym i chłodzeniem od góry. Określono wpływ parametrów geometrycznych na rozkład masowej prędkości zredukowanej w funkcji gęstości strumienia ciepła dostarczonego do pętli obiegu. W pierwszej części określono wpływ długości początkowego odcinka pionowego i izolowanego przed grzejnikiem na wartość masowej prędkości zredukowanej czynnika cyrkulującego w obiegu. W drugiej części określono wpływ długości obwodu pętli cyrkulacyjnej na wielkość masowej prędkości zredukowanej czynnika w pętli obiegu. Określono także rozkład współczynnika przejmowania ciepła dla kondensacji w przepływie w funkcji gęstości strumienia ciepła według zmodyfikowanej korelacji J. Mikielawicza dla minikanalów przy wykorzystaniu modelu rozdzielonego przepływu czynnika dwufazowego oraz korelacji El-Hajala dla określenia stopnia zapełnienia (void fraction), a także korelacji Zhang-Webba (odcinki adiabatyczne) i korelacji Trana (odcinki nieadiabatyczne) dla określenia lokalnego współczynnika tarcia przy przepływie czynnika dwufazowego. Wyniki badań opracowano w merytorycznym podsumowaniu wyników badań projektu badawczego.
- W 2009 na zlecenie szwedzkiej Elektrowni Atomowej Forsmarks Kraftgrupp AB, opracowywana została koncepcja badań naprężeń termicznych w trzonach prętów regulacyjnych reaktorów atomowych. Prace koordynował profesor Piotr Doerffer. Prace prowadzone były we współpracy z Katedry Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Krakowskiej oraz Elektrociepłownią Wybrzeże gdzie planowano budowę

stanowiska. Opracowana została koncepcja stanowiska do badań, program badań [II/1] oraz oszacowane zostały koszty tych działań [II/2].

5. WYKAZ PUBLIKACJI I OPRACOWAŃ

I. DZIAŁALNOŚĆ STATUTOWA

- [I/1] Bieliński H., Mikielewicz J., Model teoretyczny wymiany ciepła i ruchu płynu w minikanalowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem z boków i od dołu oraz chłodzeniem z boków i od góry. Rozkład masowej prędkości zredukowanej, IMP PAN, Nr arch.: 770-2009.
- [I/2] Bieliński H. Mikielewicz J., Rozkład współczynnika przejmowania ciepła dla wrzenia w przepływie według korelacji Mikielewicza w minikanalowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem z boków i od dołu oraz chłodzeniem z boków i od góry, IMP pan, Nr arch.: 769 /2009
- [I/3] Wajs J., Mikielewicz D., Mikielewicz J., Turbinka pneumatyczna jako maszyna ekspansyjna w obiegu mikrośrodku. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna; 09/2009, 163, IMP PAN, Nr arch.: 700 / 2009.
- [I/4] Mikielewicz J., “Domestic combined micro heat and power plant”. Rocznik; Ochrona Środowiska; T11; Rok 2009; s. 25-38, IMP PAN, Nr arch.: 699 / 2009
- [I/5] Mikielewicz D., Mikielewicz J., Wajs J., „Experimental investigations of organic Rankine cycles for domestic micro CHP”. Heat Power Cycle 2009, Innovationszentrum Energie, Technische Universität Berlin, 7-9, IMP PAN, Nr arch.: 698 / 2009
- [I/6] Mikielewicz D., Mikielewicz J., „A new criterion for selection of working fluid for subcritical and supercritical micro CHP”. Heat Power Cycles 2009 Innovationszentrum Energie, Technische Universität Berlin, 7-9, IMP PAN, Nr arch.: 697 / 2009
- [I/7] Mikielewicz J., Domowe siłownie kogeneracyjne. Ogólnopolska Konferencja Naukowa na temat: Kompleksowe i szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska 2009, IMP PAN, Nr arch.: 696 / 2009
- [I/8] Mikielewicz J., Domowe siłownia parowa na czynnik niskowrzący. Międzynarodowa Konferencja Naukowa na temat: Stan Pozyskiwania Odnawialnych Źródeł Energii w Polsce, Łomża 2009, IMPPAN, Nr arch.: 695 / 2009
- [I/9] Mikielewicz J., Mikielewicz D., Wajs J., Sprężarka chłodnicza jako maszyna ekspansyjna w obiegu ORC mikrośrodku. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna. 03/2009,157,s.101-106. IMP PAN, Nr arch.: 694 / 2009
- [I/10] Mikielewicz J., Sustainable development of dispersed energy sector. Co-Reach Sustainability Conference; Dfg-Nsfc; Sino-German Centre; Beijing; 2009 Co Reach/The British Academy, IMP PAN, Nr arch.: 693 / 2009
- [I/11] Mikielewicz D., Mikielewicz J., Wajs J., Ihnatowicz E., Experimental investigation of Organic Rankine Cycles for domestic micro CHP. IX International Symposium Research

- Education – Technology, Hochschule Bremen University of Applied Sciences Brema 24-25 2009, Proceedings low Temperature and Waste Heat Use in Communal and Industrial Energy Supply, s 171-174, IMP PAN, Nr arch.: 602 / 2009
- [I/12] Mikielwicz D., Mikielwicz J., A simple dissipation model of circural hydraulic jump. International Journal of Heat and Mass Transfer 52(2009) 17-21, IMP PAN, Nr arch.: 762 / 2008
- [I/13] Drożyński Z., Koncentracji gazów inertnych na rurkach pęczków pierwszego biegu kondensatora, IMP PAN. Nr Arch. 763 / 09.
- [I/14] Bieliński H., „Rozkład współczynnika przejmowania ciepła dla wrzenia w przepływie według korelacji Owahib’a (2007) w minikanałowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem z boków i od dołu oraz chłodzeniem z boków i od góry.”, IMP PAN., Nr Arch. 771/2009.
- [I/15] Bieliński H., “ Rozkład masowej prędkości zredukowanej w minikanałowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem z boku i od dołu oraz chłodzeniem z boku i od góry.”, IMP PAN., Nr Arch. 529/2009.
- [I/16] Bykuć S., Wpływ spadków ciśnienia w obiegu ORC na jego sprawność.

II. POZA TEMATEM O2/T3

- [II/1] Doerffer P., Drożyński Z., Specification of test stand for investigation of heat transfer to control rod shaft (crf) and surrounding pipe in the annular gap where mixing of cold crud flow and hot mc water occurs. IMP PAN, Nr Arch. 197 / 2009
- [II/2] Doerffer P., Drożyński Z., Specification of costs test stand for investigation of heat transfer to control rod shaft (crf) and surrounding pipe in the annular gap where mixing of cold crud flow and hot mc water occurs. IMP PAN, Nr Arch. 198 / 2009

III. PRACE W PROJEKCIE EKOENERGII

- [III/1] Mikielwicz J., Bykuć S., Opracowanie algorytmu oraz programu w środowisku EES do obliczeń głównych parametrów obiegu niskowrzącego dla mikrośilowni, w którym dodatkowo dogrzewana jest woda użytkowa oraz algorytmu i programu do obliczeń głównych parametrów parownika i skraplacza typu kanalikowego pracujących w obiegu., IMP PAN, Nr arch.: 324 / 2009
- [III/2] Mikielwicz J., Butrymowicz D., Analiza efektów pompowania kapilarnego w wymiennikach mikrokanałowych w aspekcie mikrośilowni ORC., IMP PAN, Nr arch.: 253 / 2009
- [III/3] Mikielwicz D., Myszkier E., Wajs J., Zygmunt J., Adaptacja stanowiska badawczego i badania wstępne wymienników ciepła w eksperymentalnej mikrośilowni pracującej na czynnik roboczy SES 36., IMP PAN, Nr arch.: 189/2009
- [III/4] Mikielwicz J., Kosowski K., Lampart P., Piwowarski M., Bykuć S., Analiza możliwości zastosowania turbiny Tesli w mikrośilowni z czynnikiem wrzącym., IMP PAN, Nr arch.: 52 / 2009.

PRACE WYKONANE W RAMACH PROJEKTU KLUCZOWEGO W 2009 ROKU

1. J. Mikielawicz, D. Mikielawicz. Określenie parametrów i optymalizacja obiegu mikrośiowni z alkoholem (etanołem) i SES36 jako czynnikiem roboczym z bezpośrednim i pośrednim grzaniem. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 220/09.
2. J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Bykuć, B. Grochal. Analiza koncepcji obiegu mikrośiowni z bezpośrednim i pośrednim grzaniem czynnika roboczego w kotle przy zastosowaniu czynników gazowych i ciekłych (np. alkohol etylowy, izobutan, czynniki niskowrzące: SES36, R245fa, HFE7100, R141b) - warianty realizacji obiegu przy zastosowaniu czynników roboczych: „suchych”, „mokrych” i „izentropowych”. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 221/09.
3. J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Bykuć, B. Grochal. Określenie parametrów i optymalizacja obiegu mikrośiowni z izobutanem, R245fa, HFE7100 i 141b jako czynnikiem roboczym z bezpośrednim i pośrednim grzaniem - 1. Parametry punktów obiegu (parametry wejściowe do obliczeń wymienników ciepła, turbiny, pompy). 2. Analiza możliwości zastosowania przegrzewacza lub podgrzewacza regeneracyjnego. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 222/09.
4. J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Bykuć, D. Kardaś. Ostateczny wybór koncepcji obiegu mikrośiowni, czynnika roboczego i parametrów pracy. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 223/09.
5. M. Jaskólski. Analiza parametrów wody zasilającej domowe układy grzewcze (ogrzewanie i CWU - akty prawne, ograniczenia wynikające z praktyki). Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 144/09.
6. D. Skrobot. Analiza możliwości zastosowania określonych czynników roboczych w instalacji kotłowej mikrośiowni kogeneracyjnej w aspekcie bezpieczeństwa technicznego. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 212/09.
7. J. Mikielawicz, D. Mikielawicz. Opracowanie algorytmu obliczeń mini wymienników ciepła typu kanalikowego dla obiegu mikrośiowni (spadki ciśnień, współczynniki wymiany ciepła, powierzchnia wymiany ciepła, objętość wymiennika) i obliczenia przykładowe. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 193/09.
8. J. Mikielawicz, D. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Bykuć. Program obliczeniowy mini wymienników ciepła typu kanalikowego dla obiegu mikrośiowni (spadki ciśnień, współczynniki wymiany ciepła, powierzchnia wymiany ciepła, objętość wymiennika). Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 224/09.
9. J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Bykuć, B. Grochal. Opracowanie algorytmu obliczeń wymienników ciepła typu rura w rurze dla obiegu mikrośiowni (spadki ciśnień, współczynniki wymiany ciepła, powierzchnia wymiany ciepła, objętość wymiennika). Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 225/09.
10. J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, M. Lackowski, B. Grochal. Program obliczeniowy wymienników ciepła typu rura w rurze dla obiegu mikrośiowni (spadki ciśnień, współczynniki wymiany ciepła, powierzchnia wymiany ciepła, objętość wymiennika). Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 226/09.
11. J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Bykuć, B. Grochal. Analiza możliwości pracy różnych wymienników ciepła w obiegu mikrośiowni przy założeniu pośredniego i bezpośredniego grzania czynnika roboczego w kotle. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 227/09.

12. D. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, J. Wajs. Koncepcja rozbudowy stanowiska do badania wymienników ciepła i zestawienie kosztów. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 145/09.
13. W. Janicki, E. Ihnatowicz, S. Bykuć. Opracowanie systemu pomiarowego stanowiska do badań wymienników ciepła i zestawienie kosztów. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 155/09.
14. A. Szumski. Dobór optymalnej konfiguracji serwerów obliczeniowych na potrzeby analiz cieplno-przepływowych. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 389/09.
15. A. Fiuk, S. Bykuć, E. Ihnatowicz. Analiza i dobór geometrii wymienników ciepła do obiegu ORC mikrośilowni z czynnikiem roboczym HFE 7100. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 466/09.
16. D. Mikielawicz, J. Wajs, E. Ihnatowicz, E. Myszkier, J. Zygmunt. Badania wymiennika ciepła płaszczowo-rurowego z mini kanałami i przegrodami, własnej konstrukcji, w funkcji parownika. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 489/09.
17. W. Rybiński. Zaprogramowanie bloków obiegu ORC: skraplacza i parownika w środowisku EES. Opracowanie wewnętrzne IMP PAN, Nr arch. 768/09.

IV. PROGRAM OPERACYJNY INOWACYJNA GOSPODARKA, ZAREJESTROWANY POD NR ARCH. 582/2008:

- [IV/1] Mikielawicz J., Mikielawicz D., Algorytm obliczeń mini wymienników ciepła typu kanalikowego dla obiegu mikrośilowni., IMP PAN, Nr arch.: 193 / 2009
- [IV/2] Mikielawicz D., Wajs J., Ihnatowicz E., Koncepcja rozbudowy stanowiska do badania wymienników ciepła (dobór elementów i zestawienie kosztów)., IMP PAN, Nr arch.: 145 / 2009
- [IV/3] Mikielawicz D., Wajs J., Ihnatowicz E., Myszkier E., Zygmunt J., Badania wymiennika ciepła płaszczowo-rurowego z mikrokanałami i przegrodami, własnej konstrukcji, w funkcji parownika., IMP PAN, Nr arch.: 489 / 2009

V. PROJEKT KOORDYNOWANY PRZEZ POMORSKĄ SPECJALNĄ STREFĘ EKONOMICZNĄ SP. Z O.O.:

Brak opracowań

VI. GRANTY

PRACE WYKONANE W PROJEKCIE BADAWCZYM: PB1880/B/T02/2007/33

- [VI/1] Bieliński H., Mikielawicz J., „Rozkład entalpii i stopnia suchości w minikanalowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem i chłodzeniem poziomych gałęzi obiegu.” IMP PAN. Nr Arch. 525/2009.
- [VI/2] Bieliński H., Mikielawicz J., „Rozkład entalpii i stopnia suchości w minikanalowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem i chłodzeniem bocznych gałęzi obiegu.” Nr Arch. 524/2009.

