

SPRAWOZDANIE

**z prac prowadzonych
w Ośrodku Termomechaniki Płynów IMP PAN
w roku 2009**

**REFERENT / RECENZENT
PROF. MARIAN TRELA**

Gdańsk, 12 stycznia 2010

LISTA TEMATÓW

Temat / Zadanie		Kierownik	Zakład Prac.	Liczba etatów
Temat O2 / T1	Problemy aeromechaniki, eksploatacji, diagnostyki maszyn i urządzeń energetycznych	Prof. dr hab. inż. Piotr Doerffer		
	Zadanie 1: Zagadnienia aeromechaniki, eksploatacji i diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych	Prof. dr hab. inż. Andrzej Gardzilewicz	Z1	5.25
	Zadanie 2: Przepływy pod- i naddźwiękowe z silnymi oddziaływaniami	Prof. dr hab. inż. Piotr Doerffer	Z2	8.5
Temat O2 / T2	Procesy ekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych, także z wykorzystaniem biomasy	Dr inż. Dariusz Kardaś		
	Zadanie 1: Modele procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych	Prof. dr hab. inż. Janusz Badur	Z3	3.5
	Zadanie 2: Transport energii i spalanie w przepływie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii	Dr inż. Dariusz Kardaś	Z4	5
Temat O2 / T3	Problemy cieplno-przepływowe w urządzeniach niskotemperaturowej energetyki ciepłej, także z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii	Prof. dr hab. inż. Marian Trela		
	Zadanie 1: Mikrośilownie na czynniki organiczne	Prof. dr hab. inż. Jarosław Mikielwicz	Z5	4.5
	Zadanie 2: Obiegi skojarzone lewobieżne oraz prawobieżne z wykorzystaniem ekologicznych czynników roboczych	Prof. dr hab. inż. Marian Trela	Z6	5.5
	Zadanie 3: Zastosowanie procesów elektrohydrodynamicznych oraz nanotechnologii w zagadnieniach cieplno-przepływowych energetyki	Dr hab. inż. A. Jaworek	P1	4

razem etatów: 36.25

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

1. Książki

- **Janusz Badur**, *Rozwój pojęcia energii*
Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2009, 1186 stron



OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

2. Publikacje

- a) publikacje recenzowane – **33 (31)**
w tym publikacje z listy filadelfijskiej – **13 (8)**
- b) zaproszone wykłady – **13 (4)**
- c) referaty na konferencjach międzynarodowych – **46 (31)**
- d) referaty na konferencjach krajowych – **15 (19)**

3. Prace doktorskie (1)

dr Sebastian Kowalczyk	(promotor Janusz Badur)
dr inż. Jacek Żabski	(promotor Zygmunt Wierciński)

(x) – dane z poprzedniego roku

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

4. Działalność w instytucjach (programach) krajowych

Mikielewicz J. – wiceprezes Oddziału PAN w Gdańsku

Mikielewicz J. – wiceprzewodniczący Komitetu Energetyki PAN

Mikielewicz J. – członek Komitetu Termodynamiki i Spalania

Doerffer P. – przewodniczący Podsekcji Przepływów Wewnętrznych, Sekcja Mechaniki Płynów Komitetu Mechaniki PAN

Doerffer P. – członek Rady Naukowej TASK jako przedstawiciel PAN

Trela M. – członek Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

5. Działalność w instytucjach (programach) międzynarodowych (1)

Butrymowicz D. – członek Międzynarodowego Instytutu Chłodnictwa w Paryżu, Komisja B1 - Thermodynamics and Heat Transfer Processes

Butrymowicz D. – członkostwo w Komitecie Naukowym 7th International Conference on Compressors, Papiernicka-Smolenice, Słowacja

Butrymowicz D. – członkostwo w Komitecie Naukowym EUROTHERM International Seminar on ejector/jet pump technology and application, Louvain-La-Neuve, Belgia

Doerffer P. – członek ERCOFTAC (European Research Community On Flow, Turbulence And Combustion) Management Board and Industry Advisory Committee

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

5. Działalność w instytucjach (programach) międzynarodowych (2)

Doerffer P. – członek komitetu redakcyjnego *Journal of Thermal Sciences*, Science Press / Springer-Verlag GmbH

Doerffer P. – redaktor kwartalnika *TASK Quarterly*

Doerffer P. – członek Międzynarodowego Komitetu Konferencyjnego International Symposium on Aerothermodynamics of Internal Flows (ISAIF)

Głuch J. – członek American Society of Mechanical Engineers (ASME)

Lampart P. – członek International Gas Turbine Institute Turbomachinery Committee, ASME

Mikielewicz J. – członek Wessex Institute of Technology Southampton, UK

Mikielewicz J. – członek International Centre of Heat and Mass Transfer

Wierciński Z. – członek Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik

Wierciński Z. – członek EUROMECH

Wierciński Z. – uczestnik The ERCOFTAC SIG 10 on Transition Modelling

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

6. Uzyskane honory i wyróżnienia

Prof. J. Mikielwicz **doktorat honorowy Politechniki
Koszalińskiej, 10.VI.2009**

Doc. D. Butrymowicz **wyróżnienie The International Institute of
Refrigeration w Paryżu**

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

7. Wdrożenia

Ograniczenie strat niepełnego spalania węgla w kotle OP-230 w wyniku zmian konstrukcyjnych palników i dysz OFA

autorzy: D. Kardaś, I. Wardach, T. Kamiński, J. Kluska.

Zastosowanie wiru poziomego utworzonego przez dysze powietrza nadpłomieniowego i dodatkowych zawirowywaczy w palnikach zmniejszyło zawartość części palnych w popiele lotnym o około 4%, co na jednym kotle daje roczną oszczędność paliwa ok. 770 ton paliwa. Wartość zaoszczędzonego węgla w jednym kotle wynosi około 300 tys. zł.

Analiza i obliczenia wytrzymałościowe CSD typoszeregu wirników D355-D1000 oddymiających wentylatorów osiowych

autorzy: J. Badur, M. Karcz, M. Lemański, D. Sławiński.

Opracowano metodologię obliczeń typoszeregu osiowych wentylatorów oddymiających dla firmy MERCOR, która pozwala na przeprowadzenie rzeczywistych testów dopuszczających wentylatory do pracy w ekstremalnych warunkach jedynie na wybranych urządzeniach z typoszeregu, co pozwala na wymierne oszczędności.

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

8. Organizacja konferencji

- ◆ **Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Stan Pozyskiwania Odnawialnych Źródeł Energii w Polsce”, Łomża 7-18.IV.2009**
organizatorzy: IMP PAN (J. Mikielewicz), Państwowa Wyższa Szkoła Informatyki i Przedsiębiorczości w Łomży, Elektrociepłownia Białystok
- ◆ **VIII Warsztaty Wielofazowe „Modelowanie przepływów wielofazowych w układach termochemicznych” , Wieżyca, 31.V-2.VI.2009**
organizatorzy: J. Pozorski (O1) i D. Kardaś (O2/Z4)
- ◆ **3rd Symposium on Hybrid RANS-LES Methods, Gdańsk, 10-12.VI.2009**
organizatorzy: P. Doerffer, O. Szulc
- ◆ **EUROTHERM International Seminar on ejector/jet pump technology and application, Louvain-La-Neuve (Belgia), 7-9.IX.2009**
organizatorzy: Université Catholique de Louvain, Faculté Polytechnique de Mons, IMP PAN (D. Butrymowicz)

OSIĄGNIĘCIA OŚRODKA

9. Współpraca międzynarodowa

- ◆ Współpraca z Instytutem Budowy Maszyn Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, dotycząca oprogramowania do obliczeń numerycznych przepływu w maszynach wirnikowych (prof. A. Gardzilewicz).
- ◆ Współpraca w ramach projektów europejskich, w tym koordynacja projektu europejskiego UFAST przez prof. P. Doerffera.
- ◆ Współpraca z Instytutem Technicznej Ciepłoty (ITTF) Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w Kijowie w badaniach przejścia laminarno-turbulentnego indukowanego śladami spływowymi (doc. Z. Wierciński).
- ◆ Współpraca z Universitet Catholique de Louvain (UCL), Facult des sciences appliqués, Unit TERM (Belgia) 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 (doc. D. Butrymowicz).
- ◆ Współpraca z National University of Singapore w ramach programu “Joint Singapore-Poland S&T Co-operation” pt. Wytwarzanie nowych nanokompozytowych filtrów membranowych dla nowych zastosowań technologicznych (doc. A. Jaworek).

PROJEKTY BADAWCZE W OŚRODKU

1. PROJEKTY MNiSW

Liczba projektów: realizowanych – **19** (18), w tym uzyskane w 2009 – **7** (3)

lp	Kierownik nr grantu	Tytuł projektu	Nr i data rozp. umowy	Termin zakończenia
1	H. Bieliński N5121880339	Analiza wymiany ciepła i ruchu płynu w mini- i mikrokanałach obiegu dwufazowego z cyrkulacją naturalną i wymuszoną	1880/B/T02/07/33 17.10.2007	16.10.2010
2	D. Butrymowicz N51201331/1179	Badania strumieniowych układów klimatyzacyjnych pracujących z naturalnymi czynnikami roboczymi	1179/T02/20/06/31 31.10.2006	30.10.2009
3	Z. Drożyński N512356137	Analiza możliwości chłodzenia przy pomocy cyrkulacji w obiegu rury cieplnej	3561/B/T02/09/37 22.09.2009	21.09.2012
4	A. Krupa N51201132/2622	Pomiar stopnia zapełnienia w przepływach dwufazowych za pomocą przetwornika pojemnościowego	2622/T02/07/32 27.03.2007	26.03.2009
5	A. Krupa N523416937	Badanie właściwości filtracyjnych nanowłóknin wytwarzanych metodą elektrohydrodynamiczną	4169/B/T02/09/37 26.08.2009	25.02.2012
6	M. Lackowski N513396936	Zastosowanie dielektroforezy do regulacji przepływu w mikrokanałach w energetyce rozproszonej	3969/B/T02/09/36 15.04.2009	14.10.2011

c.d.n.

PROJEKTY BADAWCZE W OŚRODKU

projekty MNiSW (ciąg dalszy)

lp	Kierownik nr grantu	Tytuł projektu	Nr i data rozpoczęcia umowy	Termin zakończenia
7	R. Matysko N513 4190349	Badania poprawy efektywności energetycznej układów chłodniczych poprzez odzysk ciepła przegrzania	4190/B/T02/08/34 09.05.2008	08.05.2011
8	T. Ochrymiuk N501367134	Skuteczność chłodzenia łopatek turbinowych przy różnych konfiguracjach wydmuchu chłodziwa	3671/B/T02/08/34 05.05.2008	09.05.2011
9	J. Saczuk (A. Cenian) 3T10B 014 30	Chłodzenie mikropowierzchni ciała stałego przy pomocy różnych efektywnych metod takich jak spraye, mikrostrugi, mikrorury cieplne, radiatory, kanały cieplne oraz rozporaszacze ciepła	1400/T02/06/30 14.06.2006	13.06.2009
10	M. Szymaniak N513312735	Kompleksowe badanie wpływu ukształtowania geometrii kanałów łopatkowych w obrębie upustów na strukturę i sprawność przepływu ostatnich stopni turbin parowych	3127/B/T02/08/35 12.09.2008	11.11.2010
11	J. Świryczuk N51202132/4076	Analiza numeryczna 3D wzajemnego oddziaływania koherentnych struktur wirowych w wieńcu wirnikowym stopnia turbinowego	4076/T02/07/32 03.04.2007	02.08.2009
12	Z. Wierciński N50105031/3369	Wpływ skali turbulencji na przejście laminarno-turbulentne typu bypass w aerotermicznej warstwie przyściennej	3369/T02/06/31 16.11.2006	15.05.2009

PROJEKTY BADAWCZE W OŚRODKU

projekty MNiSW (dokończenie)

lp	Kierownik nr grantu	Tytuł projektu	Nr i data rozpoczęcia umowy	Termin zakończ.
Projekty badawcze habilitacyjne				
13	H. Bieliński N512356037	Uogólnienie modelu termosyfonu z cyrkulacją czynnika w pętli z przemianami fazowymi w obecności pól masowych	3560/B/T02/09/37 22.09.2009	21.09.2011
14	A. Krupa N511352037	Badanie wpływu wyładowania wstecznego na proces odpylania elektrostatycznego	3520/B/T02/09/37 28.08.2009	27.02.2011
15	R. Szwaba N502265837	Aplikacja strumieniowych generatorów wirów wzdłużnych do redukcji oderwania w przepływie naddźwiękowym	2658/B/T02/09/37 12.10.2009	11.10.2011
Projekty badawcze promotorskie				
16	J. Badur (S. Kowalczyk) N51301032/2098	Trójwymiarowy model matematyczny reakcji elektrochemicznej w porowatych spiekach ogniwa SOFC	2098/T02/07/32 30.03.2007	29.03.2009
17	D. Butrymowicz (T. Hajduk) N51302432/4092	Badanie oporów cieplnych zanieczyszczeń w aspekcie degradacji termicznej wymienników ciepła w siłowniach parowych	4092/T02/07/32 12.04.2007	11.04.2009
18	D. Butrymowicz (K. Śmierciew) N513397336	Badania eksperymentalne i teoretyczne strumieni napędowych w układach klimatyzacji solarnej	3973/B/T02/09/36 23.04.2009	15.03.2011
19	A. Jaworek (A. Sobczyk) N501010433	Badania powstawania struktur węglowych w gazach zjonizowanych zawierających węglowodory	0104/B/T02/07/33 22.11.2007	21.11.2009

PROJEKTY BADAWCZE W OŚRODKU

2. PROJEKTY ZAGRANICZNE – 6 (7)

lp	Kierownik Koordynator	Tytuł projektu	Nr i data rozp. umowy	Termin zakończ.
1	P. Doerffer Snecma Moteurs	TLC – Towards Lean Combustion (W kierunku ubogiego spalania), koordynator Snecma Moteurs	118/6PRUE/2005/7 30.03.2006	28.02.2009
2	P. Doerffer Rolls-Royce Deutschland	AITEB-2 – Aerothermal Investigations on Turbine Endwalls and Blades (Badania cieplno-przepływowe turbinowych ścian ograniczających i łopatek)	119/6PRUE/2005/7 29.03.2006	28.02.2009
3	P. Doerffer IMP PAN	UFAST – Unsteady effects of shock wave induced separation (Niestacjonarne efekty w oderwaniu wywołanym falą uderzeniową)	47/6PRUE/2006/7 12.07.2006	31.05.2009
4	P. Doerffer IMP PAN	IMP Survey – Capacity Report-2 – Survey and Prospects of IMP PAN Research	CSA-SA FP7-REGPOT- 2007-2 2009	30.04.2009
5	P. Doerffer Rolls-Royce	ERICKA – Engine Representative Internal Cooling Knowledge and Applications	ACP8-GA-2009-233799 2008	2012
6	A. Jaworek	Wytwarzanie nowych nanokompozytowych filtrów membranowych dla nowych zastosowań technologicznych (Joint Singapore-Poland S&T Co-operation)	83/SIN/2006/02 6.11.2006	5.11.2009

PR 6

PR 7

ZLECENIA ZEWNĘTRZNE C2

Liczba prac w C2 – **15 (11)**

Lp	Kierownik umowy	Zleceniodawca	Tytuł	Nr umowy
1	J. Badur	ALSTOM Power Sp. z o.o., Elbląg	Obliczenia pracy układu spalania turbiny GT8C dla gazu GZ50	45/08
2	D. Kardaś	Elektrociepłownie Wybrzeże S.A., Gdańsk	Wykonanie analizy spalania 3 różnych rodzajów węgla w wybranym kotle OP-230 w kontekście zawartości części palnych w popiele lotnym	4/09
3	P. Doerffer	Forsmarks Kraftgrupp AB, Szwecja	Specyfikacja stanowiska pomiarowego dla badań wymiany ciepła na popychaczu pręta sterującego w reaktorze	7/09
4	J. Badur	MERCOR S.A., Gdańsk	Analiza, obliczenia wytrzymałościowe typoszeregu wirników D=[355-1000] mm do wentylatorów osiowych oddymiających	12/09
5	D. Kardaś	Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze	Modelowanie przebiegu ciśnienia rozprężenia w komorze koksowniczej	14/09
6	D. Kardaś	Baltic Malt Sp. z o.o., Gdańsk	Pomiar wydatku objętościowego powietrza w suszarni słodu	15/09
7	P. Doerffer	Rolls-Royce, Niemcy	Symulacja chłodzenia strugowego przy pomocy metody LES	17/09

c.d.n.