- [VI/3] Bieliński H., Rusiecka D., „Obliczenia numeryczne dla określenia rozkładu entalpii i stopnia suchości w minikanałowym termosyfonie – wariant z niesymetrycznym ogrzewaniem od dołu i z boku oraz niesymetrycznym chłodzeniem od góry.” IMP PAN. Nr Arch. 520/2009.
- [VI/4] Bieliński H., Rusiecka D., „Rozkład masowej prędkości zredukowanej w minikanałowym termosyfonie – wariant z niesymetrycznym ogrzewaniem od dołu i z boku oraz niesymetrycznym chłodzeniem bocznym.” IMP PAN. Nr Arch. 527/2009.
- [VI/5] Bieliński H., Rusiecka D., „Obliczenia numeryczne dla określenia rozkładu entalpii i stopnia suchości w minikanałowym termosyfonie – wariant z niesymetrycznym ogrzewaniem od dołu i z boku oraz niesymetrycznym chłodzeniem bocznym.” IMP PAN. Nr Arch. 521/2009.
- [VI/6] Bieliński H., Krawczyk M., „Obliczenia numeryczne dla określenia rozkładu entalpii i stopnia suchości w minikanałowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem od dołu i chłodzeniem bocznym.” IMP PAN. Nr Arch. 523/2009.
- [VI/7] Bieliński H., Krawczyk M., „Obliczenia numeryczne dla określenia rozkładu entalpii i stopnia suchości w minikanałowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem bocznym i chłodzeniem od góry.” IMP PAN. Nr Arch. 522/2009.
- [VI/8] Bieliński H., Krawczyk M., „Rozkład masowej prędkości zredukowanej w minikanałowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem od dołu i z boku oraz niesymetrycznym chłodzeniem od góry.” IMP PAN. Nr Arch. 526/2009.
- [VI/9] Bieliński H., „Rozkład entalpii i stopnia suchości w minikanałowym termosyfonie – wariant z ogrzewaniem od dołu i z boku oraz chłodzeniem od góry i z boku.” IMP PAN. Nr Arch. 528/2009.

PRACE WYKONANE W PROJEKCIE BADAWCZYM: PB1400/T02/2006/30

- [VI/10] Bieliński H., Mikielwicz J., „Chłodzenie powierzchni ciała stałego przy pomocy różnych efektywnych metod takich jak spraye, mikrostrugi, mikrorury cieplne, radiatory, kanały cieplne oraz rozpraszające ciepła.” Opr. wewn. IMP PAN. Nr Arch. 712/2009
- [VI/11] Bieliński H., Mikielwicz J., „Chłodzenie powierzchni ciała stałego przy pomocy różnych efektywnych metod takich jak spraye, mikrostrugi, mikrorury cieplne, radiatory, kanały cieplne oraz rozpraszające ciepła.” Opr. wewn. IMP PAN. Nr Arch. 701/2009
- [VI/12] Bieliński H., Mikielwicz J., A two phase minichannel thermosyphon loop heated from vertical side and cooled from horizontal side. The effect of geometrical parameters of the loop on the mass flux rate. Opr. wewn. IMP PAN. Nr Arch. 264/2009

- [VI/13] Bieliński H., Mikielwicz J., A two phase minichannel thermosyphon loop heated from vertical side and cooled from horizontal side. The two phase heat transfer coefficient for diabatic sections.” Opr. wewn. IMP PAN. Nr Arch. 263/2009
- [VI/14] Mikielwicz J., Bykuć S., Thin film flow formed by impinging jet with surface tension effect included-numerical approach., IMP PAN, Nr arch.: 307 / 2009.

VI. PRACE, KTÓRE UKAZAŁY SIĘ DRUKIEM

- [VI/1] Wajs J., Mikielwicz D., Mikielwicz J., Turbinka pneumatyczna jako maszyna ekspansyjna w obiegu mikrośilowni. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna; 09/2009, 163, IMP PAN, Nr arch.: 700 / 2009.
- [VI/2] Mikielwicz J., “Domestic combined micro heat and power plant”. Rocznik; Ochrona Środowiska; T11; Rok 2009; s. 25-38, IMP PAN, Nr arch.: 699 / 2009
- [VI/3] Mikielwicz D., Mikielwicz J., Wajs J., „Experimental investigations of organic Rankine cycles for domestic micro CHP”. Heat Power Cycle 2009, Innovationszentrum Energie, Technische Universität Berlin, 7-9, IMP PAN, Nr arch.: 698 / 2009
- [VI/4] Mikielwicz D., Mikielwicz J., „A new criterion for selection of working fluid for subcritical and supercritical micro CHP”. Heat Power Cycles 2009 Innovationszentrum Energie, Technische Universität Berlin, 7-9, IMP PAN, Nr arch.: 697 / 2009
- [VI/5] Mikielwicz J., Domowe silownie kogeneracyjne. Ogólnopolska Konferencja Naukowa na temat: Kompleksowe i szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska 2009, IMP PAN, Nr arch.: 696 / 2009
- [VI/6] Mikielwicz J., Mikielwicz D., Wajs J., Sprężarka chłodnicza jako maszyna ekspansyjna w obiegu ORC mikrośilowni. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna. 03/2009,157,s.101-106. IMP PAN, Nr arch.: 694 / 2009
- [VI/7] Mikielwicz J., Sustainable development of dispersed energy sector. Co-Reach Sustainability Conference; Dfg-Nsfc; Sino-German Centre; Beijing; 2009 Co Reach/The British Academy, IMP PAN, Nr arch.: 693 / 2009
- [VI/8] Mikielwicz D., Mikielwicz J., Wajs J., Ihnatowicz E., Experimental investigation of Organic Rankine Cycles for domestic micro CHP. IX International Symposium Research – Education – Technology, Hochschule Bremen University of Applied Sciences Bremen 24-25 2009, Proceedings low Temperature and Waste Heat Use in Communal and Industrial Energy Supply, s 171-174, IMP PAN, Nr arch.: 602 / 2009
- [VI/9] Mikielwicz D., Mikielwicz J., A simple dissipation model of circural hydraulic jump.International Journal of Heat and Mass Transfer 529(2009) 17-21, IMP PAN, Nr arch.: 762 / 2008

VII OPINIE

DOKTORSKIE

- [VII/1] Mikielewicz J., Opinia o pracy doktorskiej mgr. inż. Jacka BARAŃSKIEGO pt. "Modelowanie fizyczne i numeryczne płomienia w kotłowych komorach spalania z palnikami wirowymi", IMP PAN, Nr arch.: 692 / 2009,
- [VII/2] Mikielewicz J., Opinia o pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina LEMAŃSKIEGO pt. "Analiza obiegów energetycznych z ogniwem paliwowym i turbiną gazowo-parową". IMP PAN, Nr arch.: 691 / 2009
- [VII/3] Mikielewicz J., Opinia o pracy doktorskiej mgr. inż. Sebastiana KOWALCZYKA pt. "Trójwymiarowy model matematyczny reakcji elektrochemicznej w porowatych spiekach tlenkowego ogniwa paliwowego", IMP PAN, Nr arch.: 690 / 2009

HABILITACYJNE

- [VII/4] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Dynamika rurowych wymienników ciepła" i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Dawida TALERA, IMP PAN, Nr arch.: 689 / 2009
- [VII/5] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Zastosowanie rachunku wyrównawczego do uwiarygodnienia wyników pomiarów w układzie cieplnym bloku energetycznego siłowni parowej" i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Marcina SZEGI, IMP PAN, Nr arch.: 688-2009
- [VII/6] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Biologicznie inspirowane modele empiryczne w eksploatacji instalacji energetycznych" i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Konrada ŚWIRSKIEGO, IMP PAN, Nr arch.: 687 / 2009
- [VII/7] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Metodyka oceny skutków ekologicznych w procesach cieplnych za pomocą analizy energetycznej" i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Wojciecha STANKA, IMP PAN, Nr arch.: 686 / 2009
- [VII/8] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. „Analiza i modelowanie procesu rozruchu silników o zapłonie samoczynnym” i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Józefa PSZCZÓŁKOWSKIEGO, IMP PAN, Nr arch.: 685 / 2009
- [VII/9] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Przepływomierz wirowy-analiza zjawiska generacji wirów. Współczesne metody badań i wizualizacji ścieżki wirowej von Karmana" i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Grzegorza Pankanina, IMP PAN, Nr arch.: 684 / 2009
- [VII/10] Mikielewicz J., Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Studium dawkowania paliwa w interaktywnym systemie zasilania silnika spalinowego o zapłonie iskrowym" i

całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Wojciecha Marka, IMP PAN, Nr arch.: 683 / 2009

- [VII/11] Mikielewicz J. Opinia o pracy habilitacyjnej pt. "Badanie rozprzestrzeniania się i gaszenia płomienia podczas spalania mieszanki w polu dużych sił odśrodkowych" i całokształcie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. inż. Andrzeja Gorczakowskiego, IMP PAN, Nr arch.: 682 / 2009

OPINIE O POWOŁANIE NA STANOWISKO PROFESORA

Brak opinii

VIII. NAGRODY I WYRÓŻNIENIA

- [VIII/1] Mikielewicz J. Doktorat honorowy Politechniki Koszalińskiej, 10 czerwiec 2009

ZADANIE 2

Obiegi skojarzone lewobieżne oraz prawobieżne z wykorzystaniem ekologicznych czynników roboczych

Kierownik: Prof. dr hab. inż. M. Trela

SPIS TREŚCI

I. Informacje szczegółowe o Zadaniu 2 w temacie 02/T3

- 1 Obsada osobowa
- 2 Przedmiot badań w Zadaniu 2 w temacie 02/T3
- 3 Charakterystyka uzyskanych wyników
- 4 Wnioski z badań
- 5 Spis prac wykonanych w Zadaniu 2 w temacie 02/T3 w 2009 roku
- 6 Propozycja tematu badań na 2010 rok
- 7 Rysunki
- 8 Załączniki: opracowań

II. Prace wykonane w projektach badawczych KBN

III. Inne informacje

I. INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE O ZADANIU 2 W TEMACIE 02/T3

1. OBSADA ETATOWA - wymiar etatowy

Prof. dr hab. inż. Marian Trela	1.0
Dr hab. inż. Dariusz Butrymowicz	1.0
Dr Jarosław Karwacki	1.0
Dr inż. Roman Kwidziński	1.0
Dr inż. Robert Matysko	1.0
Mgr inż. Kamil Śmierciew	0.5

Razem 5.5 etatów

2. PRZEDMIOT BADAŃ W RAMACH ZADANIA 2 W TEMACIE 02/T3

Przedmiotem badań prowadzonych w ramach Zadania 2 w Temacie 02/T3 były zagadnienia dotyczące badań eksperymentalnych oraz modelowania procesów ciepłno-przepływowych zachodzących w obiegach prawobieżnych oraz lewobieżnych przy uwzględnieniu zastosowania ekologicznych płynów roboczych. Rozpatrywane były zagadnienia ruchu i wymiany ciepła w procesach jedno i dwufazowych, nakierowane głównie na wykorzystanie wyników badań w energetyce niskotemperaturowej.

Ogółem wykonano 21 opracowań, które dotyczyły następujących zagadnień:

- a) poprawy sprawności obiegów lewobieżnych [3,4,6,7,15,16,17,18];
- b) badaniom eksperymentalnym oraz modelowaniu pracy układów chłodniczych strumieniowych [1,2,9];
- c) modelowaniu strumienicy dwufazowej parowo-wodnej [4,10,11,12];
- d) modelowaniu pracy komory przechowalniczej [13,14];
- e) energetyce odnawialnej niskotemperaturowej [8,19,20,21].

Należy podkreślić, iż wszystkie z poruszanych zagadnień badawczych pozwalają na wniesienie zarówno wkładu poznawczego, jak również mają aspekt użytkowy, bowiem dotyczą problematyki ważnej i aktualnej we współczesnej technice cieplnej. Dotyczy to zwłaszcza zagadnień możliwości poprawy sprawności obiegów lewobieżnych oraz sprawności strumieni dwufazowych, które mają zastosowanie w obiegach prawo i lewobieżnych, a więc w energetyce, technice chłodniczej i inżynierii chemicznej.

3. CHARAKTERYSTYKA UZYSKANYCH WYNIKÓW

- a) W pierwszej grupie tematycznej wykonano 8 prac. Zasadniczym celem podejmowanych prac jest opracowanie metod poprawy efektywności pracy układów chłodniczych, klimatyzacyjnych i pomp ciepła. Przedmiotem prac jest zaś poprawa efektywności energetycznej poprzez

- zastosowanie strumieni dwufazowych w układach sprężarkowych [3,4,6,15,16,17]
- poprawie odolejania w układach sprężarkowych poprzez zastosowanie metody elektrostatycznej [7,18].

Istotną nowością w odniesieniu do badań podejmowanych w latach poprzednich jest rozpoczęcie zupełnie nowej tematyki badawczej w zakresie zastosowania technologii strumieniowych dla poprawy efektywności energetycznej obiegów lewobieżnych sprężarkowych. W latach poprzednich podejmowano bowiem zagadnienie zastosowania strumienicy dwufazowej niskociśnieniowej w linii cieczowej układu, co miało za zadanie ograniczenie strat dławienia. Aktualnie rozpoczęto bardzo intensywne, szeroko zakrojone prace w zakresie zastosowania strumienicy dwufazowej jako nadprężarki (Rys. 3), a zatem jest to już strumienica wysokociśnieniowa. Istotą zastosowania takiej strumienicy jest chęć ograniczenia pracy napędowej sprężarki, bowiem w układzie wytwarzane jest ciśnienie międzystopniowe, zaś sprężanie w zakresie ciśnień od ciśnienia międzystopniowego do ciśnienia skraplania odbywa się kosztem sprężania fazy ciekłej, nie zaś fazy parowej, jak jest w układach klasycznych.

W ramach prac badawczych zrealizowano obszerne, systematyczne badania eksperymentalne strumienicy dwufazowej wysokociśnieniowej, pracującej w warunkach pełnej kondensacji czynnika roboczego (Rys. 2). Sformułowano model teoretyczny obiegu sprężarkowo-strumienicowego w oparciu o który sformułowano warunek poprawy efektywności energetycznej COP w wyniku zastosowania strumienicy. Wykazano, iż warunek jest dość trudny do spełnienia, tym niemniej podjęto szeroko zakrojone prace w zakresie realizacji tej metody dla czynnika R-507A, czyli czynnika właściwego uzyskiwaniu znacznego zakresu temperatur, a zarazem cechującego się uzyskiwaniem dość znacznych wartości efektywności energetycznej obiegu lewobieżnego. Zaprojektowano i wykonano nową geometrię strumienicy (Rys. 8). W badaniach uzyskano spręż bezwymiarowy do około 5%, zaś masowy stosunek zasysania wyniósł w przeprowadzonych badaniach do około 0.30 (Rys. 9). Planuje się podjęcie dalszych prac w tym zakresie, które nakierowane będą na znalezienie optymalnej geometrii strumienicy dwufazowej wysokociśnieniowej dla rozpatrywanego obiegu.

Prace [7,18], dotyczące poprawy odolejania w układach sprężarkowych poprzez zastosowanie metody elektrostatycznej – oparte są w znacznej mierze na dotychczasowych rezultatach w zakresie badań eksperymentalnych oraz modelowania procesu odolejania (Rys. 6, Rys. 7). Należy zwrócić uwagę na to, iż w badaniach uzyskano całkowitą separację mgły olejowej w przewodzie tłocznym układu sprężarkowego pracującego z czynnikiem R-507A.

- b) Prace [1,2,9] poświęcono badaniom eksperymentalnym oraz modelowaniu pracy układów chłodniczych strumieniowych. W ramach tychże prac skoncentrowano się na modelowaniu

pracy układu strumieniowego (Rys. 1), co stanowi kontynuację wcześniej podejmowanych prac. Opracowano model matematyczny obiegu, na który składają się równania bilansu energii systemu chłodniczego oraz bilansu pędu w strumienicy. Punkt pracy urządzenia strumienicowego znajduje się rozwiązując układ równań. Podjęto także prace w zakresie modelowania pracy strumienicy jednofazowej. Istotnym elementem nowości w pracach podejmowanych w 2009 roku było podjęcie badań w zakresie strumieniowego układu wytwarzania wody lodowej [pracującego z parą wodną jako czynnikiem roboczym [9]. Zaprojektowano parownik wyparny oraz skraplacz mieszkankowy, a także strumienicę. Zbudowano oraz uruchomiono specjalistyczne stanowisko badawcze (Rys. 12). Planuje się kontynuację podjętych prac w celu przeprowadzenia systematycznych badań we zakresie ewaluacji pracy takiego układu.

- c) W pracach [4,10] zaprezentowano model matematyczny strumienicy dwufazowej nadkrytycznej parowo-wodnej. Model jest oparty na dwupłynowym modelu przepływu dwufazowego z równaniami zamknięcia zapożyczonymi z modelu WAHA-3 oraz z własnymi równaniami zamknięcia opisującymi wymianę ciepła przy skraplaniu w strumienicy. Ewaluację modelu przeprowadzono bazując na wcześniej uzyskanych systematycznych badaniach eksperymentalnych dla strumienic o różnych geometriach, a w tym z gardłem cylindrycznym bądź ostro krawędziowym (Rys. 5). Wykazano, iż model pracuje najlepiej dla strumienicy z gardłem ostrokrawędziowym. Planuje się kontynuację prac zmierzającą do opracowania własnych równań zamknięcia, które będą bardziej odpowiadać warunkom fizycznym przepływu w strumienicy, niż równania z kodu WAHA. Celem dalszych prac [11,12], w tej grupie tematycznej, było lepsze poznanie zjawisk nieodwracalnych wpływających na charakterystyki pracy nadkrytycznej strumienicy parowo-wodnej, a zwłaszcza na jej maksymalne ciśnienie wylotowe.

W pracy [11], posługując się metodami analizy egzergetycznej wyznaczono straty nieodwracalne w poszczególnych obszarach przepływu w strumienicy, które mają miejsce w dyszy parowej, dyszy wodnej, komorze mieszania, rejonie fali uderzeniowej i w dyfuzorze. Wykonano też przykładowe obliczenia strumieni egzergetyki i jej destrukcji dla „długiej” strumienicy, badanej eksperymentalnie w laboratorium Zakładu 5. Ponadto wyznaczono sprawność egzergetyczną strumienicy współczynnik prędkości dla dyszy parowej (Rys.13). W pracy [12] wykorzystano równania jednorodnego modelu równowagowego (HEM) do wyznaczenia parametrów termodynamicznych pary poddawanej ekspansji w dyszy napędowej strumienicy nadkrytycznej (Rys.14). Ich podstawowym celem było określenie warunków przepływu na wylocie z dyszy parowej, a zwłaszcza prędkości wylotowej i ciśnienia.

- d) W pracach [13,14] podjęto zagadnienia modelowania pracy komory przechowalniczej, która współpracuje ze sprężarkowym układem chłodniczym (Rys. 10). Opracowano model o parametrach skupionych, opisujący pracę układu chłodniczego oraz komory. Stosując ten model przeprowadzono obliczenia zmian charakterystycznych temperatur w komorze przechowalniczej (Rys. 11) wskazując na konieczność zastosowania bardziej zaawansowanych układów sterowania. Opracowano model sterowania z zastosowaniem układu MIMO oraz dokonano porównania uzyskanych wyników ze sterowaniem klasycznym. Wyniki prac będą pomocne w dalszych pracach w zakresie sterowania pracą układów chłodniczych.

- e) Osobną grupę stanowią prace dotyczące układów energetyki odnawialnej, a w tym:
- prace dotyczące układów ORC [19, 21];
 - prace dotyczące pomp ciepła [8, 20].

W zakresie układów ORC skoncentrowano uwagę na zagadnieniach doboru czynnika roboczego [19], co ma zasadniczy wpływ na efektywność energetyczną oraz ma wpływ na spełnienie ostrych wymogów prawnych w zakresie zastosowania płynów o wysokim

potencjale tworzenia efektu cieplarnianego GWP. Dokonano także ewaluacji efektywności ekonomicznej zastosowania układów ORC w energetyce rozproszonej [21] wskazując na znacznie większą efektywność ekonomiczną układów ORC napędzanych ciepłem pochodzącym ze spalania biomasy, niż siłowni wiatrowych o tej samej mocy elektrycznej.

W pracy [8] dokonano oceny możliwości pracy pompy ciepła pracującej z czynnikiem R-410A w trybie z powietrzem atmosferycznym jako dolnym źródłem ciepła w warunkach niskich temperatur zewnętrznych. Wskazano, iż zastosowanie podprężarki strumieniowej nie jest efektywnym rozwiązaniem w tym zakresie. Tym niemniej planuje się poszukiwanie innych alternatywnych metod pozwalających na uzyskiwanie niskich ciśnień parowania w sprężarkowych pompach ciepła powietrznych. W pracy [20] dokonano analizy czynników roboczych stosowanych w pompach ciepła, a także innych układach energetyki odnawialnej wskazując, iż głównym kierunkiem działań jest stosowanie czynników zapewniających uzyskanie jak najwyższej efektywności energetycznej, nie zaś przede wszystkim naturalnych płynów roboczych.

Ogółem wykonano więc 21 prac, w tym: 6 publikacji w czasopismach, 8 referatów na konferencjach międzynarodowych i polskich oraz 7 opracowań wewnętrznych IMP.

4. WNIOSKI Z BADAŃ

W ramach Zadania 2 Tematu O2/T3 prowadzono badania podstawowe jak i stosowane. Przedmiotem badań były zagadnienia dotyczące głównie poprawy sprawności obiegów cieplnych. W bieżącym roku zaproponowano nowy kierunek badań – związany z zastosowaniem nadprężarki strumieniowej dwufazowej. Podjęto także badania w zakresie strumieniowego układu chłodniczego, który może znaleźć zastosowanie w układach CCHP (układach poligeneracyjnych do produkcji energii elektrycznej, ciepła użytkowego oraz chłodu). Rozpoczęto także prace nad zagadnieniami modelowania pracy chłodni przechowalniczych, a także zastosowania czynników roboczych w układach cieplnych energetyki rozproszonej – ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień efektywności ekonomicznej oraz rozszerzenia zakresu pracy tychże układów. Powstały nowe stanowiska badawcze. Można zatem stwierdzić, iż prace podjęte w 2009 roku wniosły istotny wkład poznawczy – zwłaszcza w obszarze związanym z zagadnieniami pracy strumienic dwufazowych oraz jednofazowych, lecz także koncentrują się na zagadnieniach ważnych z aplikacyjnego punktu widzenia.

Mając powyższe na uwadze można stwierdzić, iż postawione zadania badawcze w Zadaniu 2 w ramach Tematu O2/T3 zostały wykonane.

5. SPIS PRAC W RAMACH ZADANIA 2 W TEMACIE O2/T3 W 2009 roku

- 1 Śmierciew K., Butrymowicz D., Karwacki J., Analiza obiegów termodynamicznych urządzeń strumieniowych, część II, *Technika Chłodnicza i klimatyzacyjna*, 10/2008, 408-412, nr arch 7/2009
- 2 Śmierciew K., Butrymowicz D., Karwacki J., Analiza obiegów termodynamicznych urządzeń strumieniowych, część III, *Technika Chłodnicza i klimatyzacyjna*, 12/2008, 502-508, nr arch 6/2009
- 3 Śmierciew K., Butrymowicz D., Sprawdzenie możliwości kondensacji pary wewnątrz strumienicy napędowej pracującej w obszarze dwufazowym, *opracowanie wewnętrzne IMP PAN*, nr arch. 214/2009,
- 4 Karwacki J., Śmierciew K., Butrymowicz D., Wstępne wyniki pierwszej serii pomiarowej badań wysokociśnieniowej strumienicy dwufazowej pracującej z czynnikiem R507,

- opracowanie wewnętrzne IMP PAN*, nr arch. 379/2009
- 5 Butrymowicz D., Matysko R., Angielczyk W., **Trela M.**, Bergander M., Model of steam-water injector, *International Seminar on ejector/jet-pump technology and application*, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2009, Paper No. 27, nr arch. 443/2009
 - 6 Bergander M., Butrymowicz D., Karwacki J., Improvement of refrigeration cycle efficiency by means of two-phase ejector as a second stage compressor, *International Seminar on ejector/jet-pump technology and application*, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2009, Paper No. 23, nr arch. 444/2009
 - 7 Butrymowicz D., Lackowski M., Karwacki J., Śmierciew K., Oil drop electrostatic separation from high-pressure refrigerant vapour, *7th International Conference on Compressors and Coolants*, Papiernička, Slovakia, 2009, 61-68 nr arch. 480/2009
 - 8 Śmierciew K., Butrymowicz D., Analiza zastosowania podsprężarki dwufazowej w pompie ciepła pracującej z czynnikiem R410, *opracowanie wewnętrzne IMP PAN*, nr arch. 589/2009
 - 9 Śmierciew K., Karwacki J., Butrymowicz D., Geometria strumienicy pracującej w instalacji do produkcji wody lodowej, *opracowanie wewnętrzne IMP PAN*, nr arch. 662/2009
 - 10 Matysko R., Butrymowicz D., Angielczyk W., **Trela M.**, Bergander M., AEES-9 Model of supercritical two-phase steam-water injector, *7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 28 June-03July, 2009, Kraków, nr arch. 674/2009
 - 11 Trela M., Kwidziński R., Butrymowicz D., Karwacki J., 2010, *Exergy analysis of two-phase steam-water injector*. Applied Thermal Engineering, Vol 30, No. 4, pp. 340-346. Nr arch. IMP PAN 595/09
 - 12 Kwidziński R., **Trela M.**, 2009, *Zastosowanie jednorodnego modelu równowagowego do obliczeń ekspansji pary w strumienicy parowo-wodnej*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 509/09
 - 13 Matysko R., Butrymowicz D., Sterowanie pracą komory przechowalniczej z pośrednim układem chłodzenia, *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 7 (132)/2009, 18-24, nr arch 675/2009
 - 14 Karwacki J., Matysko R., Sterowanie MIMO w układzie chłodniczym pośrednim, *Chłodnictwo & klimatyzacja*, 9 (134)/2009, 68-72, nr arch. 676/2009
 - 15 Bergander M., Butrymowicz D., Karwacki J., Application of two-phase ejector as a second stage compressor In refrigeration cycles, *7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 28 June-03July, 2009, Kraków, 2237-2244, nr arch. 677/2009
 - 16 Karwacki J., Śmierciew K., Butrymowicz D., Badania charakterystyki strumienicy dwufazowej pracującej z czynnikiem chłodniczym R507A, *opracowanie wewnętrzne IMP PAN*, nr arch. 680/2009
 - 17 Karwacki J., Śmierciew K., Butrymowicz D., Badania wpływu zastosowania strumienicy dwufazowej jako nadsprężarki do poprawy współczynnika wydajności chłodniczej, *opracowanie wewnętrzne IMP PAN*, nr arch. 681/2009
 - 18 Butrymowicz D., Lackowski M., Karwacki J.: New electrostatic method of oil drop separation from volatile fluids under high pressure, złożony do *Annual Report of PAsC*, 2009, nr arch. 778/2009.
 - 19 Butrymowicz D.: Working fluids in cogeneration systems, *BSR InnoNet, Pilot Programme on Innovation Systems and Clusters (PIC), Pilot #1 on Bioenergy Workshop: Energy cogeneration*, Gdańsk 2-3 April 2009, nr arch. 753/2009
 - 20 Butrymowicz D.: Chłodnictwo oparte na OZE i pompy ciepła, *International Congress Pro-Climat*, Poznań, 2009, nr arch. 754/2009

- 21 Butrymowicz D.: Tendencje zmian kosztów technologii OZE: efektywność układów ORC opartych na biomasie, *Seminarium „Regulacje w zakresie CO2 i systemów wspomagania OZE w aspekcie ryzyka Grupy Energa SA”*, Gdańsk, 2009, nr arch. 756/2009.