ZLECENIA ZEWNĘTRZNE C2

(dokończenie)

Lp	Kierownik umowy	Zleceniodawca	Tytuł	Nr umowy
8	D. Kardaś	Elektrociepłownie Wybrzeże SA, Gdańsk	Wykonanie dokumentacji remontowej palników i dysz OFA kotła OP-230	21/09
9	D. Kardaś	Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze	Przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych konwersji węglowodorów dla wybranych gazów przemysłowych	23/09
10	J. Badur	Urząd Miasta Gdynia	Wzmocnienie stropu w budynku Zesp. Szkół nr 15	28/09
11	D. Kardaś	Baltic Malt Sp. z o.o., Gdańsk	Pomiar ciepła wymienników ciepła dużej mocy w instalacji produkcji słoðu	29/09
12	J. Badur	Urząd Miasta Gdynia	Rewitalizacja konstrukcji i budynków Zespołu Szkół nr 15	35/08
13	J. Badur	Urząd Miasta Gdynia	Nadzór autorski nad realizacją robót związanych ze wzmocnieniem stropu w budynku Zespołu Szkół nr 15	39/09
14	D. Kardaś	Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze	Opracowanie uniwersalnego programu komputerowego do numerycznej symulacji wolnej pirolizy węgla	65/09
15	D. Kardaś	Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze	Przeprowadzenie obliczeń numerycznych kinetyki pirolizy wybranych węgli	69/09

Problemy aeromechaniki, eksploatacji, diagnostyki maszyn i urządzeń energetycznych

Kierownik tematu: Prof. Piotr Doerffer

Zagadnienia aeromechaniki, eksploatacji i diagnostyki cieplno-przepływowej turbín parowych

Wykonawcy:

- Prof. dr hab. inż. A. Gardzilewicz, kierownik zadania**
- dr hab. inż. P. Lampart**
- dr hab. inż. J. Świrydczuk**
- dr hab. inż. J. Głuch**
- dr inż. M. Szymaniak**
- mgr inż. A. Nastalek**
- mgr inż. Ł. Jędrzejewski**
- mgr inż. A. Nastalek**
- Prof. dr hab. inż. J. Krzyżanowski - emeryt**

Przedmiot badań

- ◆ Badania przepływu gazu lepkiego w turbinach z wykorzystaniem metod CFD
- ◆ Badania mechanizmów generacji strat w turbinach osiowych i promieniowych, w tym też strat nieszczelności
- ◆ Badania oddziaływania niestacjonarnego typu kierownica – wirnik
- ◆ Redukcja niestacjonarnych obciążeń stopnia regulacyjnego turbiny związanych z cyklem zasilania częściowego
- ◆ Badania turbin parowych pracujących w zakresie zmiennych obciążeń (rozruchy, zatrzymania)
- ◆ Optymalizacja sprawnościowa układów przepływowych turbin
- ◆ Rozwój metod diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych
- ◆ Analiza możliwości regulacji wody chłodzącej w obiegach cieplnych turbin parowych
- ◆ Prace nad ulepszeniem instytutowej licencji nowego stopnia turbiny parowej przed upustem regeneracyjnym

Uzyskane rezultaty

- ◆ Przeprowadzono analizę różnych modeli matematycznych przepływu pary w turbinie i ich realizacji numerycznych dla wykorzystania w procesie projektowania. Weryfikacje obliczeń oparto o eksperymenty, także własne. Prace dotyczyły:
 - szczegółowej oceny strat energetycznych,
 - określenia zjawisk niestacjonarnych, w tym analizy wpływu modeli turbulencji
 - oceny niesymetrii obwodowej,
 - badania stanów rozruchów i zatrzymań,
- ◆ Opisano niestacjonarne obciążenia łopatek wirnikowych stopnia regulacyjnego w cyklu zasilania częściowego
- ◆ Określono efektywność procesu nagrzewania turbiny przeciwprężnej w trakcie rozruchu
- ◆ Rozbudowano program optymalizacji sprawnościowej układów łopatkowych turbin o procedury parametryzacji i optymalizacji profili
- ◆ Określono ekonomicznie opłacalne zakresy zmian parametrów pracy regulowanych pomp wody chłodzącej turbin 200 MW
- ◆ Wykorzystano metodę sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce cieplno-przepływowej turbin parowych dla określenia miejsc i stopnia degradacji aparatów składowych, w oparciu o bieżące pomiary
- ◆ Wdrożono na bloku w elektrowni Połaniec instytutowe rozwiązanie stopnia w części NP turbiny 13K-225 z wylotem ND- 41 firmy Alstom

Publikacje

łącznie w ramach zadania i projektów – 20, w tym 4 z listy filadelfijskiej:

- ◆ Świryczuk J., *Two vortex interaction patterns in a turbine rotor*, Polish Maritime Research, Vol. 60, No. 2 (2009), pp. 45-53
- ◆ Wróblewski. W., Dykas S., Gardzilewicz A., Kolovratnik P., *Numerical and experimental investigation of steam condensation in PL part of large power turbine*. Journal of Fluids Engineering, Trans. ASME, Vol. 131, No. 4 (2009)
- ◆ Lampart P., *Investigation of endwall flows and losses in axial turbines, Part I. Formation of endwall flows and losses*, J. Theoret. Appl. Mech, Vol. 47, No 2 (2009), pp. 321-342
- ◆ Lampart P., *Investigation of endwall flows and losses in axial turbines, Part II. The effect of geometrical and flow parameters*, J. Theoret. Appl. Mech, Vol. 47, No 4 (2009), pp. 829-853

Projekty badawcze

własne MNiSW: 3 (w tym 1 PBZ)

koordynacja POIG: 3.1. S2B

NORWAY GRANTS: Rozwój Energetyczny Gmin w zgodzie z Naturą

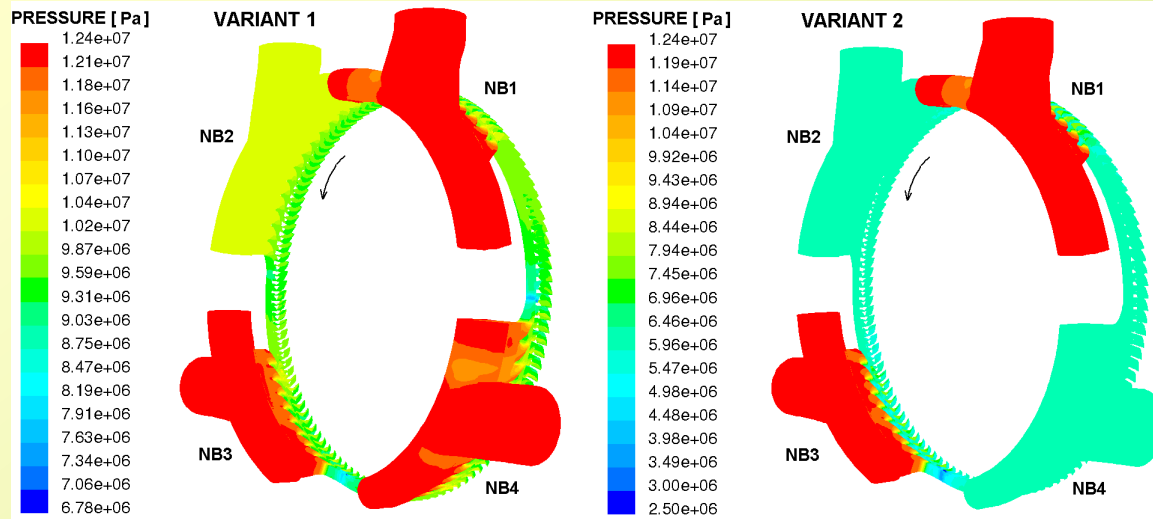
udział POIG: 1.1 - Modelowe kompleksy agroenergetyczne...

INTERREG: BioENERGY PROMOTION

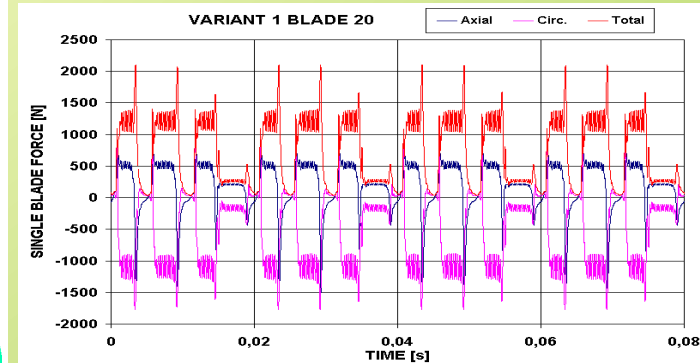
NORWAY GRANTS: Energy Conservation without Borders

Wdrożenia: Licencja stopnia w turbinie parowej 225 MW w El. Połaniec

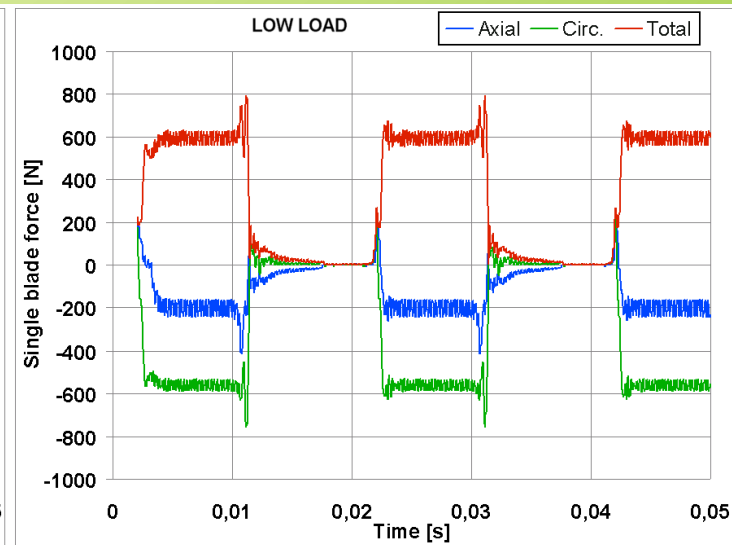
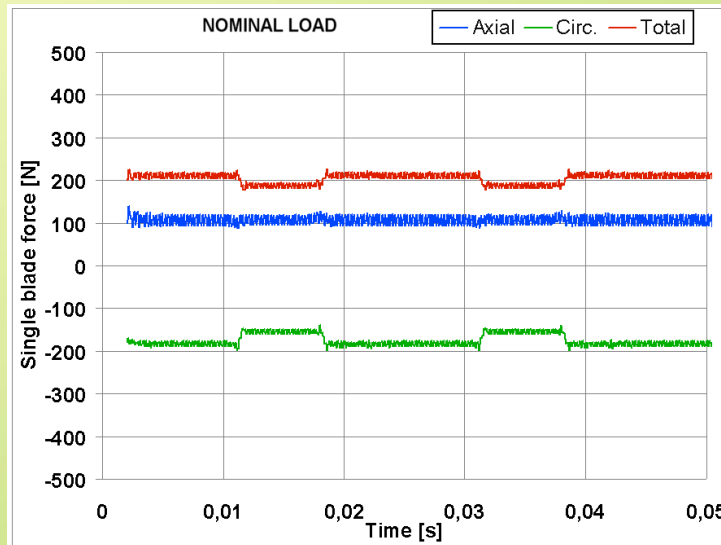
Redukcja niestacjonarnych obciążeń stopnia regulacyjnego turbiny



Kontury ciśnienia



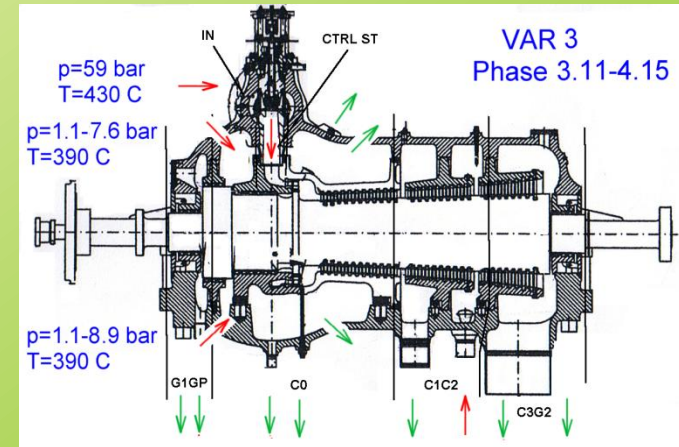
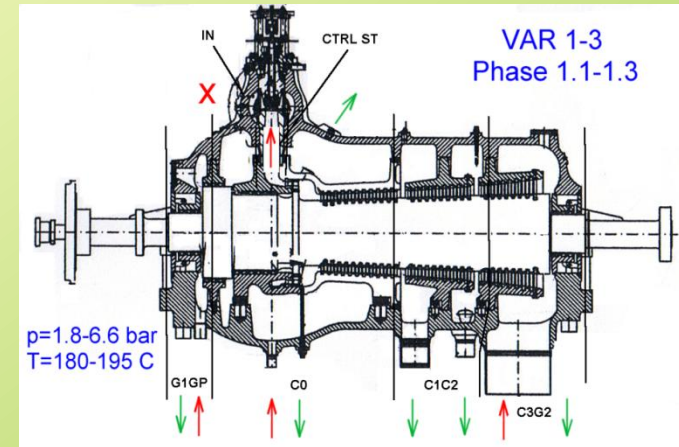
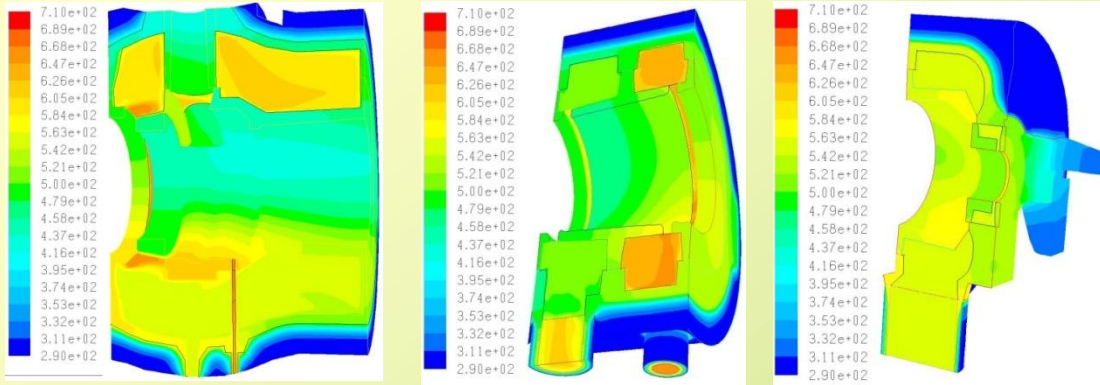
Siły niestacjonarne
– typowy stopień regulacyjny