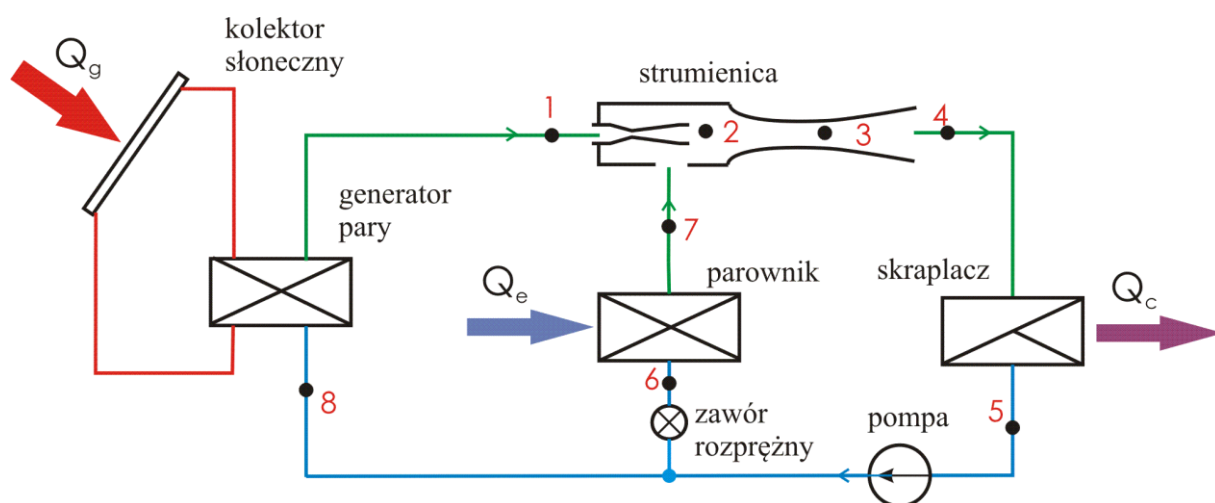
6. PROPOZYCJA TEMATU BADAŃ NA 2010 ROK

Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane w 2009 roku jak również znaczenie poznawcze i aplikacyjne, proponuję generalnie na 2010 rok kontynuację dotychczasowego tematu

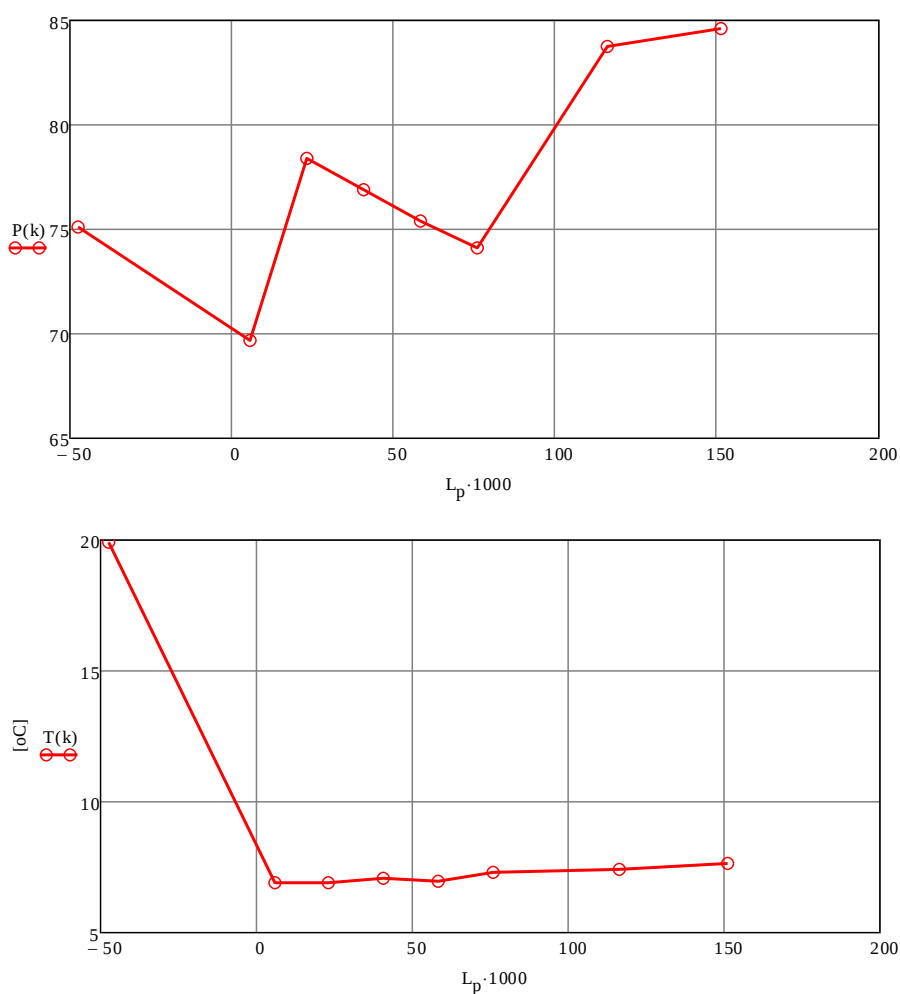
Obiegi skojarzone lewobieżne oraz prawobieżne z wykorzystaniem ekologicznych czynników roboczych

W ramach tego tematu proponuje się dalsze badania nad przepływami dwufazowymi w strumienicach dwufazowych oraz prace nad poprawą efektywności energetycznej obiegów lewobieżnych i prawobieżnych z czynnikami organicznymi oraz wodą. Te badania będą nakierowane na wykorzystania energii odnawialnych (biomasa energia słoneczna i inne), czy też ciepła odpadowego. Są to zadania bardzo aktualne biorąc pod uwagę priorytety UE mające na celu ograniczenie zmian klimatycznych na ziemi.

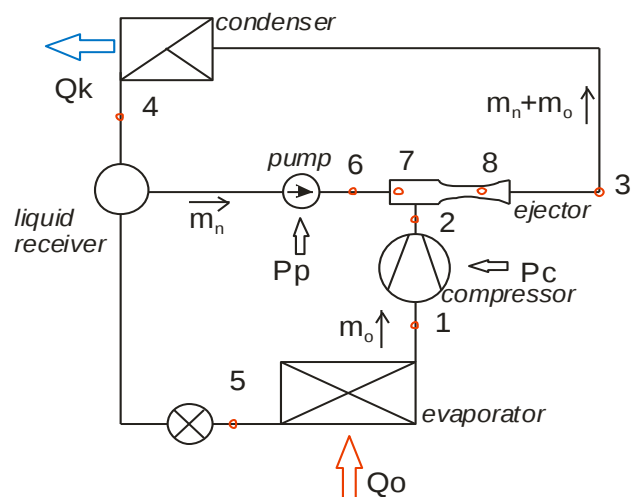
7. RYSUNKI



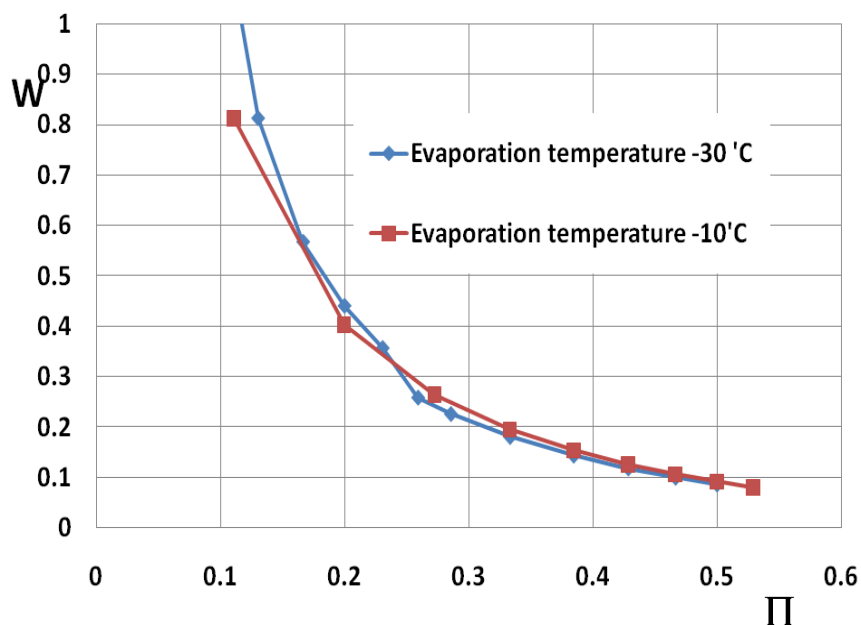
Rys. 1. Schemat strumienicowego urządzenia klimatyzacyjnego



Rys. 2. Przykładowy rozkład ciśnień i temperatur w strumienicy dwufazowej w warunkach pełnej kondensacji pary zasysanej

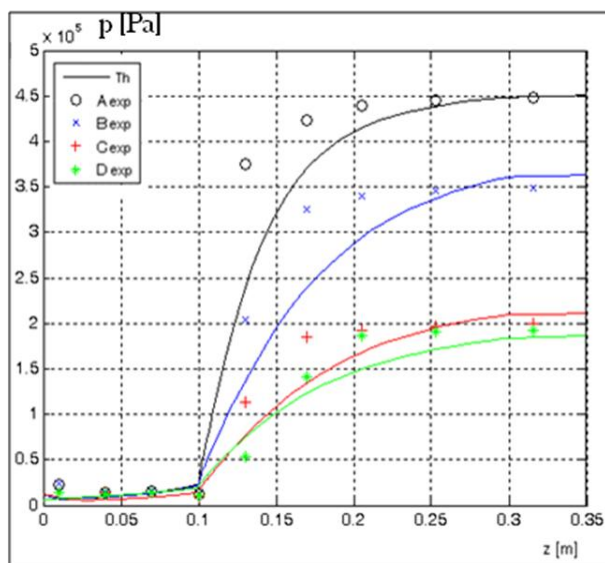


Rys. 3. Schemat sprężarkowego urządzenia chłodniczego ze strumienicą dwufazową jako nadprężarką

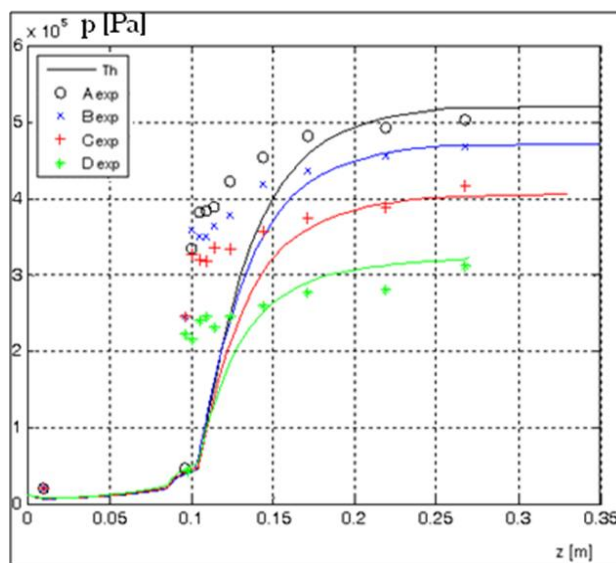


Rys. 4. Warunek termodynamiczny wzrostu COP przy zastosowaniu strumienicy dwufazowej. Wyniki obliczeń dla czynnika R507; W – bezwymiarowy *work potential*, Π – bezwymiarowa praca pompy

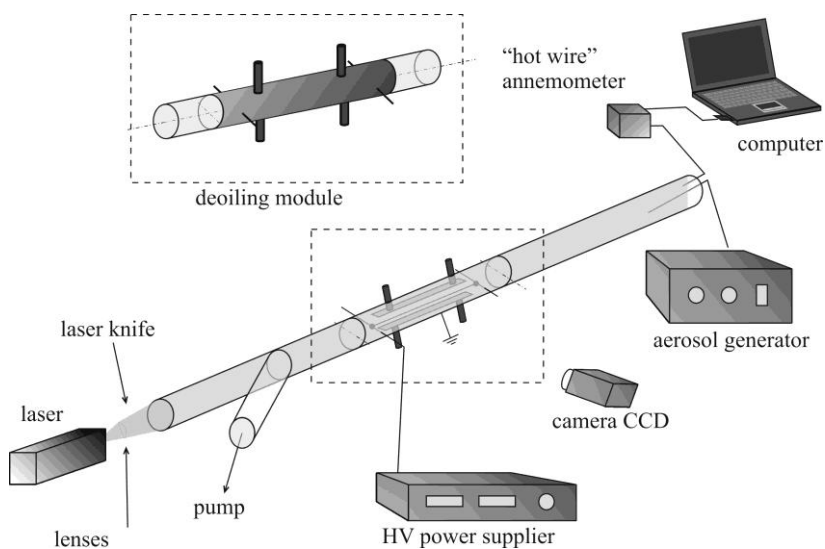
a)



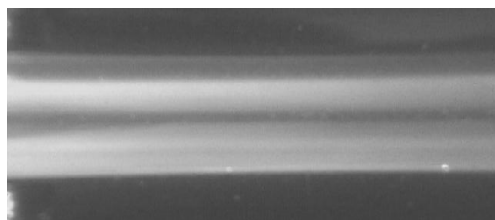
b)



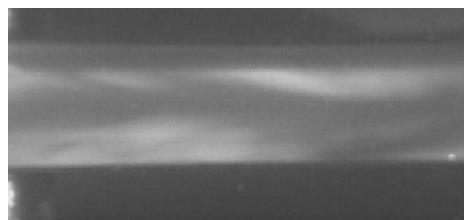
Rys 5. Porównanie rozkładów ciśnień uzyskanych w wyniku obliczeń (linie) oraz eksperymentu: a) dla strumienicy z gardłem ostro krawędziowym; b) dla strumienicy z gardłem cylindrycznym



Rys. 6. Schemat stanowiska do badań wizualizacyjnych separacji mgły olejowej z przepływu

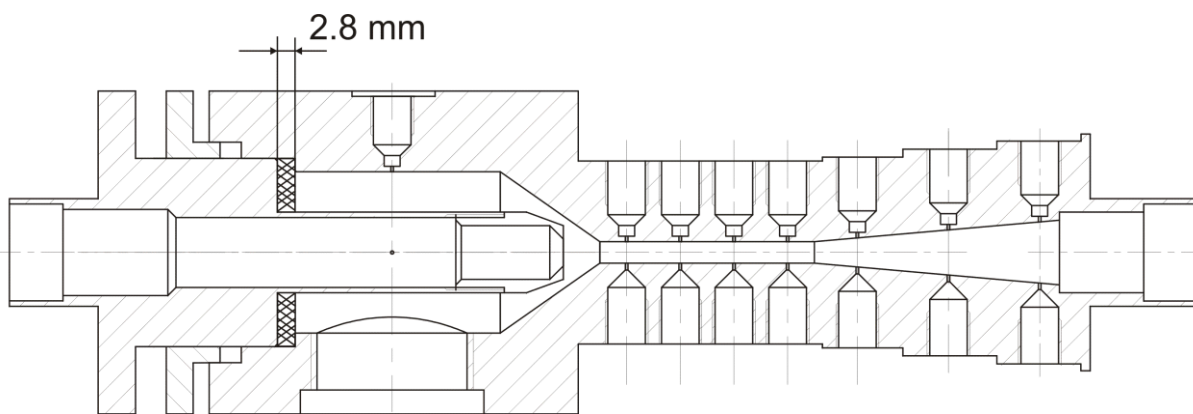


6 kV

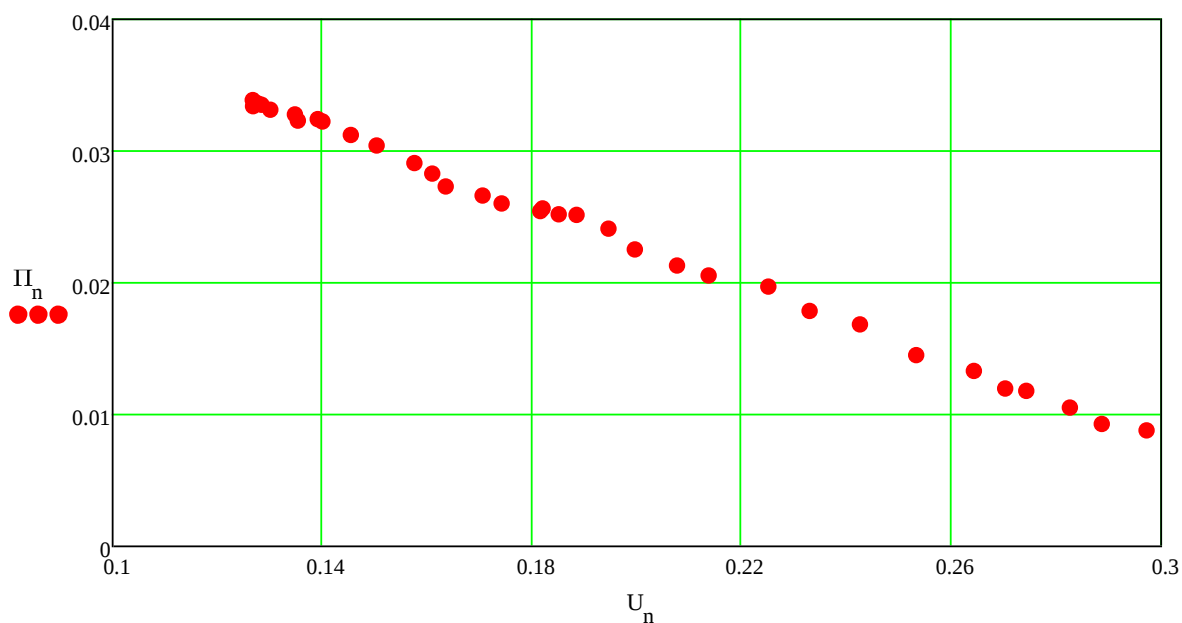


9 kV

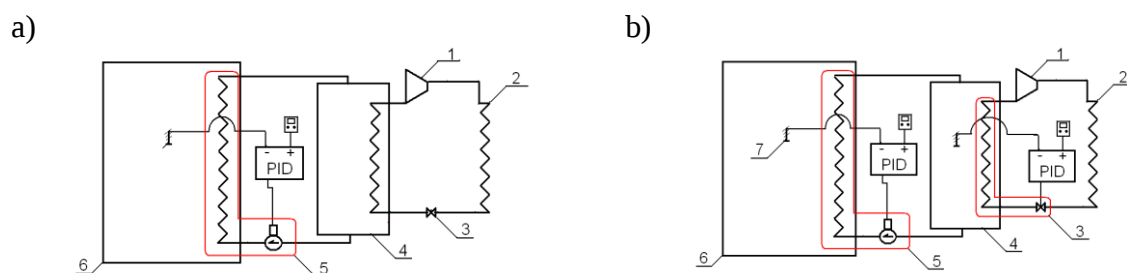
Rys. 7. Wyniki badań wizualizacyjnych odolejania elektrostatycznego



Rys. 8. Geometria „nowej” strumienicy



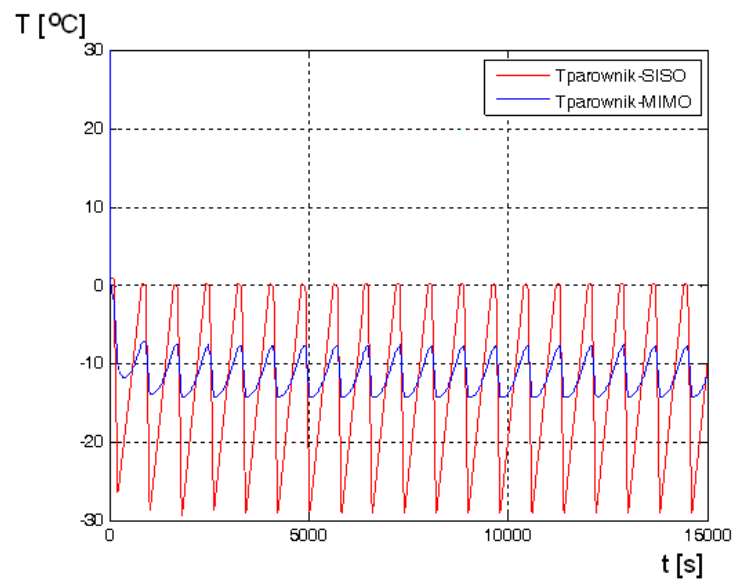
Rys. 9. Przykładowa charakterystyka strumienicy pracującej w czynnikiem R507 dla parametrów $p_g = 27$ bar, $p_c = 7.8$ bar oraz zmiennego ciśnienia na ssaniu strumienicy.



Rys. 10. Systemy regulacji zastosowane w układzie chłodniczym pośrednim.

a) SISO, b) MIMO:

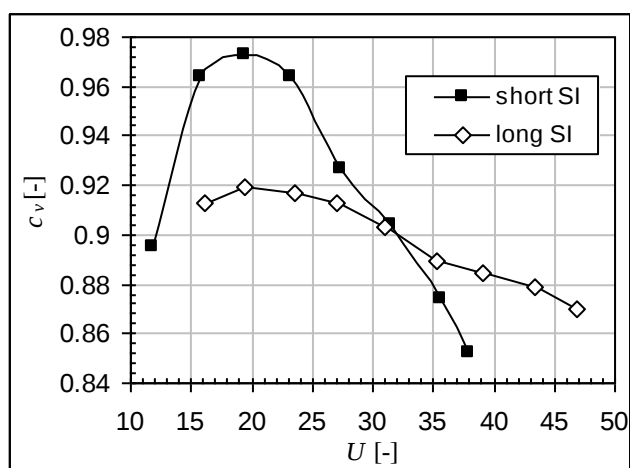
1 - sprężarka o periodycznym trybie pracy; 2 – skraplacz; 3 - zawór rozprężny sterowany za pomocą regulatora PID, którego sygnałem wyjściowym jest temperatura w zbiorniku pośredniczącym; 4 - zbiornik pośredniczący; 5 – obieg glikolu, 6 – komora chłodnicza, 7 – czujnik pomiarowy



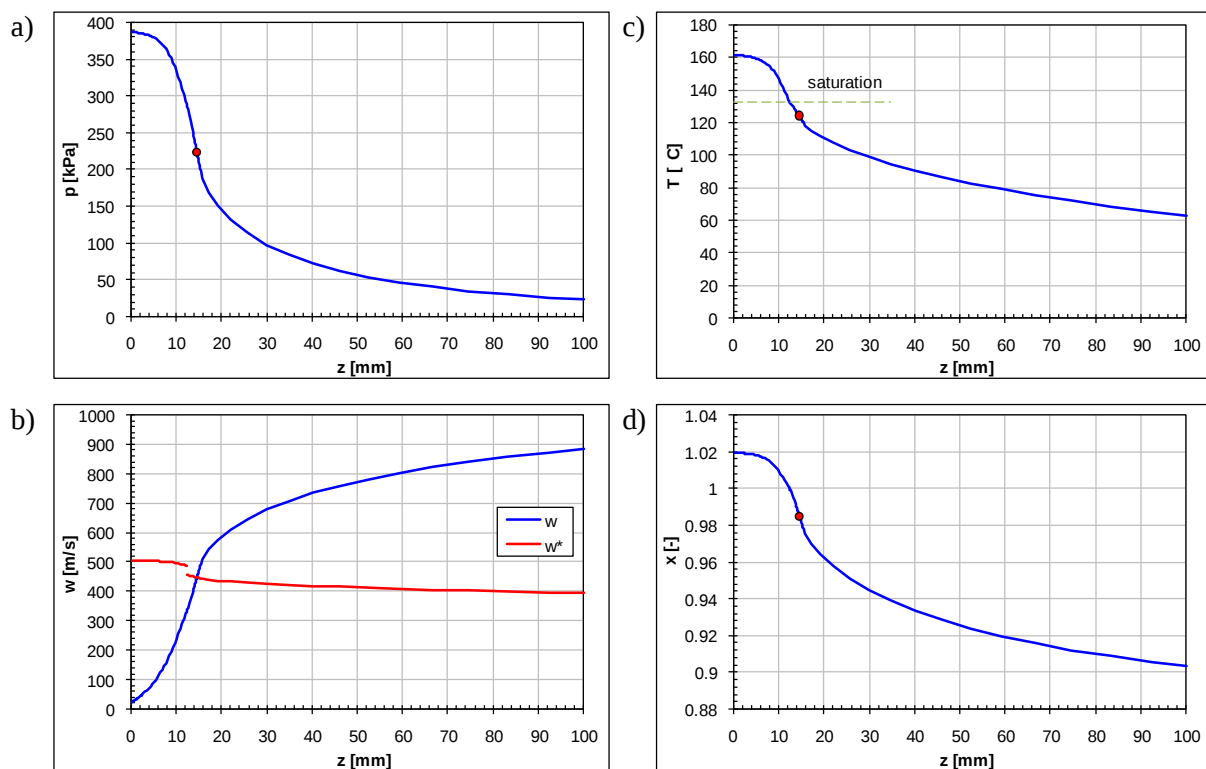
Rys.11. Porównanie odpowiedzi parownika na cykl pracy periodyczny niesterowany (SISO) i sterowany zaworem rozprężnym za pomocą reguł PID (MIMO)



Rys. 12. Stanowisko do badań układów strumieniowych dla District Cooling Systems



Rys. 13. Przebieg współczynnika prędkości c_v wyznaczony dla dwóch strumieni eksperymentalnych w funkcji współczynnika iniekcji U [11].