Siły niestacjonarne – stopień regulacyjny nowej konstrukcji

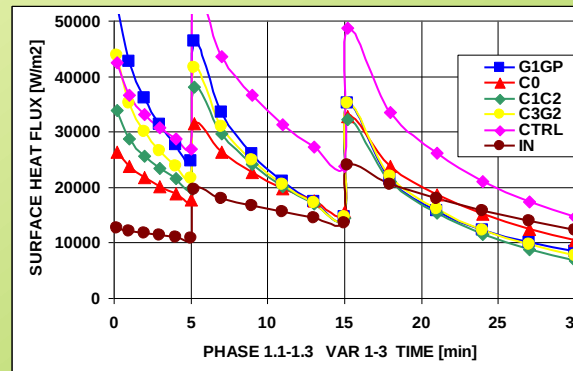
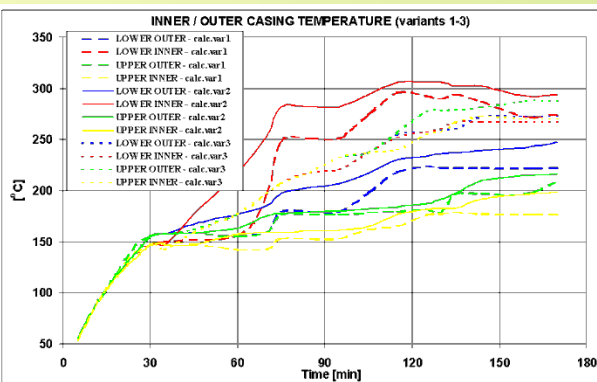
Nagrzewanie turbiny parowej przy rozruchu

P. Lampart, M. Szymaniak



Schemat nagrzewania turbiny

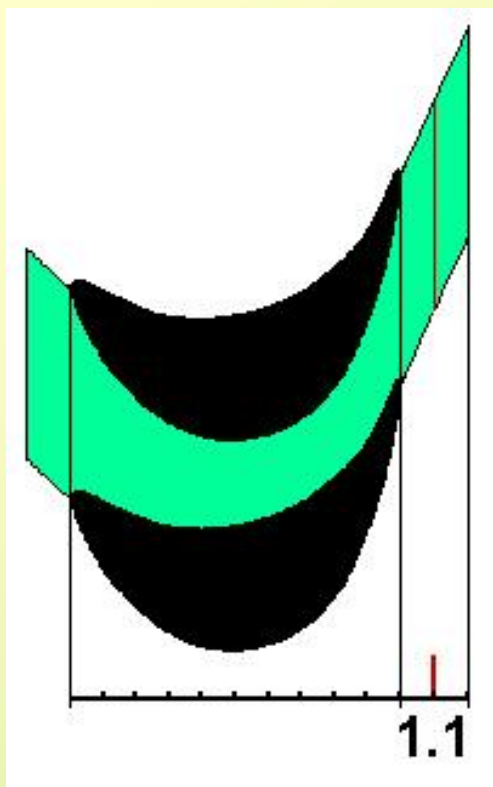
Temperatura w płynie i metalu (oraz izolacji) - faza 6 rozruchu turbiny



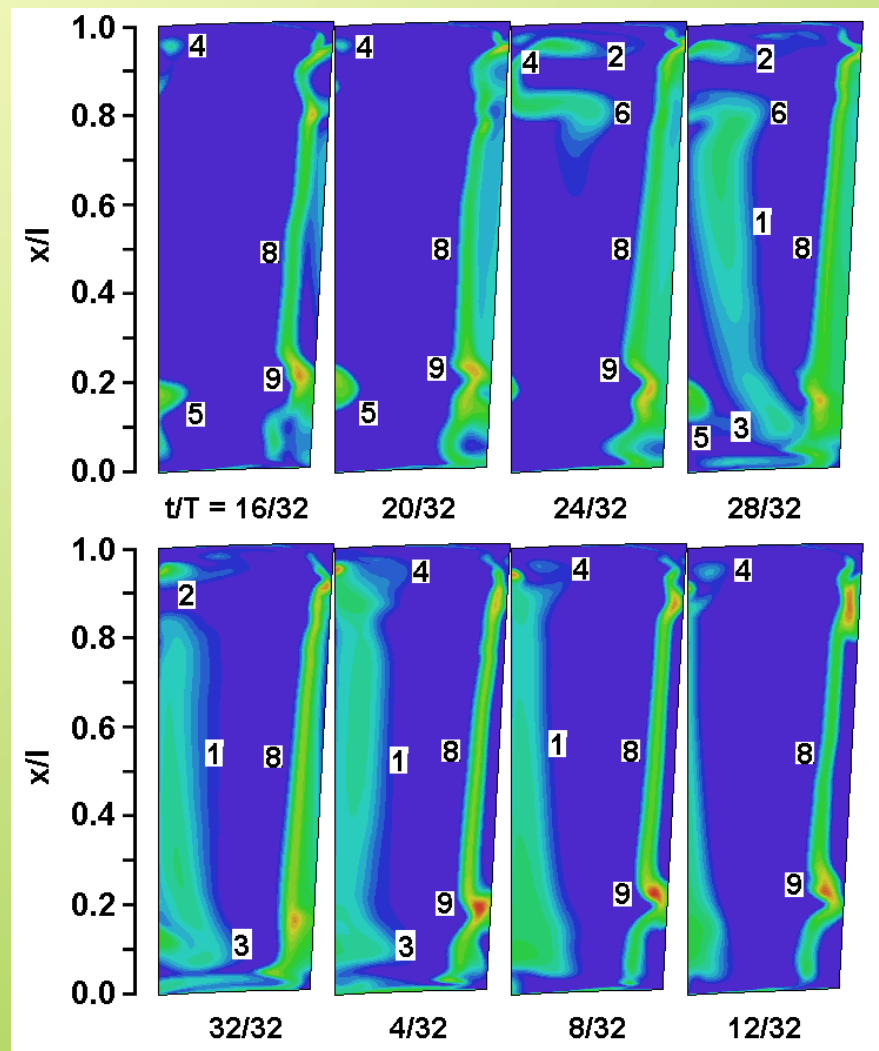
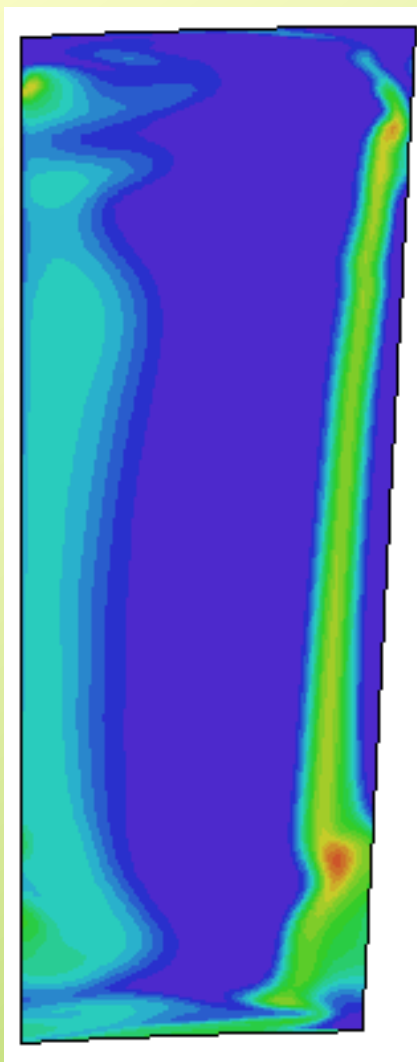
Temperatura metalu
(porównanie z eksperymentem)

Strumień ciepła na powierzchni
korpusów (przepływ z
kondensacją błonową)

Analiza przepływów niestacjonarnych w stopniu turbinowym: $z/c_z = 1.1$



Produkcja entropii



1 – stator wake
2, 3 – stator passage vortices

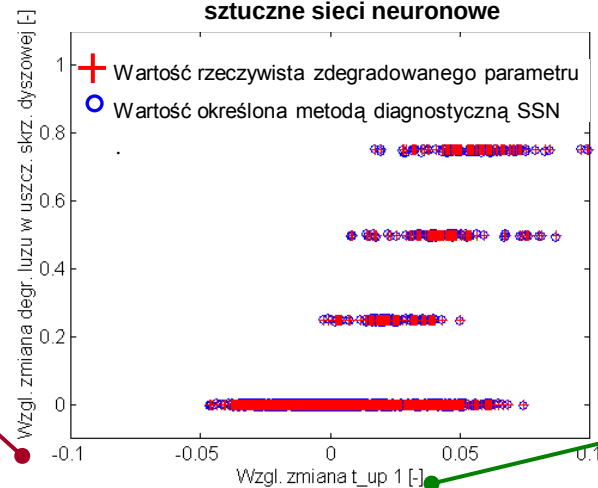
4, 5 – rotor passage vortices
6, 7 – stator trailing shed vortices
8 – rotor wake
9 – rotor trailing shed vortices

Nowoczesne metody diagnostyki ciepłno-przepływowej parowych turbozespołów energetycznych

Przykłady zastosowań sztucznych sieci neuronowych dla diagnostyki ciepłno-przepływowej



Rozpoznawanie rozmiaru degradacji przez sztuczne sieci neuronowe



Przykład parametru określającego rozmiar degradacji (WYJŚCIE)

Przykład odchyłki parametru ciepłno-przepływowego spowodowanej degradacją geometrii (WEJŚCIE)

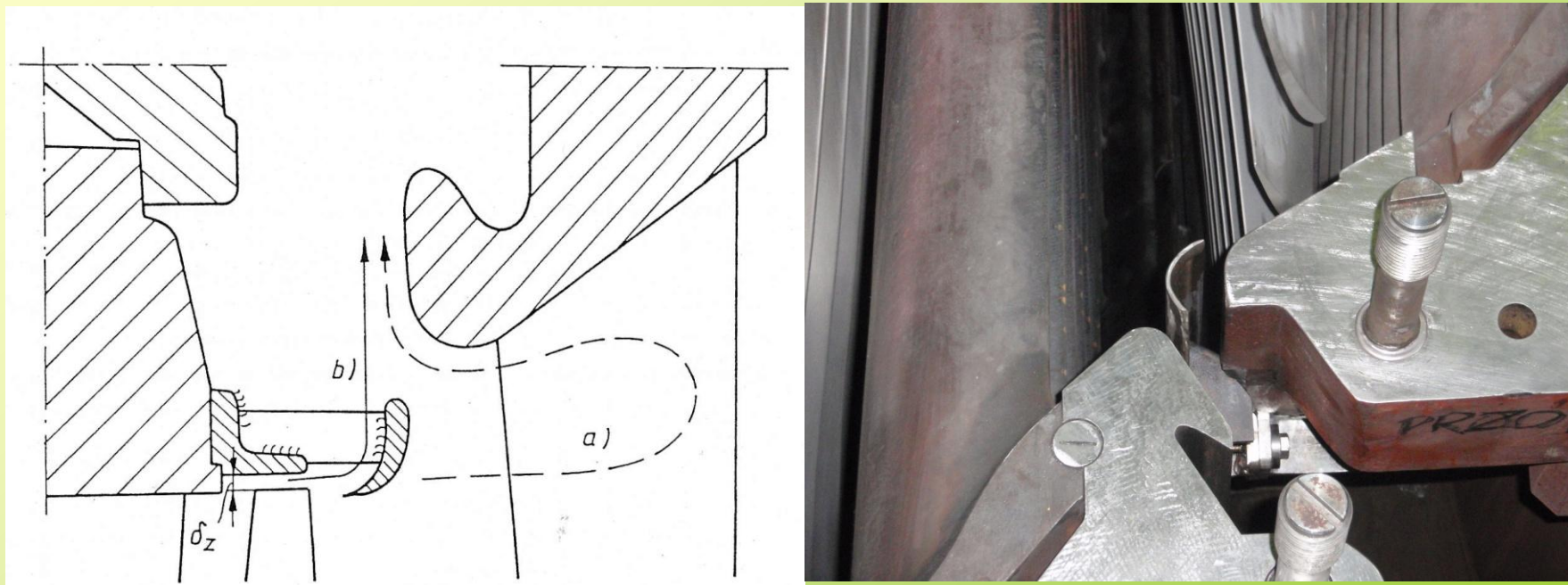
W badaniach pokazano, że:

- ◆ zastosowanie sztucznych sieci neuronowych (SSN) jako metody sztucznej inteligencji dla relacji diagnostycznych jest wystarczająco dokładne w diagnostyce ciepłno-przepływowej przy degradacjach wielokrotnych,
- ◆ rozwijana metoda diagnostyki ciepłno-przepływowej pozwala, obok detekcji i lokalizacji, również na określenie rozmiaru degradacji przy degradacjach wielokrotnych,
- ◆ można odtwarzać wzorce fluktuacji wskaźnika sprawności przez SSN dla diagnostyki on-line.

Wdrożenie nowego rozwiązania przed upustem regeneracyjnym w części NP turbiny 225 MW blok nr 3 w elektrowni Połaniec

Prof. dr hab. inż. Andrzej Gardzilewicz (kierownik zespołu)

dr inż. M. Szymaniak, dr inż. A. Pałzewicz, dr hab. inż. J. Gluch, mgr inż. St. Marcinkowski,



Sprawnościowo-eksploatacyjne zalety stosowania pierścienia wg patentu P-106-805:

- ♦ eliminacja zawirowań za stopniem w płaszczyźnie merydionalnej i obwodowej
- ♦ eliminacja mieszania dwóch strumieni przepływu głównego z przeciekiem
- ♦ wykorzystanie wyższej energii przecieku nad łopatkowego w upuście regeneracyjnym
- ♦ zmniejszenie erozji przez efektywną separację kropel wody
- ♦ niska cena w porównaniu z innymi rozwiązaniami

Przepływy pod- i naddźwiękowe z silnymi oddziaływaniami

Wykonawcy:

Prof. dr hab. inż. Piotr Doerffer, kierownik zadania
dr inż. Ryszard Szwaba
mgr inż. Oskar Szulc
mgr inż. Jan Artur Szumski
mgr inż. Tomasz Lewandowski
mgr inż. Janusz Telega

dr hab. inż. Zygmunt Wierciński
dr inż. Jacek Żabski,
mgr inż. J. Jurkowska

Przedmiot badań

- ◆ przeciwdziałanie oderwaniu na podciśnieniowej stronie łopatki turbinowej przez zastosowanie generatorów strumieniowych (Flaszyński, Szwaba)
- ◆ likwidacja fali uderzeniowej przez pasywną wentylację (Szulc)
- ◆ pomiary wirów wzdłużnych generowanych przez skośny jet (Szwaba, Flaszyński, Telega)
- ◆ numeryczne i eksperymentalne określenie charakterystyk przepływu przez perforowane ściany o różnej porowatości (Lewandowski, Szumski)
- ◆ doskonalenie metody pomiaru ciśnienia przy pomocy farby (PSP) (Szumski, Telega, Szwaba)
- ◆ badania eksperymentalne mikroprzepływów (Ochrymiuk, Szwaba)
- ◆ badanie przejścia laminarno-turbulentnego (PLT) typu by-pass, spowodowanego podwyższoną turbulencją strumienia zewnętrznego, a w szczególności wpływu intensywności i skali turbulencji na PLT
- ◆ badanie zjawisk przepływowych w sytuacji oddziaływania ujemnego i dodatniego strumienia (jetu) z warstwą przyścienną

Uzyskane rezultaty

A: Przepływy pod- i naddźwiękowe z silnymi oddziaływaniami

- ◆ Określono warunki oderwania na łopatkach z otworami chłodzącymi i z generatorami wirów w nowej komorze pomiarowej
- ◆ Określono niestacjonarne efekty oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścienną przy liczbie Macha $M = 1.35$ i $M = 1.45$
- ◆ Wyznaczono charakterystyki przepływów przez perforowane ściany o różnych geometriach perforacji z przepływem stycznym
- ◆ Zbudowano i uruchomiono nowe stanowisko pomiarowe do badania mikroprzepływów

B: Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

- ◆ Wyznaczono korelację początku przejścia laminarno-turbulentnego (PLT) z uwzględnieniem jednoczesnego wpływu intensywności i skali turbulencji
- ◆ Wykorzystano dystrybuanty rozkładu Weibulla do wyznaczenia korelacji początku PLT
- ◆ Zidentyfikowano fale Tollmiena-Schlichtinga w warstwie przyściennej, w obszarze pomiędzy ujemnym i dodatnim jetem

Publikacje

A: Przepływy pod- i naddźwiękowe z silnymi oddziaływaniami

łącznie - 17, w tym najważniejsze:

wykłady zaproszone w celu przedstawienia projektu UFAST:

- **EUCASS** – European Conference on Aerospace Sciences, 6-9.VII,2009, Versailles, Paryż
- **ISSW** – 27th International Symposium on Shock Waves, 17-24.VII.2009, St. Petersburg, Rosja
- **Hybrid RANS-LES** - 3rd Symposium on Hybrid RANS-LES Methods, 10-12.VI. 2009, Gdańsk
- ❑ P. Doerffer, O. Szulc, *Numerical Simulation of Model Helicopter Rotor in Hover*, TASK QUARTERLY, Vol.12, No. 3 (2009), Gdańsk
- ❑ T. Lewandowski, S. Jebauer, J. Czerwińska, P. Doerffer, *Entrance Effects in Microchannel Gas Flow*, Journal of Thermal Science (Springer), Vol. 18, No.4 (2009)
- ❑ R. Szwaba, *Shock Wave Induced Separation Control by Air-Jet Vortex Generators in the Curved Nozzle*, XIX International Symposium on Air Breathing Engine (ISABE), Montreal, Kanada, 7-11.IX.2009
- ❑ R. Szwaba, *Separation control on cooled turbine blades*, Proc. of 23rd Turbomachinery Conference, Pilzen VIII.2009, Czechy
- ❑ P. Flaszyński, R. Szwaba, *Optimization of Streamwise Vortex Generator*, Developments in Mechanical Engineering, Vol. 2 (2008), Gdańsk University of Technology Publishers
- ❑ J. A. Szumski, P. Doerffer, *Experimental investigation on transpiration through perforated wall with presence of the transonic tangential stream*, 80th Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM), 9-13.II.2009, Politechnika Gdańska

Publikacje

B: Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

łącznie - 8, w tym najważniejsze:

- ◆ Żabski J., Wierciński Z., *Influence of the negative and positive jet of wake on laminar-turbulent transition*, J. Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 47, No. 4, pp. 797-814.
- ◆ Wierciński Z., Kaiser M., Żabski J., *Extended Reynolds Analogy for Different Flow Conditions of the Heated Plate*, Transactions of The Institute of Aviation, 4/2007 (191), pp. 83-91
- ◆ Wierciński Z., *Wavelet analysis of the wake negative and positive jets influence on the laminar-turbulent transition*, ERCOFTAC Bulletin, Vol. 80, September 2009, pp. 20-23
- ◆ Wesołowski M., Skotnicka-Siepsiak A., Wierciński Z., *Analiza energii i egzergii domu niskoenergetycznego i pasywnego*, Czasopismo Techniczne, Politechnika Krakowska, Zeszyt 5, 1-B/2009, pp. 251-260
- ◆ Wierciński Z., Żabski J., *Influence of the Wake Negative and Positive Jets on the Laminar-Turbulent Transition*, Proceedings 8th European Conference on Turbomachinery, 23-27.III.2009, Graz, Austria

Projekty badawcze

MNiSW – 1 (habilitacyjny - dr inż. Ryszard Szwaba, "Aplikacja strumieniowych generatorów wirów wzdluznych do redukcji oderwania w przeplywie naddzwiekowym")

SPUB – 3 (prof. P. Doerffer):

UE STREP – 3:

6 PR

Koordinacja

Akronim Projektu	Tytuł Koordynator
TLC	Towards Lean Combustion Snecma Moteurs
AITEB-2 zakończony	Aerothermal Investigation of Turbine Endwalls and Blades Rolls-Royce Deutschland
UFAST zakończony	Unsteady Effects Of Shock Wave Induced Separation Instytut Maszyn Przepływowych PAN Gdańsk

7PR UE
projekty
Level-1:

Akronim Projektu	Tytuł Koordynator
Capacity Report-2	Koordinacja projektu „IMP-Survey”
ERICKA	Engine Representative Internal Cooling Knowledge and Applications Rolls-Royce Deutschland

Projekty badawcze

B: Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Projekty badawcze zakończone w 2009 roku:

Promotorski MNiSW

Nr N51201831/2027 ” Wpływ gradientu ciśnienia na wymianę pędu i ciepła przy niestacjonarnym opływie grzanej płyty”

Zakończony obroną doktoratu mgr inż. Jacka Żabskiego w czerwcu 2009

Własny MNiSW

Nr N50105031/3369 „Wpływ skali turbulencji na przejście laminarno- turbulentne typu by-pass w aerotermicznej warstwie przyściennej”

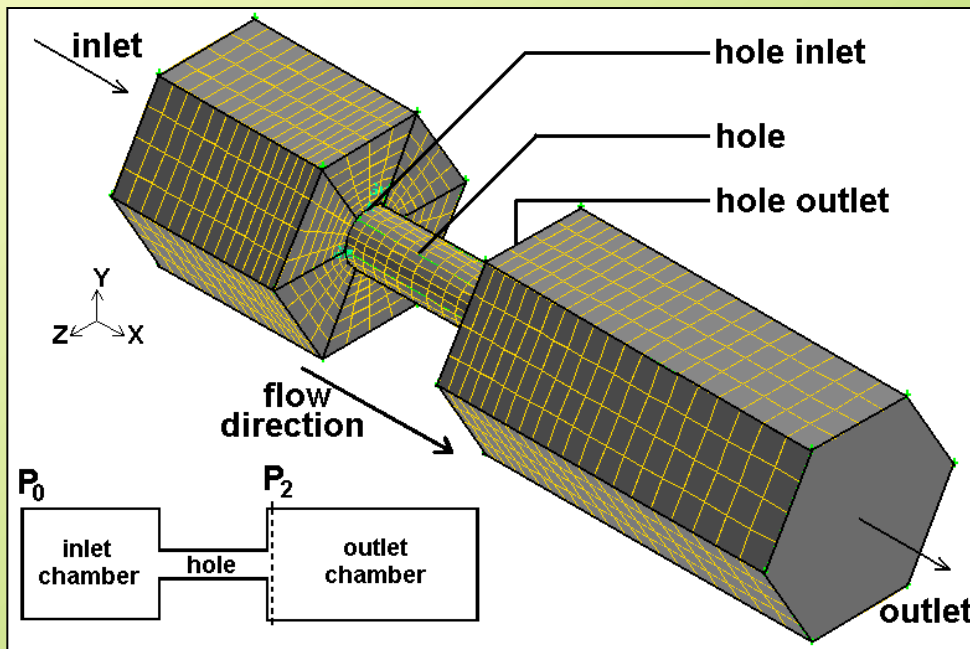
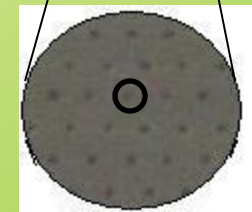
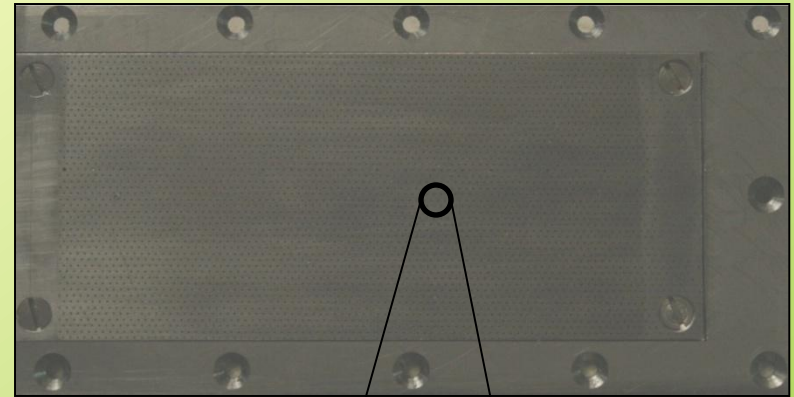
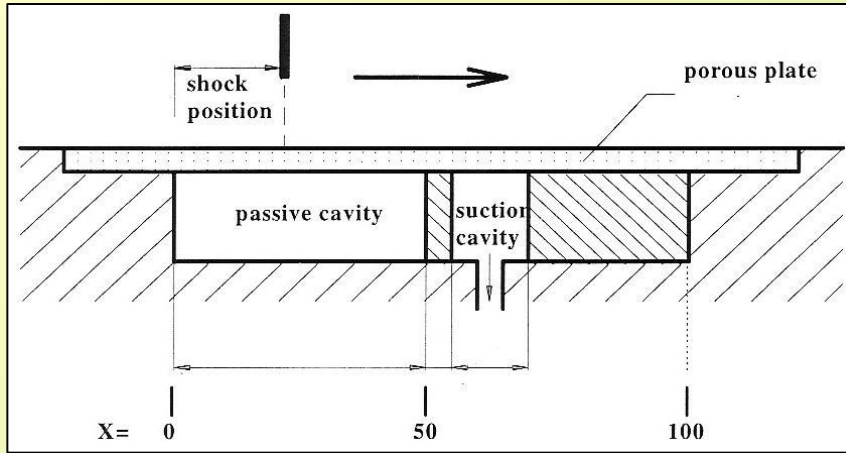
Inne wydarzenia:

Otwarcie przewodu doktorskiego mgr inż. Joanny Jurkowskiej nt.:

„Jednoczesny wpływ intensywności i skali turbulencji na parametry przejścia laminarno-turbulentnego typu by-pass”, październik 2009

Numeryczne i eksperymentalne określenie charakterystyk przepływu przez perforowane ściany

Badania eksperymentalne

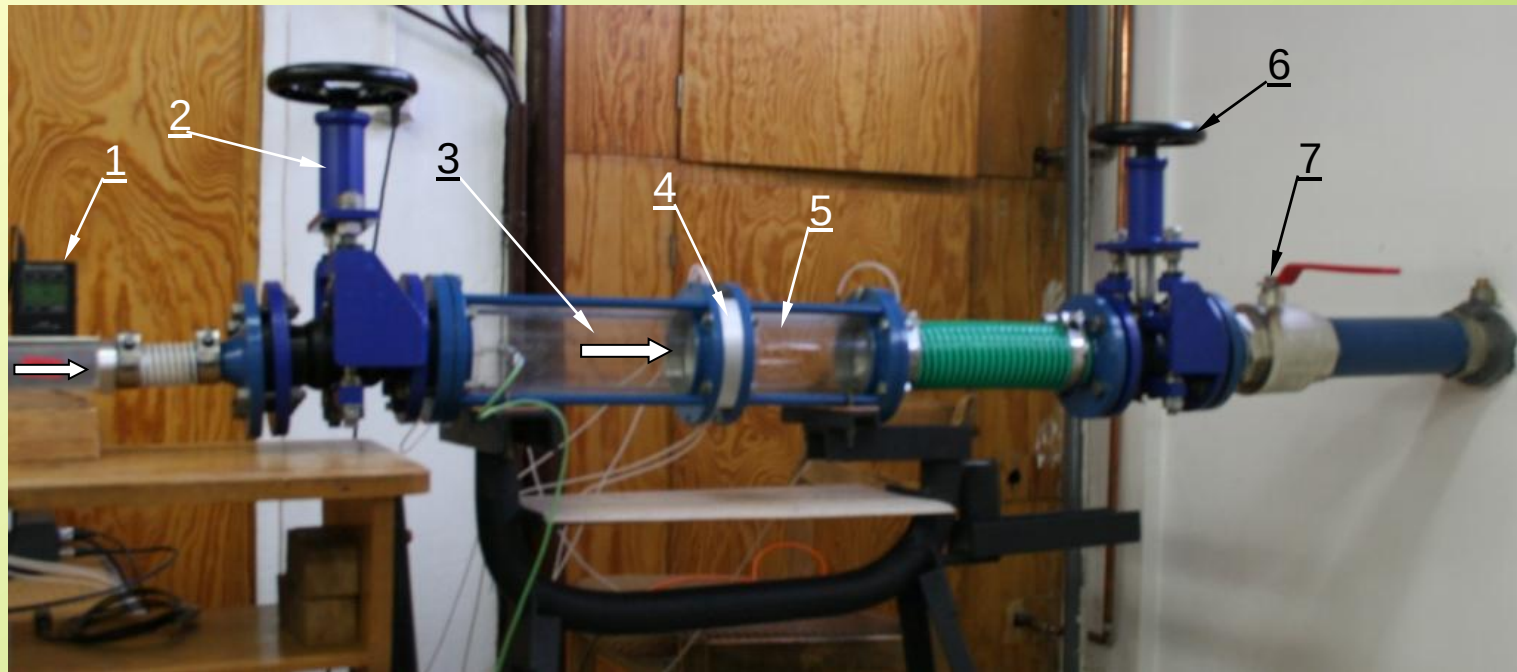


Euroshock model

$$M_{hole} = 1.2 \left(\frac{\Delta P}{P_0} \right)^{0.55}$$

CFD

Budowa i uruchomienie nowego stanowiska pomiarowego do badania mikroprzepływów przez perforowaną płytkę



Widok stanowiska pomiarowego

Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Wyznaczenie jednoczesnego wpływu intensywności i skali turbulencji na parametry PLT jest wciąż otwartym problemem mechaniki płynów i maszyn przepływowych, a także modelowania numerycznego, i w tej materii konieczne są badania eksperymentalne.

Nowość wykonanych badań polega na wykorzystaniu dwóch nowych parametrów opisujących odległość początku PLT od krawędzi natarcia płyty.

Tworzymy dwa nowe bezwymiarowe średnie całkowe parametry:

$$ITu_m = \frac{1}{x_t} \int_0^{x_t} Tu \, dx \quad ILu_{\delta^{**},m} = \frac{1}{x_t} \int_0^{x_t} \frac{Lu}{\delta^{**}} \, dx$$

granice całek:
0 - krawędź natarcia płyty,
 x_t - początek PLT

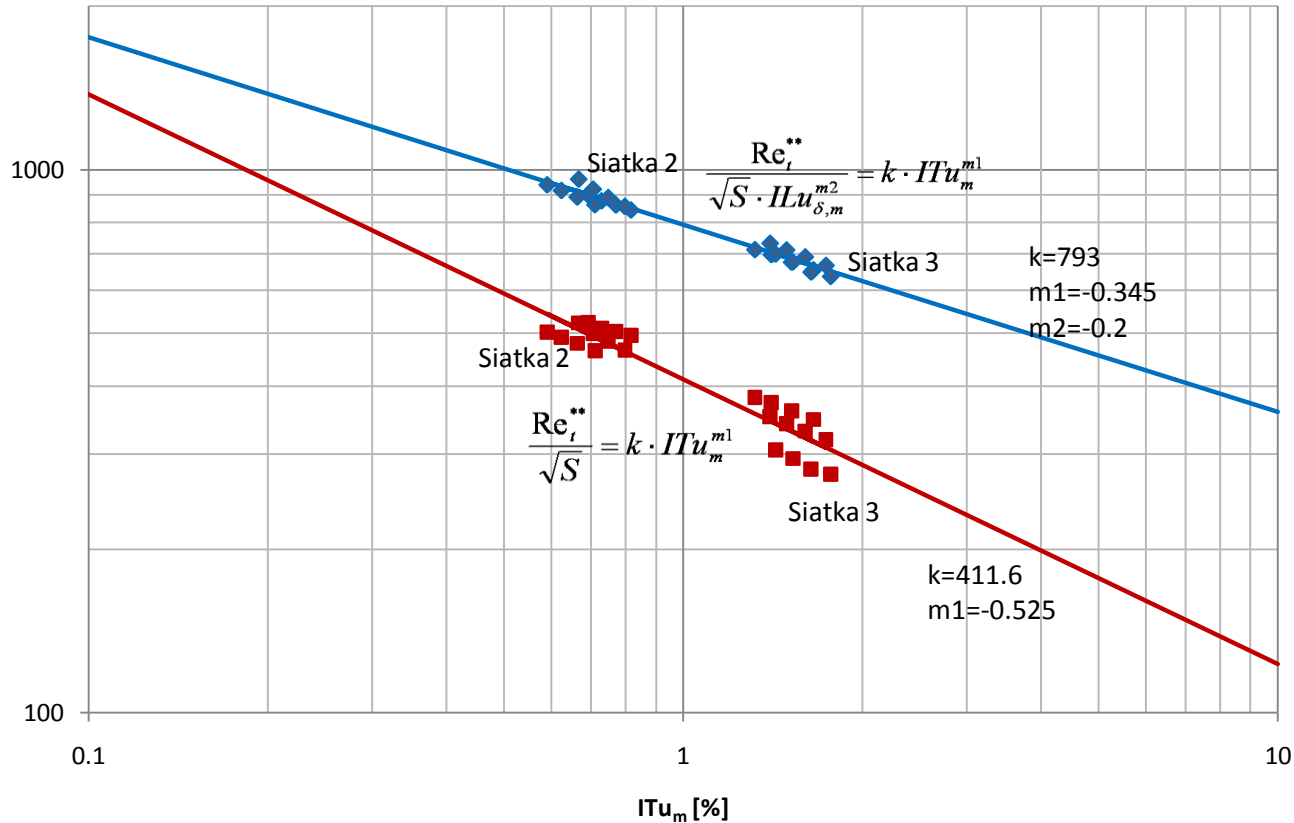
Korelacji na liczbę Reynoldsa początku przejścia laminarno-turbulentnego będziemy poszukiwali w formie:

$$Re_t^{**} = k \sqrt{S} \cdot ITu_m^{m1} \cdot ILu_{\delta^{**},m}^{m2}$$

Znajdujemy metodą regresji wartości trzech współczynników: k , $m1$ i $m2$, zaś S danym jest prześwitem siatki użytej do generacji turbulencji.