Rys.14. Wyniki obliczeń przepływu w dyszy parowej strumienia SI 2 (krótkiej) dla warunków odpowiadających pomiarowi H2-08: a) profil ciśnienia, b) prędkość przepływu i prędkość krytyczna, c) temperatura, d) stopień suchości (w parze przegrzanej $x > 1$). Na krzywych zaznaczono położenie punktu krytycznego [12].

8. ZAŁĄCZNIKI: 21 OPRACOWAŃ

Załącznikiem do niniejszego opracowania są kopie 21 opracowań ujętych w wykazie zamieszczonym w punkcie 5 niniejszego sprawozdania.

II. PRACE WYKONANE W PROJEKTACH BADAWCZYCH KBN

Projekt badawczy PB 4190/B/T02/08/34 *Badania poprawy efektywności energetycznej układów chłodniczych poprzez odzysk ciepła przegrzania (kier. R. Matysko)*

- 22 Butrymowicz D., Matysko R., *Analiza początku przemiany fazowej podczas skraplania w przepływie*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 10/09
- 23 Karwacki J., Śmierciew K., Matysko R., Butrymowicz D., *Projekt koncepcyjny stanowiska do badań procesu skraplania pary przegrzanej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 11/2009,
- 24 Matysko R., Karwacki J., Butrymowicz D., Śmierciew K., *Analiza odzysku ciepła przegrzania dla różnych czynników roboczych*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 68/2009
- 25 Butrymowicz D., Matysko R., Karwacki J., Śmierciew K., *Projekt stanowiska badawczego wizualizacji procesu skraplania pary przegrzanej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. .../09
- 26 Matysko R., Butrymowicz D., Karwacki J., Śmierciew K., *Projekt stanowiska badawczego do badań podstawowych procesu skraplania*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 412/2009
- 27 Matysko R., Butrymowicz D., Karwacki J., *Model odzysknicowego wymiennika ciepła o parametrach skupionych i rozłożonych z uwzględnieniem strefy bezkondensacyjnej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. ../09

Projekt badawczy promotorski PB 3973/B/T02/2009/36 *Badania eksperymentalne i teoretyczne strumienic napędowych w układach klimatyzacji solarnej (kier. D. Butrymowicz)*

- 28 Śmierciew K., Butrymowicz D., Karwacki J., *Projekt modyfikacji stanowiska badawczego i systemu pomiarowego do badania układów klimatyzacji solarnej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 268/2009,
- 29 Śmierciew K., Butrymowicz D., *Analiza termodynamiczna obiegu strumienicowego urządzenia klimatyzacyjnego*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 365/2009

Projekt badawczy PB N512 013 31/1179 *Badania strumieniowych układów klimatyzacyjnych pracujących z naturalnymi czynnikami roboczymi (kier. D. Butrymowicz)*

- 30 Karwacki J., Gagan J., Butrymowicz D., Śmierciew K., *Projekt obciążenia cieplnego stanowiska do badania układów chłodniczych strumienicowych na czynniki naturalne*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 734/2008
- 31 Karwacki J., Butrymowicz D., Śmierciew K., *Badania eksperymentalne i modelowanie zasilania parownika chłodniczego o małej pojemności*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 735/2008
- 32 Śmierciew K., Karwacki J., Butrymowicz D., Regulska D., *Badanie pracy strumienicy napędowej w obszarze dwufazowym*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 741/2008

- 33 Butrymowicz D., Trela M., Karwacki J., Ochrymiuk T., Śmierciew K., *Investigation and modelling of ejector for air-conditioning system*, Archives of Thermodynamics, Vol 29, No.4, 2008, 27-40, nr arch 5/2009
- 34 Karwacki J., Śmierciew K., Butrymowicz D., Matysko R., *Wstępne badania eksperymentalne strumienicy parowej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 93/2009
- 35 Butrymowicz D., Karwacki J., *Modelowanie obiegów strumienicowych urządzeń chłodniczych z uwzględnieniem wewnętrznej wymiany ciepła*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 178/2009
- 36 Matysko R., Karwacki J., Butrymowicz D., Sterowanie pracą i badania wydajności cieplnej układu kolektorów na stanowisku klimatyzacji solarnej, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 246/2009
- 37 Butrymowicz D., Śmierciew K., Karwacki J., Trela M., *Experimental investigation and modeling of ejection refrigeration systems*, 3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Boulder, CO, 2009, Paper No. 112, nr arch. 380/2009
- 38 Butrymowicz D., Śmierciew K., Regulska D., Karwacki J., Trela M., *Experimental investigation of effect of motive nozzle diameter on performance of liquid-vapour ejector*, International Seminar on ejector/jet-pump technology and application, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2009, Paper No. 24, nr arch. 440/2009
- 39 Śmierciew K., Butrymowicz D., Karwacki J., Trela M., *Modelling of ejection cycle for solar air-conditioning*, International Seminar on ejector/jet-pump technology and application, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2009, Paper No. 25, nr arch. 441/2009
- 40 Karwacki J., Butrymowicz D., Matysko R., *Badania eksperymentalne strumienicowego układu chłodniczego w wersji podstawowej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 478/2009
- 41 Butrymowicz D., Śmierciew K., Karwacki J., *Experimental investigation and modelling of low-pressure ejection refrigeration cycles*, 7th International Conference on Compressors and Coolants, Papiernička, Slovakia, 2009, 52-60 nr arch. 479/2009
- 42 Karwacki J., Butrymowicz D., *Badania eksperymentalne strumienicowego układu chłodniczego z wewnętrzną wymianą ciepła*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 495/2009
- 43 Butrymowicz D., Śmierciew K., Karwacki J., *Analiza energetyczna oraz egzergetyczna strumienicowego urządzenia chłodniczego*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 496/2009
- 44 Butrymowicz D., Karwacki J., Śmierciew K., Matysko R., *Opracowanie wyników badań strumienicowego urządzenia chłodniczego*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 497/2009
- 45 Karwacki J., Butrymowicz D., *Badania wizualizacyjne strumienicy powietrznej*, oprac. wewn. IMP PAN nr arch. 498/2009

Projekt badawczy PBZ MEiM – 4/2/06 Nadkrytyczne bloki węglowe (kier. Prof. M. Trela)

- 46 Trela M., Kwidziński R., Butrymowicz D., Głuch J., *Study on applicatopn of steam water – injectors as feedwater heaters in steam power plants*, przyjęty do druku w *Polish Maritime Research*, nr arch. 184/2009
- 47 Karwacki J., Śmierciew K., *Opracowanie systemów pomiarowych na stanowisku do badań strumienicowego podgrzewacza wody*, nr arch. 172/2009
- 48 Butrymowicz D., Śmierciew K., Karwacki J., Trela M., *Experimentation of low –pressure two-phase ejector*, 3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Boulder, CO, 2009, CD2. Paper No. 111. pdf, nr arch. 381/2009
- 49 Butrymowicz D., Głuch J., Hajduk T., Trela M., Gardzielewicz A.: *Analysis of fouling thermal resistance in feedwater heaters in steam power plants*, przyjęty do druku w *Polish Maritime Research*, nr arch. 755/2009

- 50 Kwidziński R., Trela M., *Obliczenia geometrii układu podgrzewaczy strumienicowych NP – część I*, Opracowanie IMP PAN nr arch. 111/09
- 51 Kwidziński R., Trela M., *Obliczenia geometrii układu podgrzewaczy strumienicowych NP – część II, Opracowanie optymalnej geometrii strumienicowego układu regeneracji w obiegu nadkrytycznym*, Opracowanie IMP PAN nr arch. 318/09
- 52 Butrymowicz D., Trela M., *Ocena ekonomiczna zastosowania strumienicowego układu regeneracyjnego w bloku nadkrytycznym*, Opracowanie IMP PAN nr arch. 447/09
- 53 Głuch J., Trela M., *Określenie implikacji zastosowania strumienicowego układu regeneracyjnego w bloku nadkrytycznym dla pracy skraplacza*, Opracowanie IMP PAN nr arch. 449/09.
- 54 M. Trela, R. Kwidziński, *Influence of the expansion in a steam nozzle on the performance of the two-phase ejector, referat on International Seminar on ejector/jet pump technology and applications*, Euroejector / Eurotherm 85 Louvain-la-Neuve, Belgium, September 7-9, 2009, Paper No. 10, on CD-ROM, nr arch. 407/2009
- 55 Trela M., Kwidziński R., Głuch J., Butrymowicz D., *Feasibility study on application of steam injectors as feedwater heaters in supercritical Rankine cycle*, Archives of Thermodynamics, vol.30 (2009), No1, pp. 2-16, nr arch. 738/09

III. INNE INFORMACJE

1. Prace wykonane w C2 (związki z praktyką – badania, opinie, konsultacje, umowy)

2. Opracowane urządzenia, przyrządy.

3. Opracowane technologie i materiały.

4. Działalność dydaktyczna

Marian Trela, *Uniwersytet Warmińsko Mazurski, Wydział Nauk Technicznych*

- Termodynamika i Mechanika Płynów

Dariusz Butrymowicz, *Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny:*

- Termodynamika Techniczna (wykład, 30 h);
- Chłodnictwo (wykład, 30 h);
- Technologia Chłodnicza (wykład 30 h);
- Technika Ciepłna i Chłodnictwa (wykład 30 h);
- Technika Ciepłna i Gospodarka Energetyczna (wykład 30 h)

Kamil Śmierciew, *Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny*

- Termodynamika techniczna – zajęcia laboratoryjne
- Mechanika Płynów - zajęcia laboratoryjne
- Siłownie cieplne - ćwiczenia

Robert Matysko, *Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny*

- Siłownie cieplne - wykład

5. Ekspertyzy i opinie naukowe

- Recenzja projektów badawczych MNiSW – M. Trela, D. Butrymowicz
- Recenzja podręcznika: Mark Bergander *"Fluids Mechanics, Vol. 1 – Basic Principles, vol.2 – Applications"*; dla wydawnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (D. Butrymowicz);
- Recenzja projektu z PO Infrastruktura i Środowiska na zlecenie OPI – D. Butrymowicz;
- Recenzja projektu dla Research Council of Canada – D. Butrymowicz.

6. Wykaz wdrożeń nowych kierunków, metod i technologii

7. Udziały w konferencjach (statystyka wyjazdów i referatów)

a) Konferencje międzynarodowe:

- *International Seminar on ejector/jet-pump technology and application*, 07-09.09.2009 Louvain-La-Neuve, Belgia, (6 referatów; uczestnictwo: Butrymowicz D., Śmierciew K., Kwidziński R.)
- *7th International Conference on Compressors and Coolants*, 30.09-02.10.2009 Papiernička, Slovakia (2 referaty; uczestnictwo: Śmierciew K.)
- *3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants*, Boulder, CO, USA, 2009 (2 referaty; uczestnictwo: Butrymowicz D.)
- *7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics* 28 June-03July, 2009, Kraków (2 referaty, uczestnictwo: Matysko R.)
- *International Congress "PROCLIMATE"*, 14-15.09.2009, Poznań, (2 referaty, uczestnictwo: Butrymowicz D.)
- *Technologie wykorzystujące OZE i Poligeneracja*, 26.11.2009 Poznań, (1 referat, uczestnictwo: Butrymowicz D.)

b) Konferencje krajowe:

- *VIII Warsztaty "Modelowanie przepływów wielofazowych w układach termochemicznych"* 31.05-2.06.2009, Wieżyca k/Gdańska, (plakat, uczestnictwo: Kwidziński R.)

8. Członkostwo w towarzystwach naukowych

- Członkostwo w *Sekcji Termodynamiki Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN* – 2 osoby (M. Trela, D. Butrymowicz),
- Członkostwo w *Podsekcji Przepływów Wielofazowych Komitetu Mechaniki PAN Sekcji Mechaniki Płynów* – 2 osoby (M. Trela, D. Butrymowicz),
- Członkostwo w *Sekcji Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn PAN* – 2 osoby (M. Trela, D. Butrymowicz).
- Członkostwo w *Komitecie Termodynamiki i Spalania PAN* (M. Trela),
- Członkostwo w *International Institute of Refrigeration*, Paryż (D. Butrymowicz).

9. Wyniki współpracy z zagranicą

- a) Wzajemna konsultacja w zakresie badań nad strumienicami jedno i dwufazowymi do wykorzystania ich w zagadnieniach energii odnawialnych, zgodnie z umową o współpracy naukowej i naukowo – technicznej z zagranicą na lata 2008-2010, Prof. Yann Bartosiewicz, Universitet Catholique de Louvain, Facult des sciences appliqués, Unit TERM, Belgia
- b) staż naukowy w Universite Catholique De Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgia - wzajemna konsultacja w zakresie badań eksperymentalnych i modelowania strumienic jednofazowych w układach klimatyzacji solarnej (Śmierciew K.)