Przejście laminarno-turbulentne w maszynach przepływowych

Korelacja początku PLT Re_t^{**} w zależności od średniego całkowitego poziomu turbulencji ITu_m i całkowitej bezwymiarowej skali turbulencji $ILu_{\delta^{**},m}$



kolor **czerwony** - korelacja tylko z intensywnością turbulencji ITu_m i bez uwzględnienia wpływu skali ILu , kolor **niebieski** - korelacja z dodatkowym uwzględnieniem skali ILu_m (znacznie mniejszy rozrzut wyników)

Procesy ekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych, także z wykorzystaniem biomasy

Kierownik tematu: Dr Dariusz Kardaś

Modele procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych

Wykonawcy: **Prof. dr hab. inż. Janusz Badur, kierownik zadania**
 dr inż. Michał Karcz
 dr inż. Marcin Lemański
 mgr inż. Witold Zakrzewski
 Lucjan Nastalek (student)

Przedmiot badań

- ◆ **Modelowanie proekologicznego i elektrochemicznego spalania paliw**
- ◆ **Spalanie w kotłach pyłowych i fluidalnych – procesy gazyfikacji**
- ◆ **Zasady zrównoważonej konwersji energii ze szczególnym uwzględnieniem energii chemicznej**

Uzyskane rezultaty

- ◆ **Opracowanie rozszerzonej teorii konwersji energii**
- ◆ **Analiza wpływu parametrów geometrycznych charakteryzujących obszary porowate na pracę ogniwa typu SOFC**
- ◆ **Opracowanie metodologii obliczeń spalania paliwa ciekłego**

Publikacje

łącznie w ramach zadania – 11, w tym najważniejsze:

- ◆ J. Badur, *Rozwój pojęcia energii*, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk, 2009, pp. 1-1186
- ◆ J. Badur, *Book review: Energy Optimization in Process Systems*, Stanisław Sieniutycz, Jacek Jeżowski. Energy Conversion and Management, Vol. 51 (2010), pp. 621-622
- ◆ M. Karcz, *From 0D to 1D modeling of tubular solid oxide fuel cell*, Energy Conversion and Management, Vol. 50 (2009), pp. 2307-2315
- ◆ M. Karcz, *Electric current flux prediction in tubular fuel cell by means of 1D model*, Chemical and Process Engineering, Vol. 30 (2009), pp. 267-278

Projekty badawcze

KBN – 1

inne – 1 (TLC)

Prace dla przemysłu

ALSTOM – 2

MERCOR – 1

Doktoraty

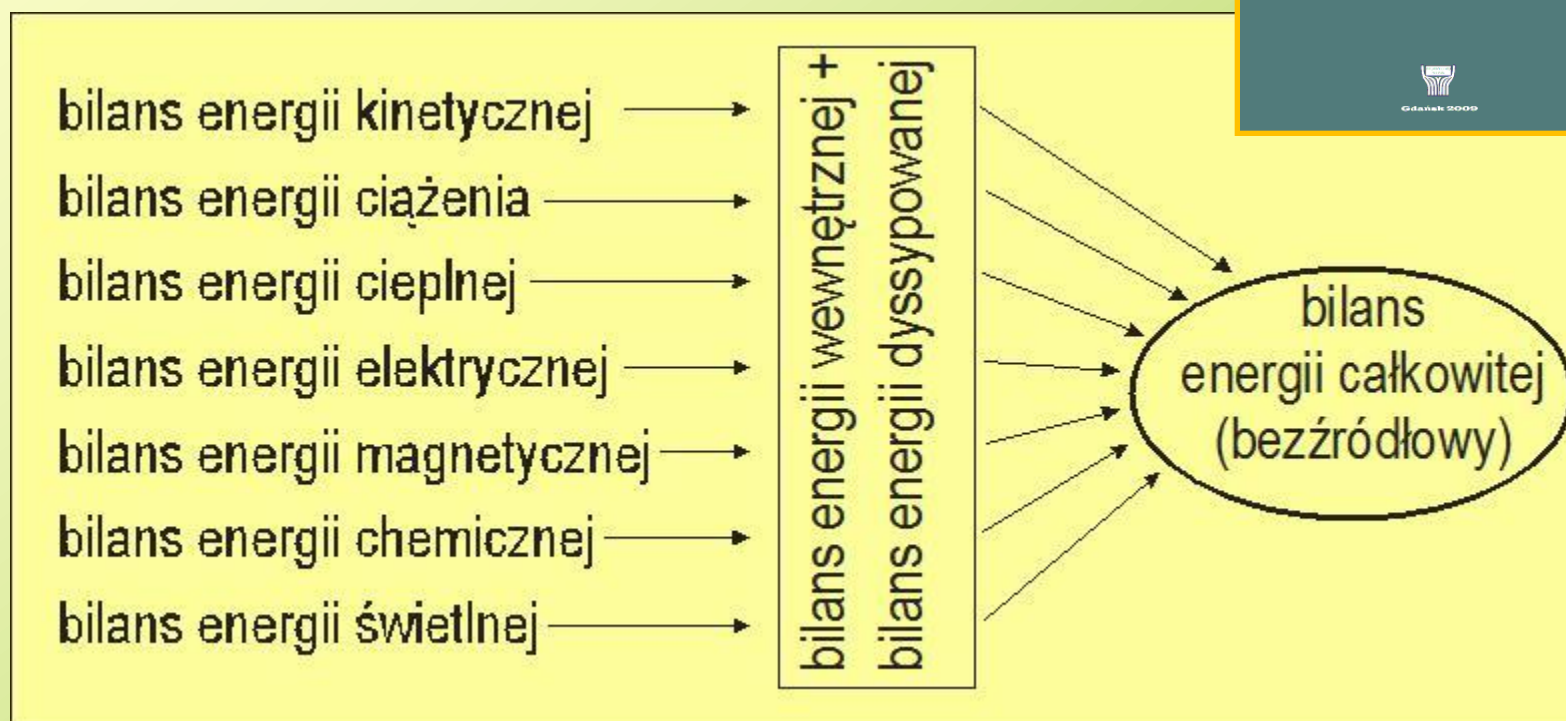
Sebastian Kowalczyk, *Trójwymiarowy model matematyczny reakcji elektrochemicznej w porowatych spiekach tlenkowego ogniwa paliwowego*, IMP PAN, Gdańsk 2009

promotor: Prof. Janusz Badur

Rozwój pojęcia energii

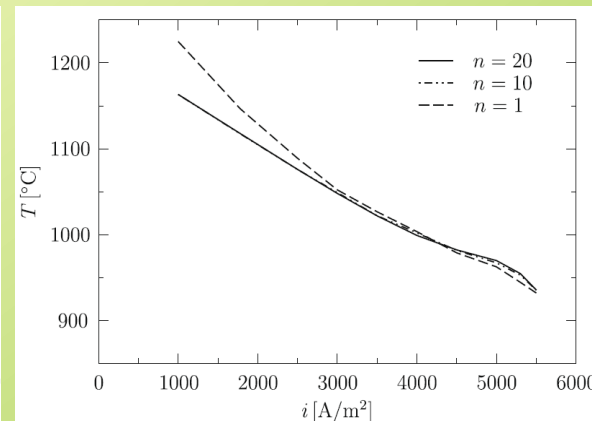
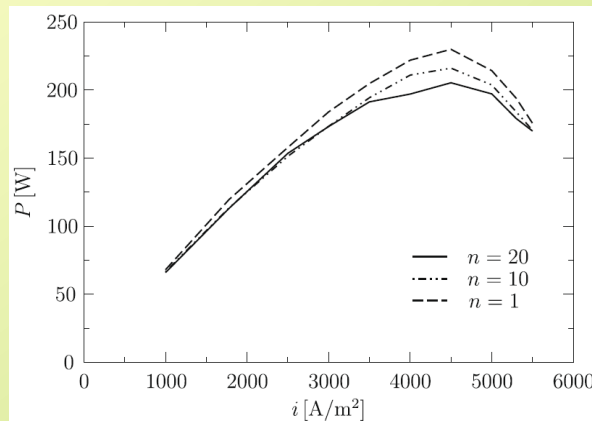
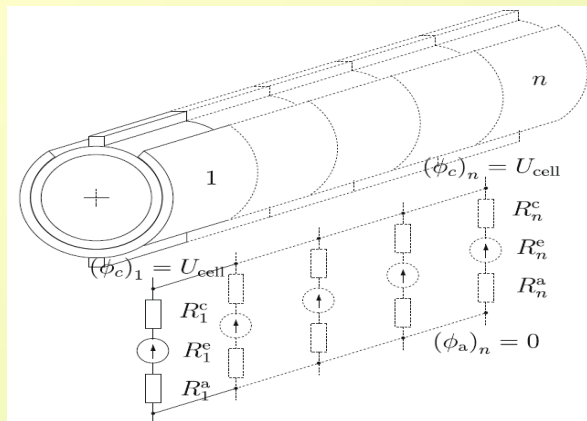
Janusz Badur

Rozwój pojęcia energii

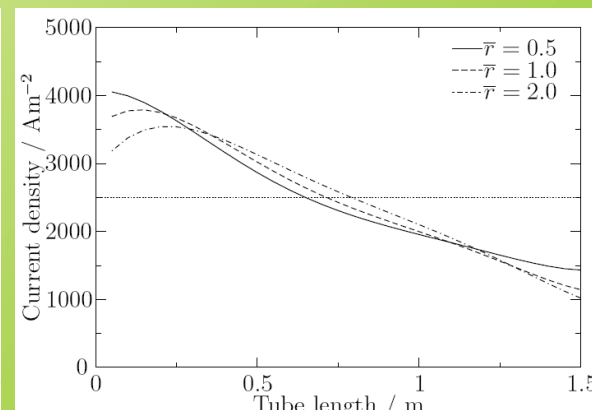
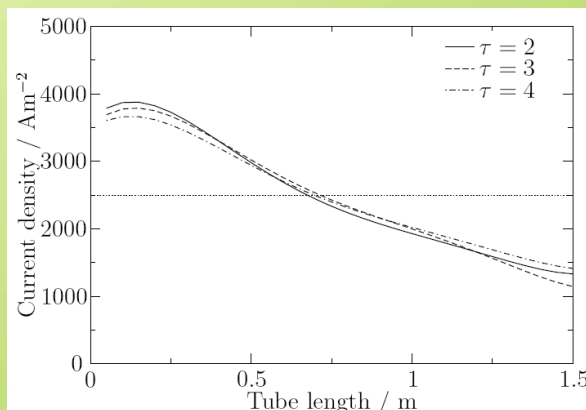
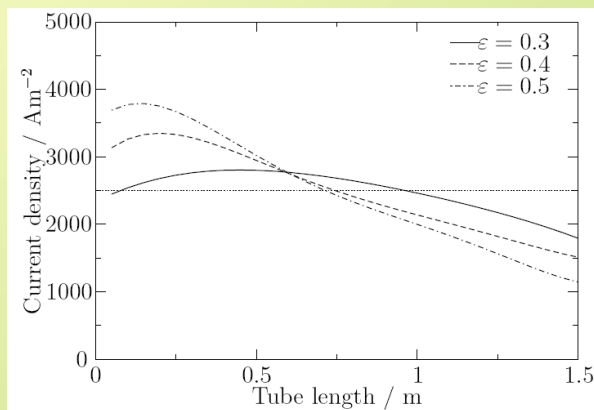


Nowa centralna rola bilansu energii w procesach konwersji

Modelowanie ogniwa paliwowego typu stałotlenkowego

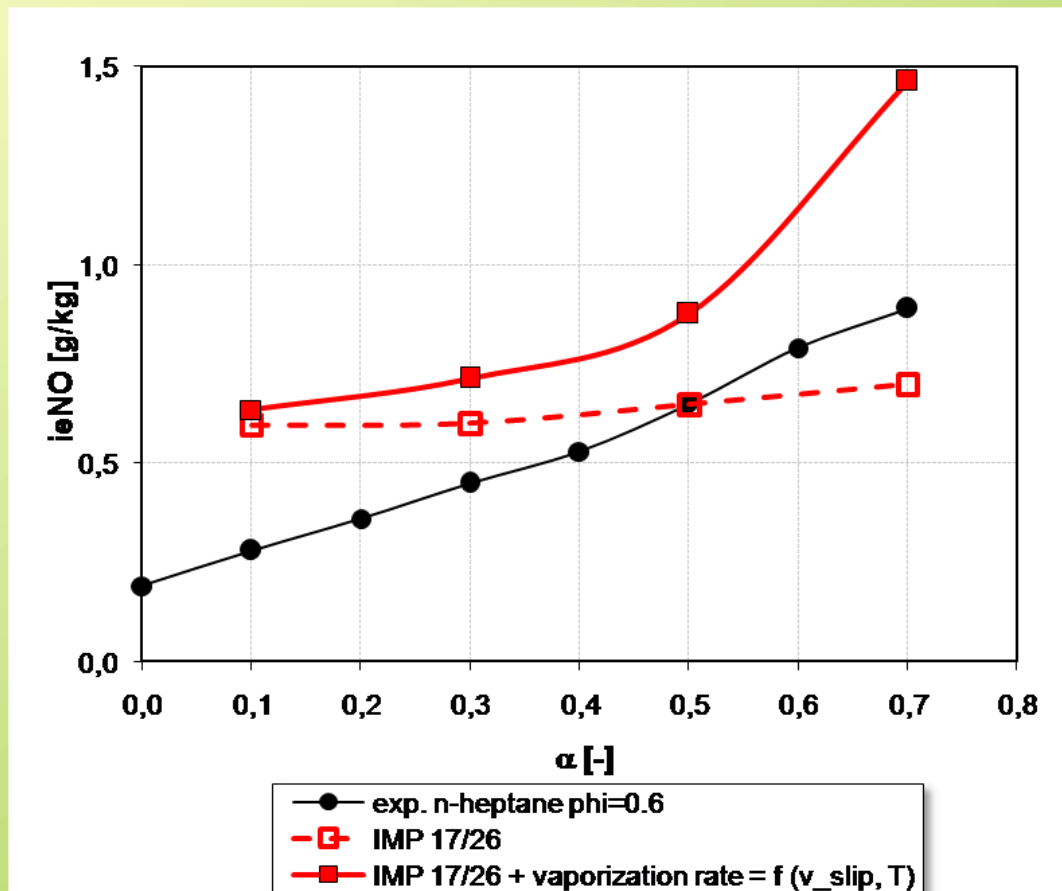
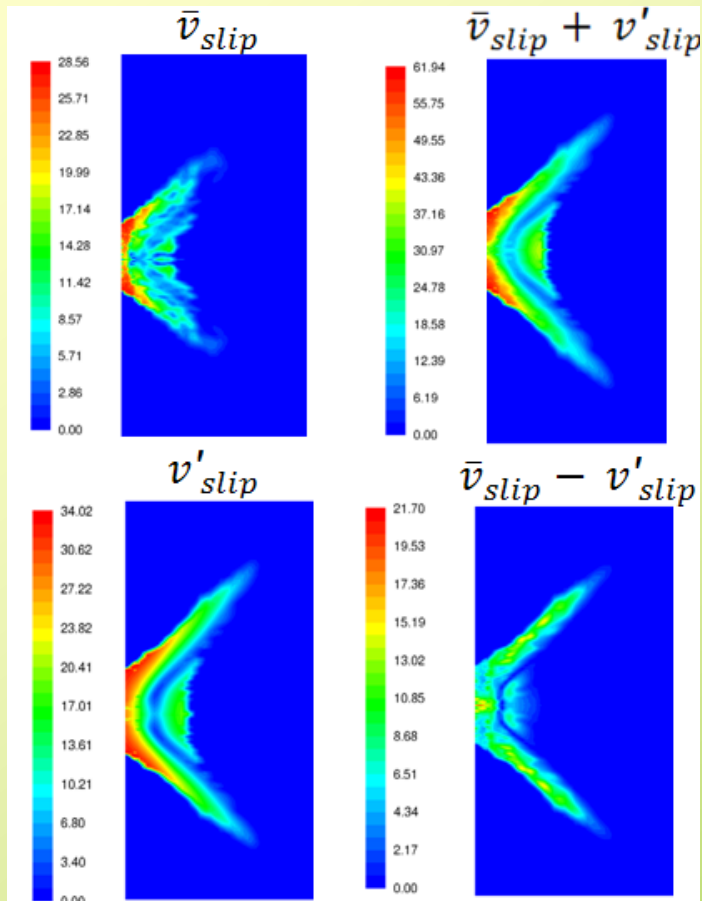


Wpływ dyskretyzacji na charakterystyki ogniwa rurkowego



Wpływ podstawowych parametrów geometrycznych obszaru porowatego na rozkład gęstości prądu

Spalanie paliwa ciekłego w palnikach turbin lotniczych



Implementacja modelu odparowania paliwa jako funkcji prędkości poślizgu i temperatury oraz analiza wpływu na predykcję emisji NOx

Transport energii i spalanie w przepływie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

Wykonawcy:

- dr inż. Dariusz Kardaś, kierownik zadania
- dr inż. Sylwia Polesek-Karczewska
- dr inż. Tomasz Ochrymiuk
- mgr inż. Izabela Wardach
- mgr inż. Tomasz Kamiński
- mgr inż. Jacek Kluska

Przedmiot badań

- ◆ Numeryczne modelowanie procesu termicznej konwersji węgla i biomasy
- ◆ Modelowanie transportu ciepła i masy w złożu porowatym w odniesieniu do kotłów na biomasę
- ◆ Badanie współspalania węgla i biomasy
- ◆ Optymalizacja konstrukcji palników pyłowych i ustawień dysz OFA
- ◆ Modelowanie procesów cieplno-przepływowych w kotłach energetycznych

Uzyskane rezultaty

- ◆ Modelowania procesów pirolizy i spalania biomasy w złożach upakowanych – własne oprogramowanie
- ◆ Wskazanie znaczenia efektów przepływowych na efektywność spalania pyłu węglowego.
- ◆ Uczestnictwo w tworzeniu projektu palnika pyłowego z podwyższonym stopniem zawirowania
- ◆ Modelowanie procesu zgazowania biomasy i projekt zgazowarki
- ◆ Implementacja własnych modeli zgazowania i spalania w kodach komercyjnych

Publikacje

łącznie w ramach zadania – 7 (+ ponad 30 raportów):

- ◆ D. Kardaś, S. Polesek-Karczewska, B. Mertas, *Modelowanie rozkładu temperatury w piecu koksowniczym*. Karbo, 3/2009, 151-155
- ◆ D. Kardaś, *Modelowanie procesów ciepłno-przepływowych w kotłach energetycznych*. Zeszyty Naukowe IMP PAN, 2009, w druku
- ◆ T. Kamiński, D. Kardaś, *Modelowanie zjawisk spalania i wymiany ciepła w kotle z olejowym czynnikiem chłodniczym*. VIII Warsztaty Wielofazowe, Wieżyca
- ◆ J. Kluska, D. Kardaś, *Przegląd rozwiązań technicznych i zjawisk fizyko-chemicznych w reaktorach zgazowanych na biomasę*. VIII Warsztaty Wielofazowe
- ◆ D. Kardaś, *Pressure wave propagation of compressible viscous fluid*. GAMM2009, Gdańsk, 9-13 luty 2009, prezentacja: I. Wardach

Projekty badawcze

MNiSW – 1

**Uczestnictwo w przygotowywaniu
i prowadzeniu kilku projektów IMP PAN**

Prace dla przemysłu

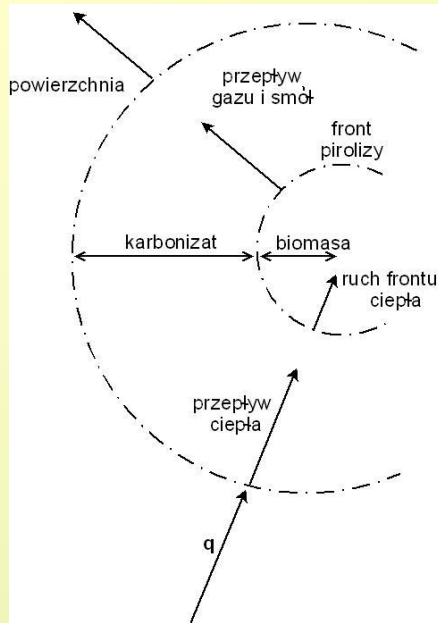
ICHPW – 4

EC Wybrzeże – 2

Baltic Malt -2

Promat -1

Analiza i modelowanie procesu pirolizy oraz spalania pojedynczej cząsteczki paliwa stałego



Charakter procesu

- ☐ reakcje objętościowe, powierzchniowe, międzyfazowe
- ☐ wieloskładnikowość i wielofazowość
- ☐ dyfuzja i konwekcja gazu w porach
- ☐ transport masy i ciepła
- ☐ przewodzenie i radiacja

Sferyczny układ współrzędnych

$$\frac{d(1 - \epsilon)\rho_s}{dt} = \dot{S}_s \quad \text{faza stała nieruchoma}$$

równania zachowania masy

$$\frac{\partial \epsilon \rho_g}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \epsilon \rho_g u) = \dot{S}_g \quad \text{faza gazowa}$$

+ poszczególne składniki $k=1, \dots, n_g$.

$$\frac{\partial \epsilon \rho_g Y_k}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \epsilon \rho_g Y_k u - r^2 \rho_g D_{eff}^{(k)} \frac{\partial Y_k}{\partial r} \right) = \dot{S}_{g,k}$$

Rys. Schematyczne przedstawienie zjawisk transportu podczas procesu pirolizy

$$\frac{\partial \rho_g u}{\partial t} + \epsilon \left[\frac{\partial}{\partial r} (\rho_g u^2) \right] = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \mu_{eff} \left(2 \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{2}{3} \Pi \right) \right] + \frac{4}{3} \frac{\mu_{eff} \Pi}{r} - 4 \frac{\mu_{eff} u}{r^2}$$

równanie zachowania pędu

$$(1 - \epsilon) \rho_s c \frac{\partial T}{\partial t} + \epsilon \rho_g c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \epsilon \rho_g c_p u \text{grad} T = \frac{\partial p}{\partial t} + u \text{grad} p + \lambda_{eff} \text{div grad} T + \text{grad} T \text{grad} \lambda_{eff}$$

równanie zachowania energii

Modelowanie procesu pirolizy

Człony źródłowe – równanie Arrheniusa

faza stała

$$\dot{S}_s = -(1 - \epsilon)\rho_s k_s \exp\left(-\frac{E_{a,s}}{RT_s}\right)$$

faza gazowa

$$\dot{S}_g = \epsilon\rho_g k_g \exp\left(-\frac{E_{a,g}}{RT_g^n}\right)$$

$$\dot{S}_g = -\dot{S}_s$$

składniki gazowe

$$\dot{S}_{g,k} = \epsilon\rho_g Y_k k_{g,k} \exp\left(-\frac{E_{a,g,k}}{RT_{g,k}}\right)$$

$$\sum_{k=1}^{ng} Y_k = 1$$

równanie stanu Clapeyrona

$$p = \epsilon\rho_g \sum_{k=1}^{ng} \frac{Y_k}{M_k} R_u T$$

Parametry cieplno-przepływowe efektywne

$$D_{eff}^{(k)} = \epsilon D^{(k)}$$

$$\mu_{eff} = \epsilon \sum_{k=1}^{ng} Y_k \mu^{(k)}$$

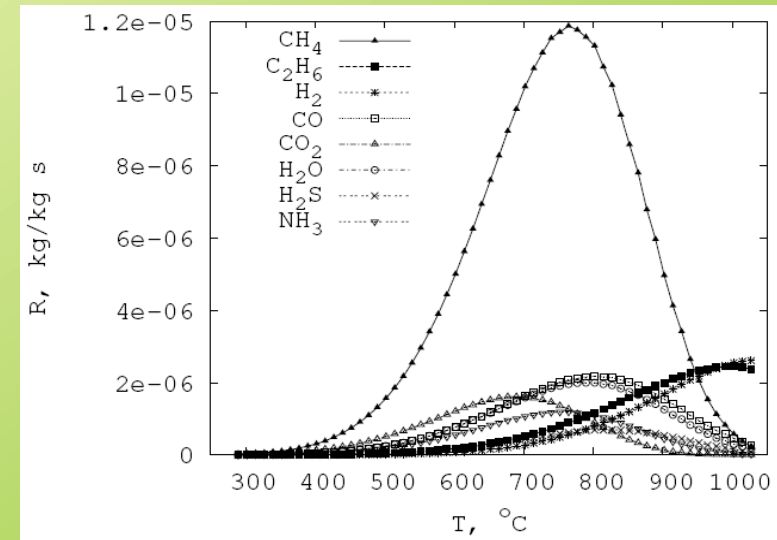
dyfuzyjność

lepkość molekularna

$$\lambda_{eff} = (1 - \epsilon)(\lambda_s + \lambda_{rad}) + \epsilon \sum_{i=1}^{ng} Y_k \lambda_k$$

$$\lambda_{rad} = \frac{\sigma d}{\omega} T^3$$

przewodność cieplna

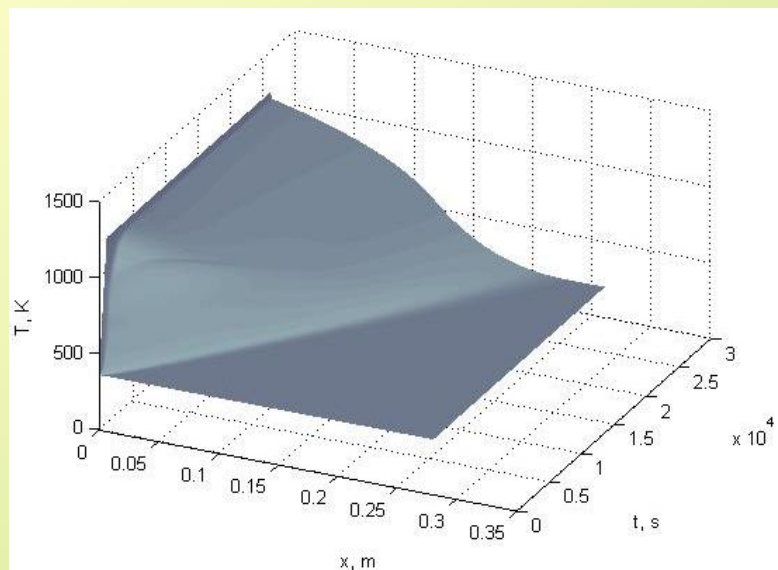


Rys. Typowe krzywe szybkości pirolizy (odgazowania) w funkcji temperatury dla węgla.

Relaksacyjny model wymiany ciepła w złożu porowatym

Równanie przewodzenia ciepła:

$$\theta \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T, \quad \alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$$



Rys. Obliczony rozkład temperatury we wsadzie węglowym w funkcji czasu i odległości od ścianki, *D. Kardaś, S. Polesek-Karczewska, B. Mertas, KARBO, 3/2009, 151-155.*

Dla uśrednionych własności ośrodka:

• gęstość:

$$\rho = (1 - \alpha_g) \rho_s + \alpha_g \rho_g$$

• współczynnik przewodzenia ciepła:

$$\lambda = (1 - \alpha_g) \lambda_s + \alpha_g \lambda_g$$

• ciepło właściwe:

$$c = X_s c_s + X_g c_g$$

• energia wewnętrzna:

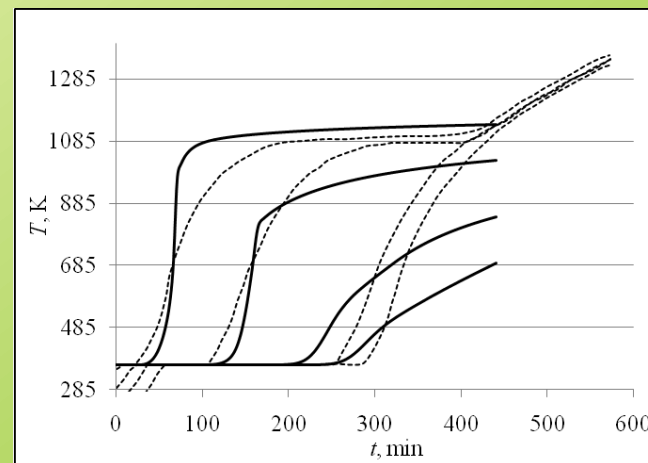
$$u = X_s u_s + X_g u_g$$

s – faza stała

g – faza gazowa

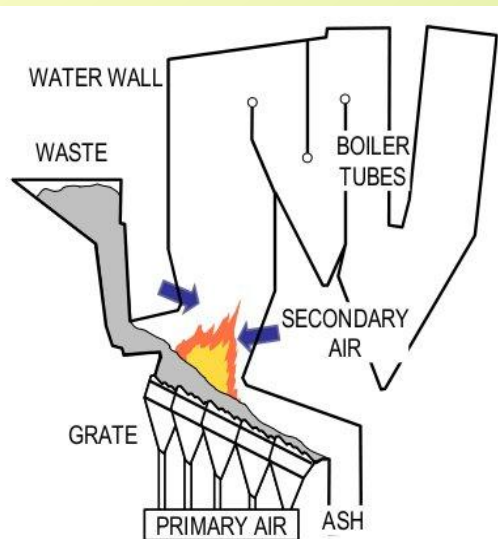
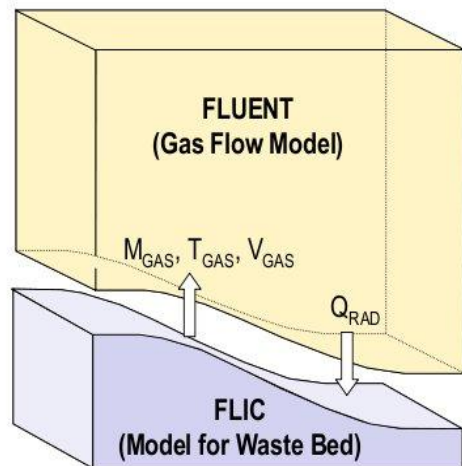
α_g – porowatość