10. Inne informacje

- a) Współorganizacja *EUROTHERM Seminar – International Seminar on ejector/jet pump technology and application*, członkostwo w Komitecie Naukowym (D. Butrymowicz);
- b) Członkostwo w Komitecie Naukowym *7th International Conference on Compressors*, Papiernicka-Smolenice, Slovakia, 2009 - (D. Butrymowicz).
- c) Prezentacja pt. *Nowoczesne technologie w chłodnictwie i pompach ciepła.* - W ramach VII Bałtyckiego Festiwalu Nauki, (Śmierciew K., Karwacki J., Butrymowicz D.,)
- d) *Opracowanie oraz uruchomienie układu cieplnego z dwutlenkiem węgla jako czynnikiem roboczym w Laboratorium Techniki Ciepłej IMP PAN*, (Butrymowicz D., Karwacki J.) nr arch. 708/2009
- e) *Opracowanie oraz uruchomienie nowego specjalistycznego stanowiska dla badań klimatyzacji solarnej w Laboratorium Techniki Ciepłej IMP PAN*, (Butrymowicz D., Karwacki J., Śmierciew K., Matysko R.) nr arch. 709/2009
- f) *Opracowanie oraz uruchomienie układu cieplnego kolektorów wysokotemperaturowych – ciepło użytkowe do podgrzewu wody w IMP*, (Butrymowicz D., Karwacki J., Śmierciew K., Matysko R.) nr arch. 710/2009
- g) *Opracowanie układu strumieniowego dla DCS - District Cooling System*, (Butrymowicz D., Matysko R., Śmierciew K., Karwacki J.) nr arch. 711/2009,
- h) *Wyróżnienie dla doc. D. Butrymowicza od The International Institute of Refrigeration w Paryżu.*



ZADANIE 3

Zastosowanie procesów elektrohydrodynamicznych oraz nanotechnologii w zagadnieniach ciepłno-przepływowych energetyki

Kierownik zadania: doc. dr hab. Anatol Jaworek

Wykonawcy: Anatol Jaworek, dr hab. inż.
Jarosław Kaczmarek, doc. dr. hab. inż.
Tadeusz Czech, dr
Andrzej Krupa, dr inż.
Marcin Lackowski, dr
Arkadiusz Sobczyk, mgr

Streszczenie

W roku sprawozdawczym kontynuowano badania wytwarzania nanostruktur przy wykorzystaniu metod elektrohydrodynamicznych i plazmowych. W szczególności prowadzono badania podstawowe w zakresie metod wytwarzania nanowarstw z prekursorów lub zawiesin koloidalnych nanocząstek oraz diagnostyki plazmy wyładowania elektrycznego używanej do celów technologicznych.

APPLICATION OF ELECTROHYDRODYNAMIC PROCESSES AND NANOTECHNOLOGY IN THERMO-FLOW PROBLEMS OF ENERGY INDUSTRY

2009 ANNUAL PROGRESS REPORT

Abstract

In the reported year, investigation on nanostructure formation by means of electrohydrodynamic and plasma methods has been continued. In particular, fundamental research on nanolayer deposition from precursors or colloidal suspension of nanoparticles, and plasma diagnostics with optical emission spectroscopy for technology application have been carried out.

Cel i przedmiot pracy

Nanotechnologia obejmuje metody wytwarzania i badania właściwości struktur o wymiarach mniejszych od 100 nm. Dziedziny zastosowań nanotechnologii są praktycznie nieograniczone: np. techniki materiałowe, elektronika, energetyka. W zakresie technologii materiałowej nanotechnologia dotyczy procesów wytwarzania struktur takich jak kropki kwantowe, nanorurki, nanocząstki, nanokapsułki, nanodruty, nanofilmy, monowarstwy samoorganizujące się, nanowłókna, lub nanokompozyty.

Jedną z technik stosowanych w nanotechnologii, zdobywających coraz większe znaczenie, jest elektrohydrodynamika, wykorzystująca jednocześnie procesy i zjawiska hydrodynamiczne i elektrodynamiczne. W szczególności wykorzystuje się oddziaływanie pól i sił elektrycznych na ośrodki ciągłe takie jak gaz i ciecz, na przepływ cieczy, przemiany fazowe lub jonizację tych ośrodków. Podstawowymi procesami, w których wykorzystywane są te oddziaływania są elektrorozpylanie i elektroprzędzenie oraz wyładowania elektryczne w gazach.

Celem prac prowadzonych w roku 2009 było opracowywanie nowych metod i technik wytwarzania nanostruktur takich jak nanocząstki, nanowłókna lub nanowarstwy. Kontynuowano również prace nad wytwarzaniem mikro i nanostruktur węglowych za pomocą wyładowań elektrycznych w gazach zawierających węglowodory oraz badanie procesów jonizacyjnych w wyładowaniach elektrycznych do zastosowań technologicznych. Prace zmierzały do opracowania technologii elektrohydrodynamicznych i plazmowych przydatnych do wytwarzania i modyfikacji właściwości nanostruktur i materiałów nanokompozytowych.

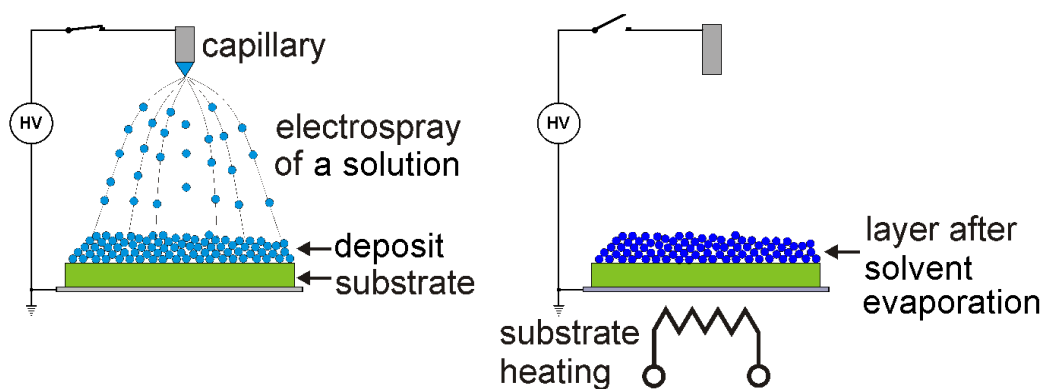
Podstawowymi zaletami rozpylania elektrohydrodynamicznego w zastosowaniu do produkcji nanostruktur i materiałów nanokompozytowych są: prosta konstrukcja urządzeń rozpylających, mały pobór energii, możliwość wytworzenia kropli submikronowych o rozkładzie monodispersyjnym i łatwa zmiana składu warstwy poprzez szybką wymianę rozpylanego czynnika. Struktura warstwy i jej grubość mogą być do pewnego stopnia regulowane za pomocą natężenia przepływu rozpylanego czynnika, odległości dyszy od podłoża, oraz temperatury i ciśnienia gazu. Wadą metody elektrohydrodynamicznej jest duża wrażliwość procesu rozpylania na parametry fizykochemiczne czynnika i zmiany jego temperatury oraz mała wydajność procesu.

Przedmiot i wyniki badań

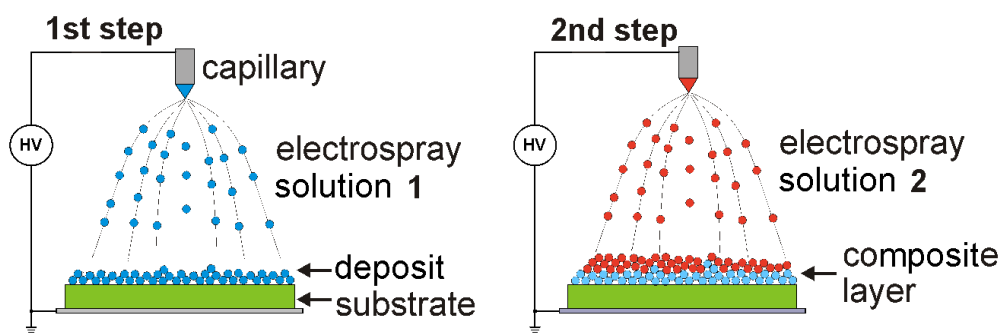
W roku sprawozdawczym przeprowadzono badania elektrohydrodynamicznej metody wytwarzania nanowarstw na bazie odpowiednio dobranego prekursora lub zawiesiny koloidalnej

nanocząstek na podłożu metalowym. Schemat układu do nanoszenia nanowarstw metodą elektrorozpylania z zawiesiny koloidalnej przedstawiono na rys. 1. Krople zawiesiny o kontrolowanej wielkości rozpylane były elektrohydrodynamicznie za pomocą dyszy w postaci cienkiej kapilary ze stali nierdzewnej. Jak kolektor cząstek zastosowano folię aluminiową lub blachę ze stali nierdzewnej. Odległość pomiędzy wylotem dyszy a kolektorem wynosiła 25 mm lub 35 mm. Podczas rozpylania podłoże podgrzewane było wstępnie do temperatury około 50°C w celu szybszego odparowania rozpuszczalnika. Wytwarzanie pokryć odbywa się w dwóch etapach. W pierwszym etapie, zawiesina koloidalna jest rozpylana na podłoże metalowe wstępnie podgrzewane w celu łatwiejszego odparowania rozpuszczalników. W drugim etapie, warstwa jest poddawana obróbce cieplnej (wyżarzanie, spiekanie, odprężanie) w celu uzyskania odpowiedniej struktury i poprawy przyczepności do podłoża.

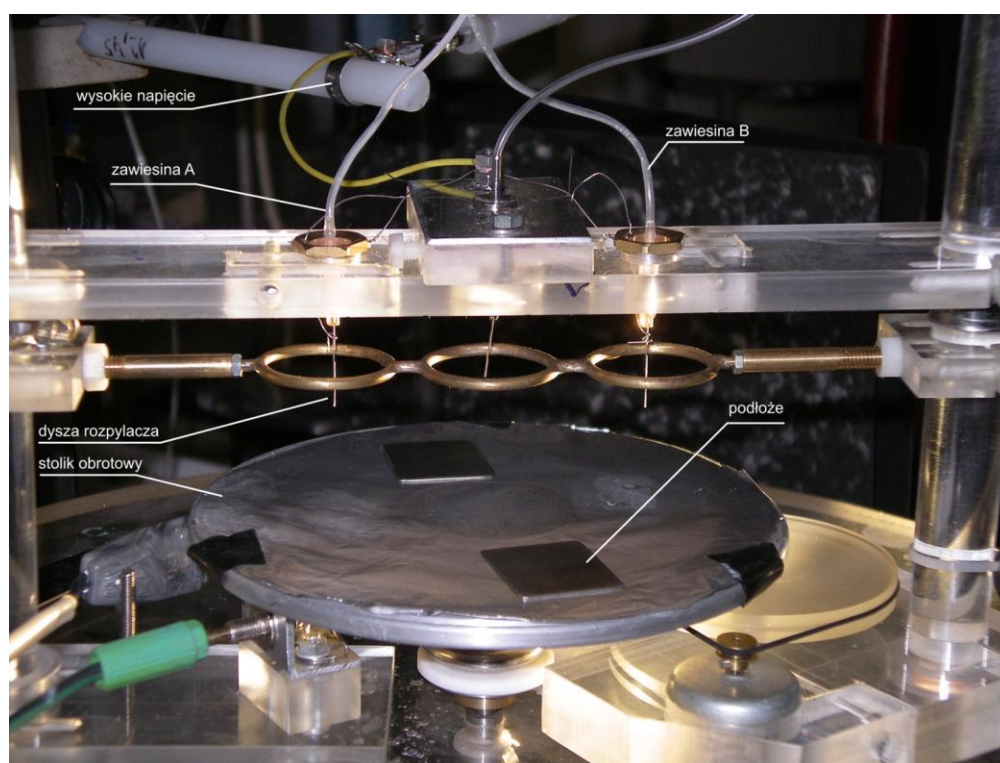
Opracowano także technologię produkcji warstw nanokompozytowych poprzez kolejne nakładanie warstw z różnych materiałów. Badania przeprowadzono dla dwóch rodzajów zawiesin koloidalnych nanocząstek rozpylanych elektrohydrodynamicznie jednocześnie z dwóch dysz. Podłoże na które nanoszony był materiał umieszczono na obracającym się stoliku. Prędkość obrotowa stolika wynosiła 10 obr/min. Schemat procesu nanoszenia warstw nanokompozytowych metodą elektrorozpylania przedstawiono na rys. 2 a zdjęcie stanowiska na rys. 3.



Rys.1. Schemat procesu nanoszenia nanowarstw metodą elektrorozpylania.