X_s, X_g – udziały masowe faz



Rys. Porównanie przewidywań modelu z danymi eksperymentalnymi z literatury, *D. Kardaś, S. Polesek-Karczewska, B. Mertas, KARBO, 3/2009, 151-155.*

Spalanie biomasy (Fluent+FLIC)



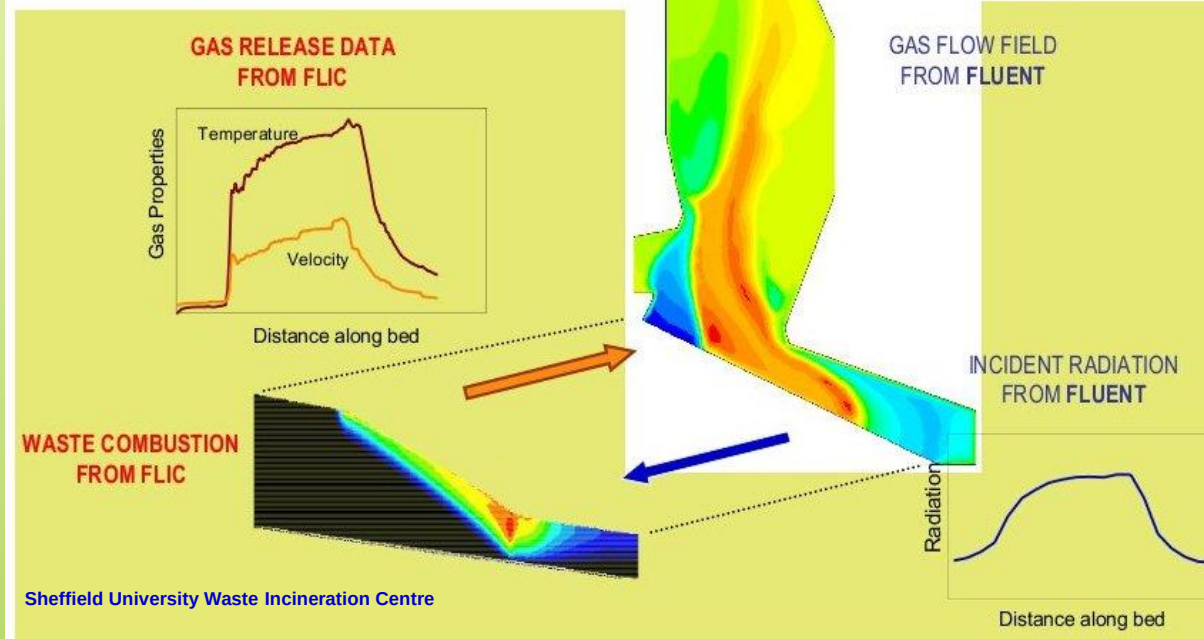
W kodzie FLIC nadmiar współczynników
– potrzeba eksperymentu

Modelowanie radiacji modelem P1

Szczegółowe modelowanie konwersji
biomasy do części lotnych +
odparowanie (kod FLIC) i pełna
kinetyka spalania gazów (Fluent).

Zintegrowany model odparowania.

Zastosowano Gri-Mech
zredukowany.

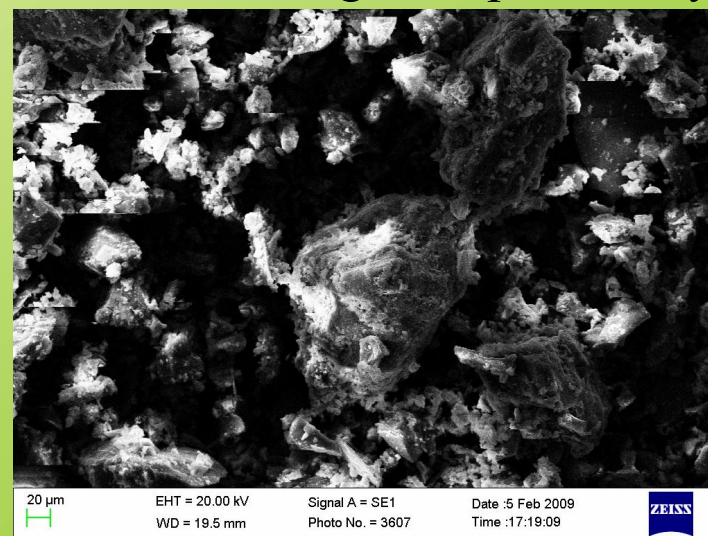


współpraca: M. Lackowski i A. Krupa

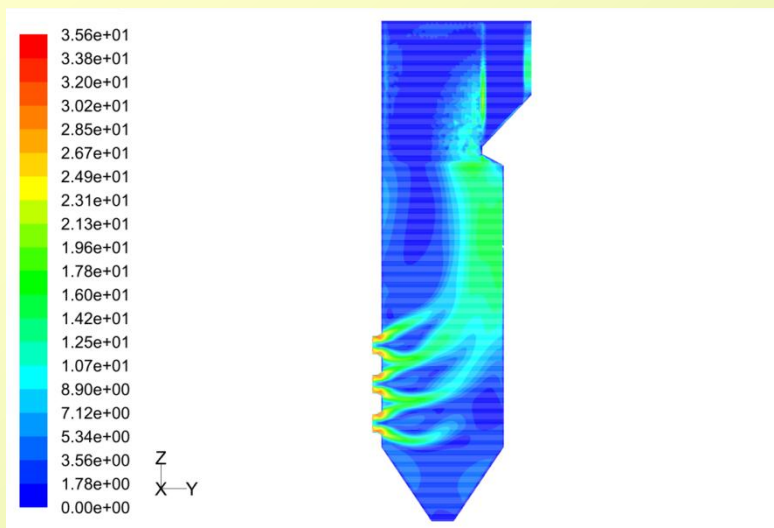
Zawartość części palnych w popiele lotnym

kocioł	(pl)	(im)
K7	6.7	15.2
K9	6.7	10.2
K10	8.7	11.9

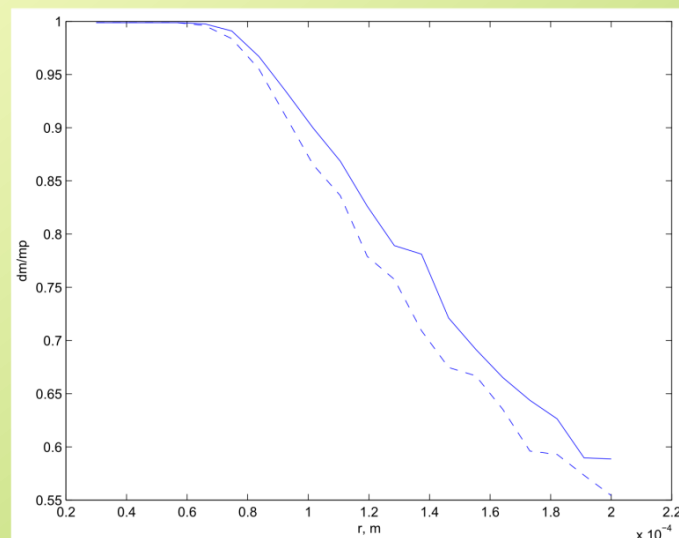
węgiel importowany



Analiza spalania różnych rodzajów paliwa

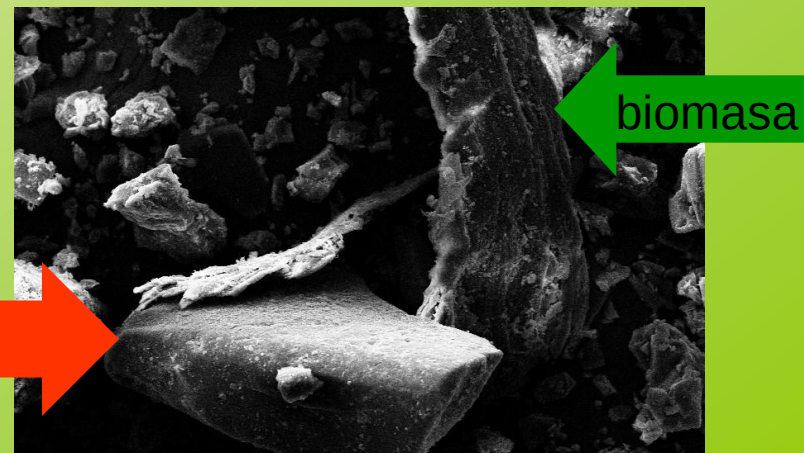


- ◆ Duże znaczenie parametrów fizycznych paliwa i procesu spalania na efektywność pracy kotła.
- ◆ Wydłużeniu czasu rezydencji cząstek węgla w komorze paleniskowej sprzyja:
 1. niska prędkość przepływu spalin,
 2. duża gęstość masy cząstki,
 3. niski współczynnik oporu aerodynamicznego.



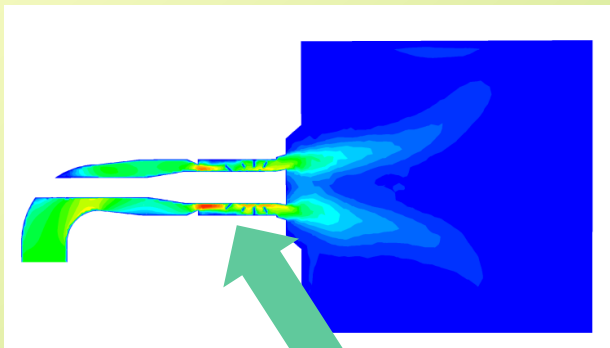
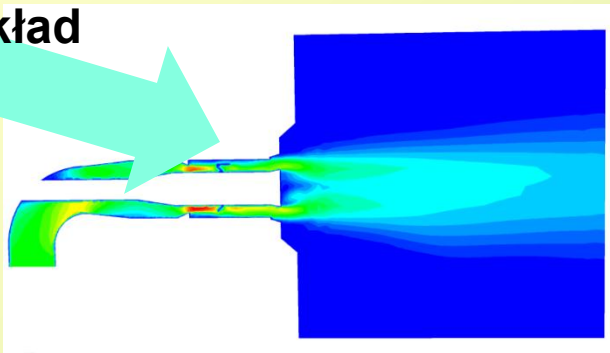
Stopień wypalenia paliwa polskiego (linia ciągła) i importowanego (linia przerywana)

Współspalanie węgla i biomasy



Modernizacja palników pyłowych mocy 30 MW

Dotychczasowy
układ



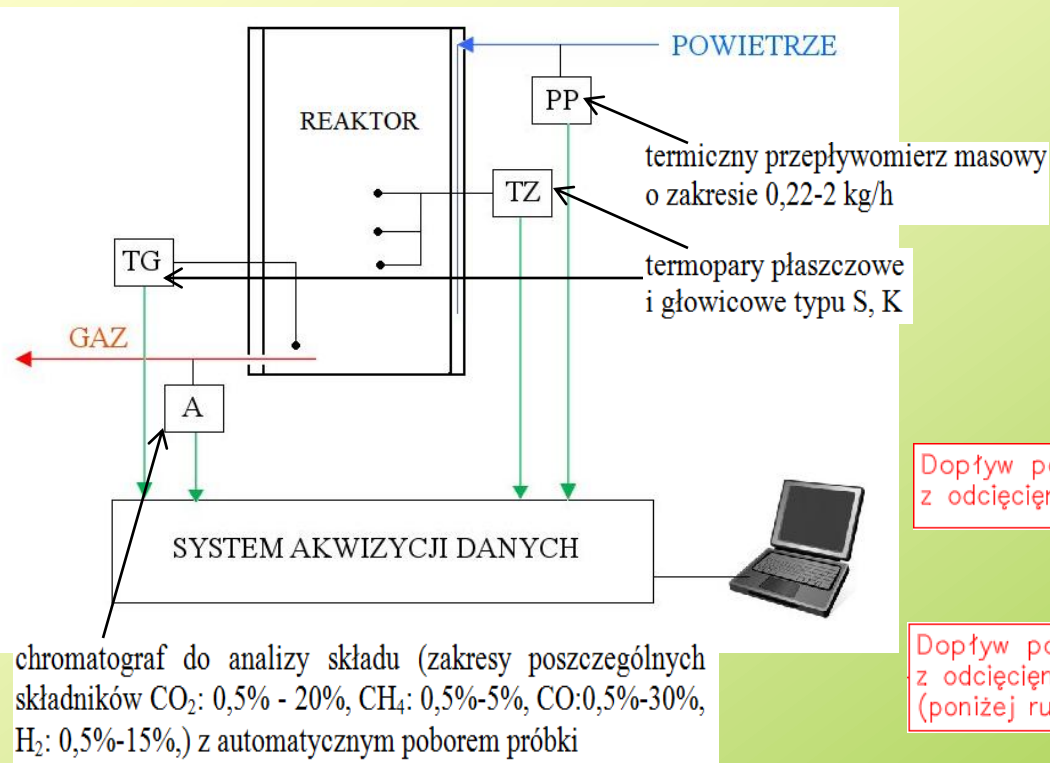
Dodatkowa
kierownica



Nowy palnik (8szt.) zamontowano w EC Gdynia

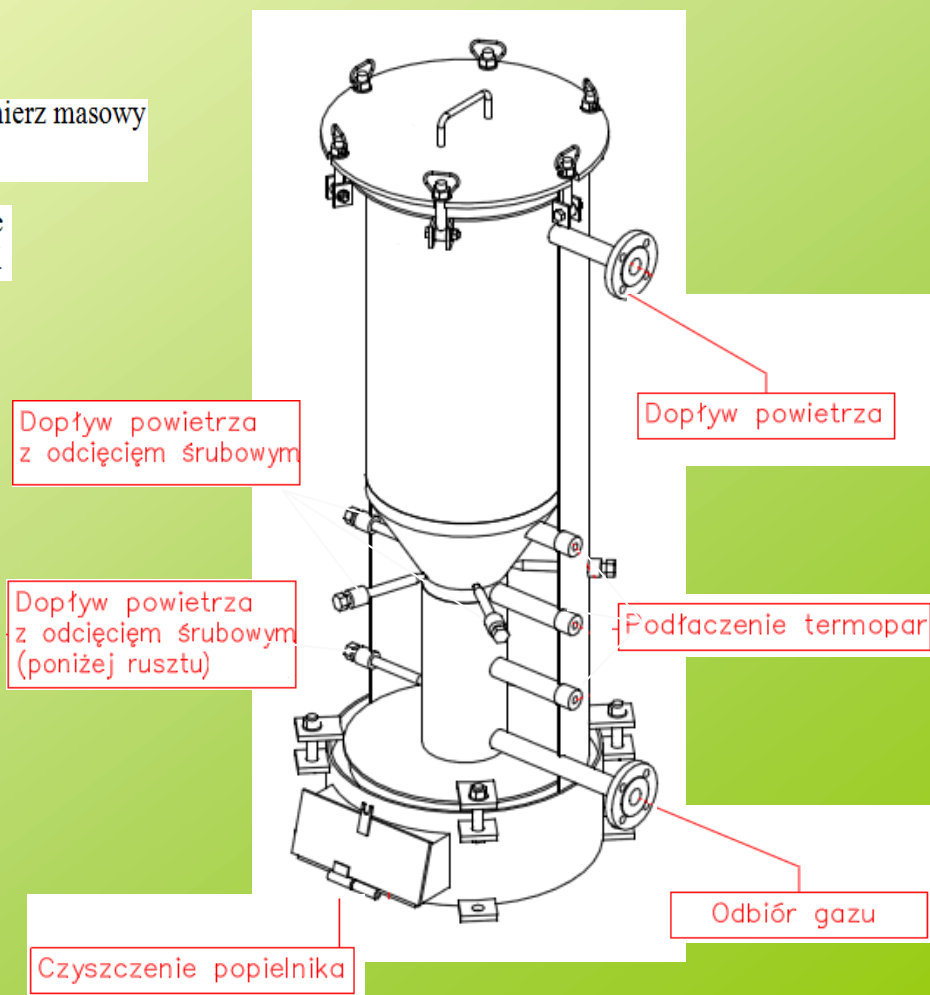
Stanowisko doświadczalne do badania procesu zgazowania biomasy

Projekt układu pomiarowego



Reaktor doświadczalny do prowadzenia procesu zgazowania biomasy

konceptja: Jacek Kluska, Dariusz Kardaś



Problemy cieplno-przepływowe w urządzeniach niskotemperaturowej energetyki cieplnej, także z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

Kierownik tematu: Prof. Marian Trela

Mikrosiłownie na czynniki organiczne

Wykonawcy: Prof. dr hab. inż. Jarosław Mikielewicz, kierownik zadania
dr inż. Zbigniew Drożyński
dr inż. Eugeniusz Ihnatowicz
dr inż. Henryk Bieliński
mgr inż. Sebastian Bykuć

Przedmiot badań

- ◆ mikrosiłowne kogeneracyjne
- ◆ obiegi z cyrkulacją naturalną (termosyfon dwufazowy)
- ◆ kondensacja pary wodnej z mieszaniny parowo-powietrznej w skraplaczach energetycznych

Uzyskane rezultaty

- ◆ Określono sprawność obiegów mikrosiłowni dla różnych czynników.
- ◆ Opracowano metodę projektowania parownika i skraplacza czynnika niskowrzącego.
- ◆ Opracowano model wymiany ciepła podczas wrzenia w parowniku oraz wyznaczono z niego przepływu dwufazowy.
- ◆ Opracowano koncepcję nowego parownika, posiadającego knot z materiału porowatego, wykorzystujący siły kapilarne do przetłoczenia czynnika.
- ◆ Wyznaczono masową prędkość zredukowaną czynnika cyrkulującego w obiegu termosyfonu oraz określono lokalny współczynnik oporów tarcia przepływu czynnika dwufazowego.
- ◆ Opracowano model wyznaczania kondensacji wzdłuż rurek pęczków pierwszego biegu rzeczywistych skraplaczy.
- ◆ Określono koncentrację powietrza w warstwach termicznych wzdłuż rurek skraplaczy.