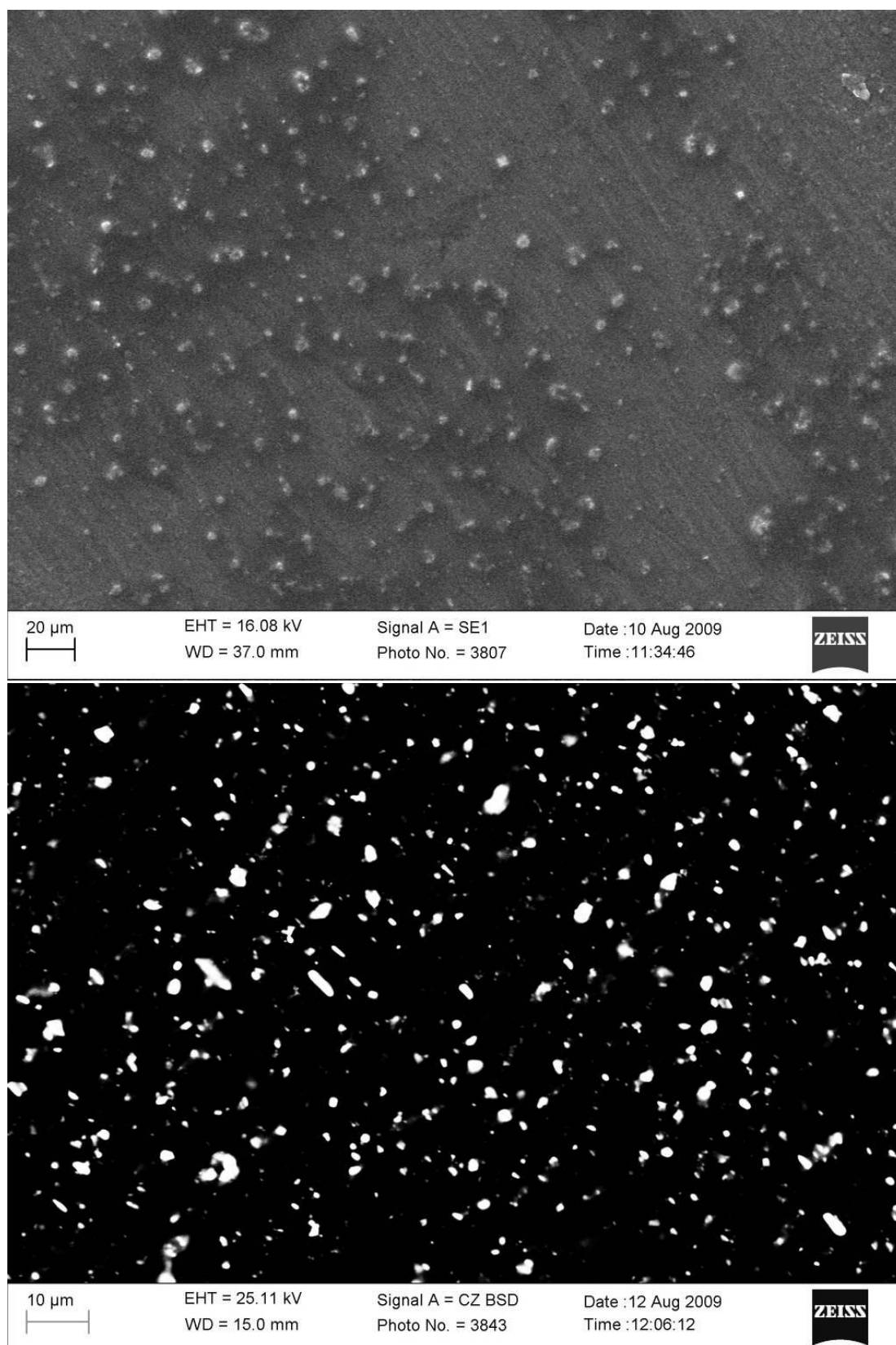


Rys.2. Schemat procesu nanoszenia warstw nanokompozytowych metodą elektrorozpylania.



Rys. 3. Zdjęcie stanowiska do nanoszenia warstw nanokompozytowych.

Naniesione warstwy tlenku cyrkonu i tlenku aluminium wyżarzano w piecu muflowym LMH 04/12W w temperaturze 250°C. Morfologię wytworzonych warstw badano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego EVO-40 (Zeiss). Przykładowe zdjęcia mikroskopowe otrzymanych pokryć tlenkowych $\text{ZrO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ otrzymanych metodą elektrorozpylania zawiesin koloidalnych nanocząstek ZrO_2 o wymiarach około 100 nm i Al_2O_3 o wymiarach 30 nm przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zdjęcie SEM (a) i BSD (b) nanowarstw kompozytowych złożonych z $\text{ZrO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ naniesionych metoda elektrorozpylania na podłoże ze stali nierdzewnej (Zawiesina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ w metanolu 0.06 wt.%, napięcie = $10 \text{ kV}_{\text{DC}} + 3 \text{ kV}_{\text{AC(p-p)}}$, częstotliwość napięcia sinusoidalnego = 800 Hz, dysza kapilarna 600 μm o.d., 240 μm i.d., odległość kapilara-podłoże = 30 mm, czas rozpylania = 10 h, rozpylona objętość = 10 ml).

Wnioski z badań

Wykonano badania doświadczalne wytwarzania warstw nanokompozytowych za pomocą metody elektrorozpylania. Otrzymane warstwy wytworzono z zawiesin koloidalnych nanocząstek nanoszonych materiałów w odpowiednich rozpuszczalnikach. Po odparowaniu rozpuszczalnika i wygrzaniu w podwyższonej temperaturze otrzymuje się jednolitą warstwę o dużej porowatości i powierzchni właściwej. Opracowano technikę sekwencyjnego nanoszenia cząstek umieszczając podłoża na stoliku obrotowym. W ten sposób na poszczególne podłoża nanoszone były kolejno dwa rodzaje materiałów. Zaletą metody elektrorozpylania jest możliwość produkcji kropeł mniejszych od 1 μm , brak koagulacji kropli w czasie rozpylania i równomierny rozkład nanoszonego materiału na podłożu. Proces nanoszenia warstw może odbywać się w warunkach normalnych, przy ciśnieniu atmosferycznym bez potrzeby stosowania kosztownych urządzeń próżniowych i reaktorów chemicznych.

Opracowana metoda nanoszenia warstw tlenkowych na powierzchnie metalowe może znaleźć zastosowanie w produkcji elektrod do ogniw paliwowych, baterii litowych, kondensatorów elektrochemicznych (superkondensatorów) lub katalizatorów.

Ponadto przeprowadzono badania właściwości wyładowań elektrycznych w gazach jako źródeł plazmy do celów technologicznych.

Wykaz publikacji i opracowań

A. Wykonanych w ramach działalności statutowej

1. Jaworek A., Sobczyk A.T., Rajch E.,
Investigations of dc corona and back discharge characteristics in various gases.
Journal of Physics: Conference Series **142** (2008) 012010
2. Krupa A., Lackowski M., Czech T.,
Dust particles motion in back discharge.
Journal of Physics: Conference Series **142** (2008) 012040
3. Czech T., Sobczyk A.T., Jaworek A.,
Optical diagnostic of electrical discharges for technology applications.
NEET 2009, 6th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and
Their Industrial Implementation, Zakopane, Poland, 23-26 June 2009
4. Jaworek A., Krupa A.,
Charged-aerosol technologies.
VIII Workshop "Modeling of Multiphase Flows in Thermo-Chemical Systems", Gdańsk-
Wieżyca, Poland, 31 May - 2 June 2009
5. Butrymowicz D., Lackowski M., Karwacki J., Śmierciew K.,
Oil-drop electrostatic separation from high pressure refrigerant vapour.
Compressors-2009, Papirnicka, Słowacja, 30.9.- 2.10.2009, 61-68

Opracowania Wewnętrzne

1. Czech T., Sobczyk A., Jaworek A.,
Optical emission spectroscopy of negative and positive corona and back-discharge plasma in
nitrogen.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 83/2009
2. Czech T., Sobczyk A., Jaworek A.,
Optical emission spectroscopy of negative and positive corona and back-discharge plasma in
carbon di-oxide.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 439/2009
3. Czech T., Sobczyk A., Jaworek A.,
Optical emission spectroscopy of negative and positive corona and back-discharge plasma in
air.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 438/2009
4. Jaworek A., Sobczyk A.,
Nanocomposite layer deposition by electrospraying.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 795/2009

B. Inne publikacje i referaty w ramach projektów badawczych

1. Krupa A.,
Back discharge in multipoint-plane geometry in flue gases.
European Physical Journal D **54** (2009), 265-270
2. Czech T., Lackowski M., Krupa A., Sobczyk A.T., Jaworek A., Rajch E.,
Spectroscopic investigation of back-corona discharge on the fly-ash layer.
European Physical Journal D **54** (2009), 425-432

3. Jaworek A., Krupa A., Lackowski M., Sobczyk A.T., Czech T., Ramakrishna S., Sundarrajan S., Pliszka D.,
Electrostatic method for the production of polymer nanofibers blended with metal-oxide nanoparticles.
Journal of Physics: Conference Series **146** (2009), paper No. 012006
4. Jaworek A., Krupa A., Lackowski M., Sobczyk A.T., Czech T., Ramakrishna S., Sundarrajan S., Pliszka D.,
Nanocomposite fabric formation by electrospinning and electrospraying technology.
Journal of Electrostatics **67** (2009), No. 2-3, 435-438
5. Sobczyk A.T., Jaworek A., Sozańska M.,
Carbon fiber formation in electrical discharges in hydrocarbons
Journal of Electrostatics **67** (2009), No. 2-3, 275-279
6. Krupa A.,
Laboratory investigations of back discharge in multipoint-plane geometry in flue gases.
Journal of Electrostatics **67** (2009), No. 2-3, 291-296
7. Jaworek A., Sobczyk A.T., Krupa A., Lackowski M., Czech T.,
Electrostatic deposition of nanothin films on metal substrate.
Bulletin of Polish Academy of Sciences: Technical Sciences **57** (2009), No.1, 63-70
8. Sundarrajan S., Pliszka D., Jaworek A., Krupa A., Lackowski M., Ramakrishna S.,
A novel process for the fabrication of nanocomposites membranes.
Journal of Nanoscience and Nanotechnology **9** (2009) No. 7, 4442-4447
9. Jaworek A., Krupa A., Lackowski M., Sobczyk A.T., Czech T., Ramakrishna S., Sundarrajan S., Pliszka D.,
Electrospinning and electrospraying techniques for nanocomposite non-woven fabric production.
Fibers and Textiles in Eastern Europe **17** (2009), No.4, 77-81

Referaty konferencyjne

1. Jaworek A., Krupa A., Lackowski M., Sobczyk A.T., Czech T., Ramakrishna S., Sundarrajan S., Pliszka D.,
Nanocomposite fabric formation by electrospinning and electrospraying technology.
ELECTROSTATICS 2009, 11th International Conference on Electrostatics, Valencia, Spain, 26-29 May 2009
2. Sobczyk A.T., Jaworek A., Sozańska M.,
Carbon fiber formation in electrical discharges in hydrocarbons
ELECTROSTATICS 2009, 11th International Conference on Electrostatics, Valencia, Spain, 26-29 May 2009
3. Krupa A.,
Laboratory investigations of back discharge in multipoint-plane geometry in flue gases.
ELECTROSTATICS 2009, 11th International Conference on Electrostatics, Valencia, Spain, 26-29 May 2009
4. Jaworek A., Krupa A., Lackowski M., Sobczyk A.T., Czech T.,
Novel electrostatic technologies for functional nanomaterials production.
NEET 2009, 6th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane, Poland, 23-26 June 2009
5. Sobczyk A.T., Jaworek A.,
Electrical-discharge synthesis of carbon fibers in hydrocarbon atmosphere.
NEET 2009, 6th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane, Poland, 23-26 June 2009

6. Krupa A., Jaworek A.,
Capacitance sensors for void fraction measurement.
NEET 2009, 6th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane, Poland, 23-26 June 2009
7. Sobczyk A.T., Jaworek A.,
Powstawanie depozytu węglowego w wyładowaniach elektrycznych pod ciśnieniem normalnym w atmosferze węglowodorów.
Carbon deposit formation in electrical discharges in hydrocarbons atmosphere at normal pressure.
NANO 2009, III Krajowa Konferencja Nanotechnologii, Warszawa, 22-26 czerwca 2009
8. Krupa A., Lackowski M., Jaworek A.,
Electric field modeling in capacitance sensor for void fraction measurement.
VIII Workshop "Modeling of Multiphase Flows in Thermo-Chemical Systems", Gdańsk-Wieżyca, Poland, 31 May - 2 June 2009

Opracowania Wewnętrzne

5. Krupa A., Jaworek A., Lackowski M.,
Badanie możliwości wykorzystania przetworników pojemnościowych w pomiarze stopnia zapełnienia w minikanalach.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 84/2009 (2622/T02/2007/32)
6. Krupa A., Jaworek A., Lackowski M.,
Charakterystyki pomiarowe miernika do pomiaru stopnia zapełnienia w zależności struktury przepływu dwufazowego.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 85/2009 (2622/T02/2007/32)
7. Krupa A., Lackowski M., Jaworek A.,
Osadzanie nanocząstek tlenków metali na kulkach szklanych.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 96/2009 (4078/T02/2007/32)
8. Jaworek A., Sobczyk A.,
Co-axial electrospinning for the production of two-layer core-shell fibers.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 535/2009 (83/SIN/2006/02)
9. Sobczyk S., Jaworek A.,
Properties of coating deposited from nanoparticles by electrohydrodynamic method.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 536/2009 (83/SIN/2006/02)
10. Lackowski M., Krupa A.,
Badanie skuteczności filtracji i stabilności eksploatacyjnej nanokompozytowych włókien filtracyjnych.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 537/2009 (83/SIN/2006/02)
11. Krupa A., Jaworek A.,
Badanie właściwości fizycznych materiałów kompozytowych włókninowo-tlenkowych.
Oprac. Wewn. IMP PAN Nr arch. 538/2009 (83/SIN/2006/02)