Publikacje

łącznie w ramach zadania - 16, w tym najważniejsze:

- ♦ Mikielewicz D., Mikielewicz J., *A simple dissipation model of circular hydraulic jump*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 52 (2009), 17-21 (nr arch. IMP PAN 762/2008)
- ♦ Mikielewicz J., *Sustainable development of dispersed energy sector*. Co-Reach Sustainability Conference, 15-16.V.2009, Pekin, Chiny, Book of Abstracts, p. 17 (nr arch. IMP PAN 693/2009)

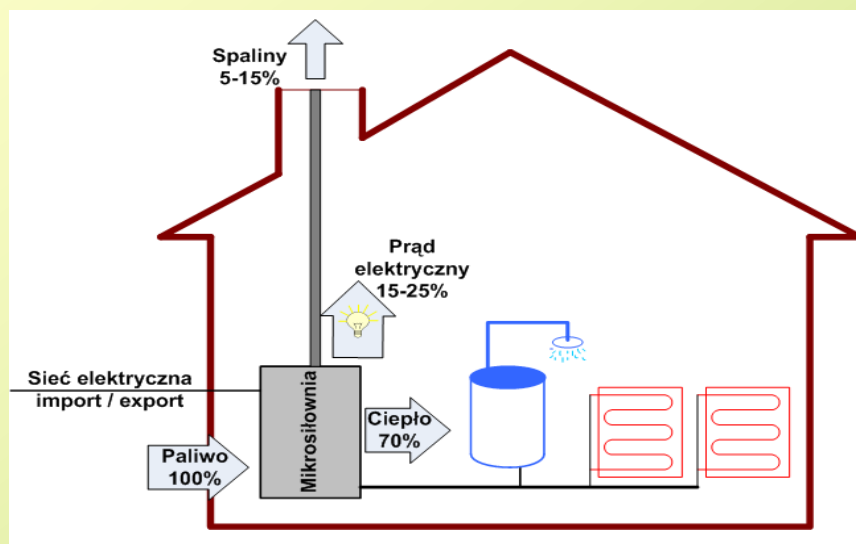
Projekty badawcze

■ MNiSW – 4

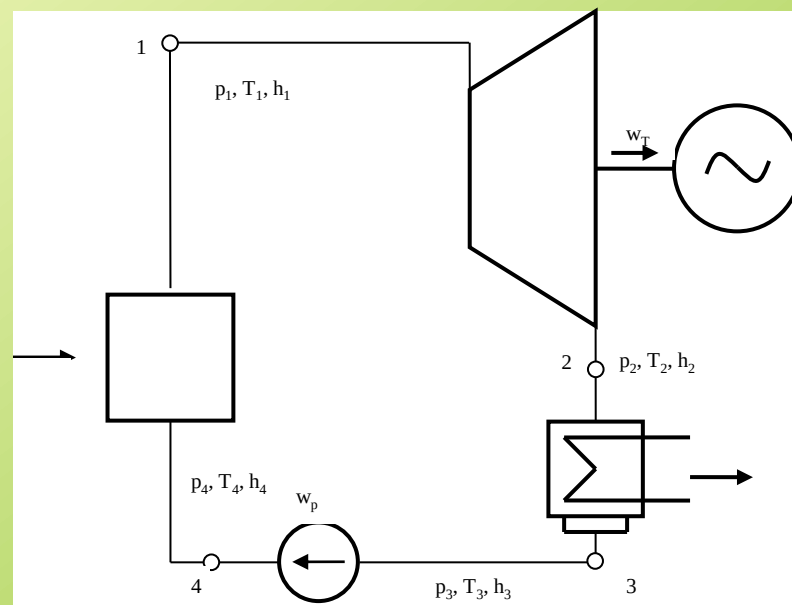
■ inne – Eko-Energia, najważniejsze publikacje:

- ♦ 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, 2009, Brema, Niemcy, [in:] Proc. – Low Temperature and Waste Heat Use in Communal and Industrial Energy Supply, pp. 171-174 (nr arch. 602/2009)
- ♦ Mikielewicz J., *Domowa siłownia parowa na czynnik niskowrzący*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Stan Pozyskiwania Odnawialnych Źródeł Energii w Polsce”, Łomża 2009 (nr arch. 695/2009)
- ♦ 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, Niemcy (nr arch. IMP PAN 697/2009)
- ♦ 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, Niemcy (nr arch. IMP PAN 698/2009)

Mikrosiłownia kogeneracyjna

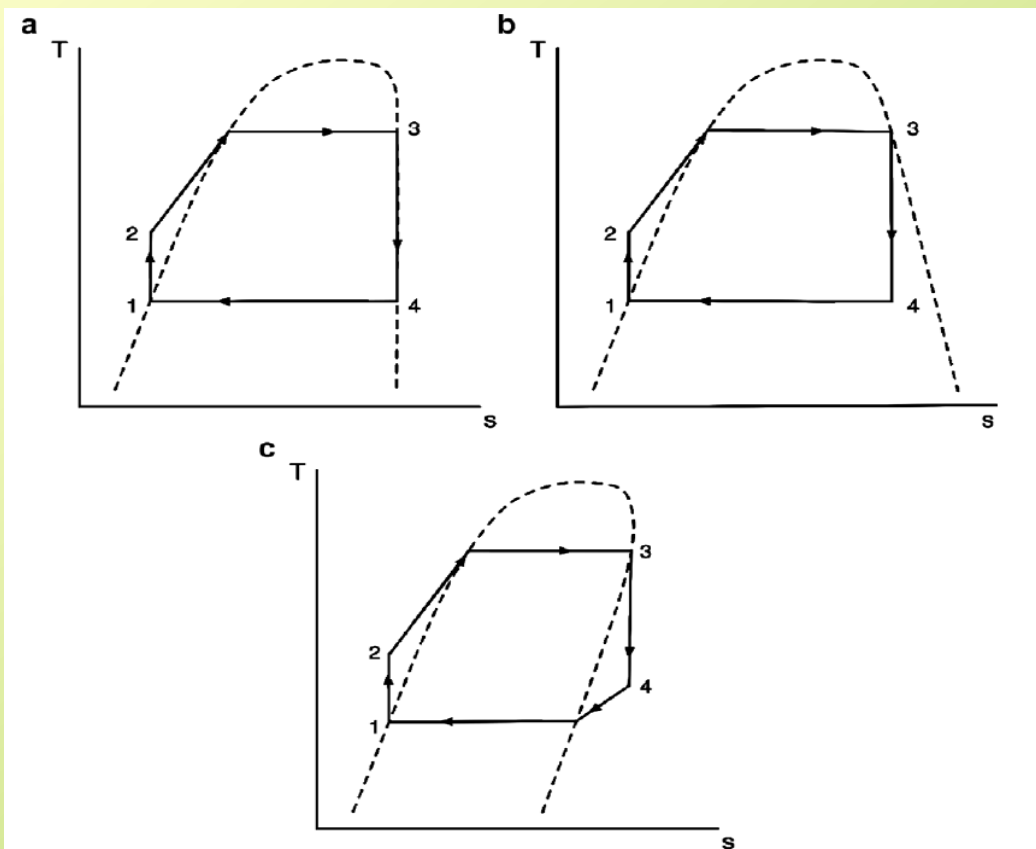


Domowa mikrosiłownia kogeneracyjna



Schemat obiegu termodynamicznego mikrosiłowni kogeneracyjnej

Mikrosiłownia kogeneracyjna



Porównanie różnych czynników roboczych:

a) idealny – ekspansja czynnika przebiega wzdłuż pionowej i izentropowej linii nasycenia pary (izentropy)

b) „mokry”

c) „suchy”

Mikrosiłownia kogeneracyjna

sprawność ogólna obiegu ORC : $\eta = \frac{w_T}{\dot{q}_k} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3}$

sprawność dla obiegu podkrytycznego:

$$\eta = 1 - \frac{\frac{\Delta H(T_2)}{h_{lv1}}}{\frac{c_p T_1}{h_{lv1}} \eta_c + 1} = 1 - \frac{\frac{\Delta H(T_2)}{h_{lv1}}}{Ja(T_1) \eta_c + 1}$$

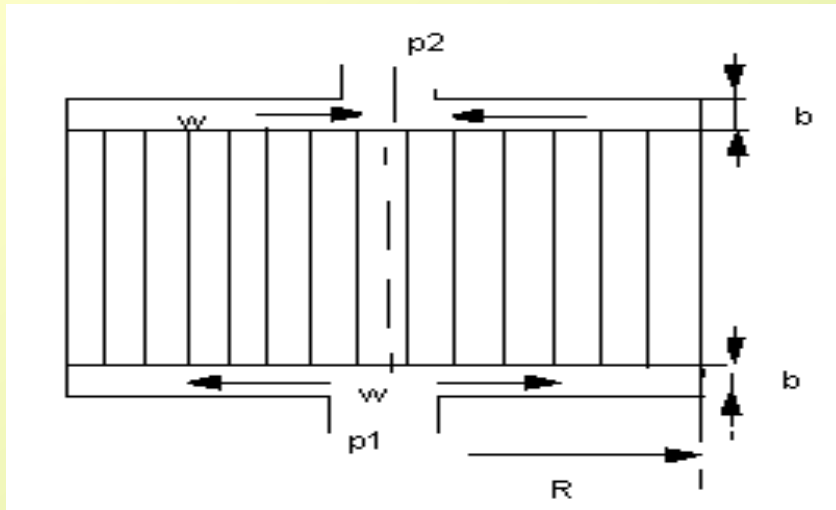
i dla obiegu nadkrytycznego:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\frac{c_p T_1}{\Delta H(T_2)} \eta_c} = 1 - \frac{1}{Ja(T_1, T_2) \eta_c}$$

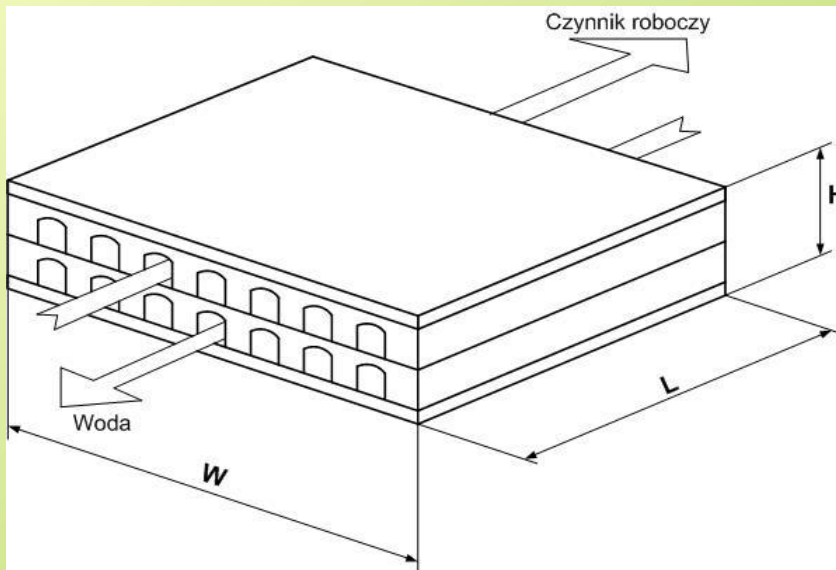
Fluid	η_R	η_c	$\eta_b = \eta_R / \eta_c$	$Ja(T_1)$	$\Delta H(T_2) / h_{lv1}$
SES36	0,205	0.271	0.755	9.467	3.181
R141b	0,178	0.317	0.563	42.055	4.042
C ₂ H ₅ OH	0.201	0.271	0,742	4.51	1.669
R134a	0.070	0.122	0.574	21.723	2.002

Sprawności obiegu, liczba Jakoba, $\Delta H(T_2) / h_{lv1}$,
sprawność Carnota i sprawność egzergy obiegu

Metoda projektowania parownika i skraplacza czynnika niskowrzącego

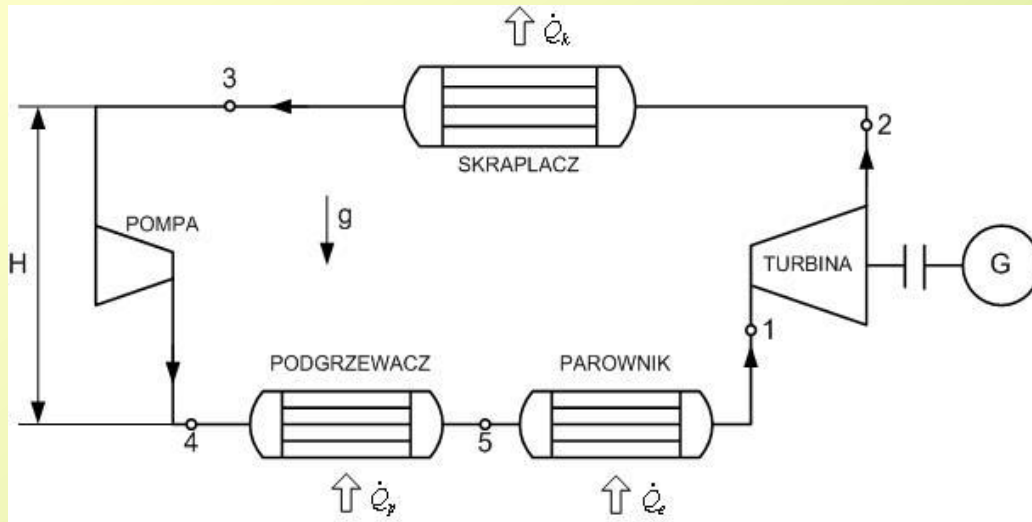


Schemat wymiennika ciepła z kolektorami: rozdzielającym i zbierającym



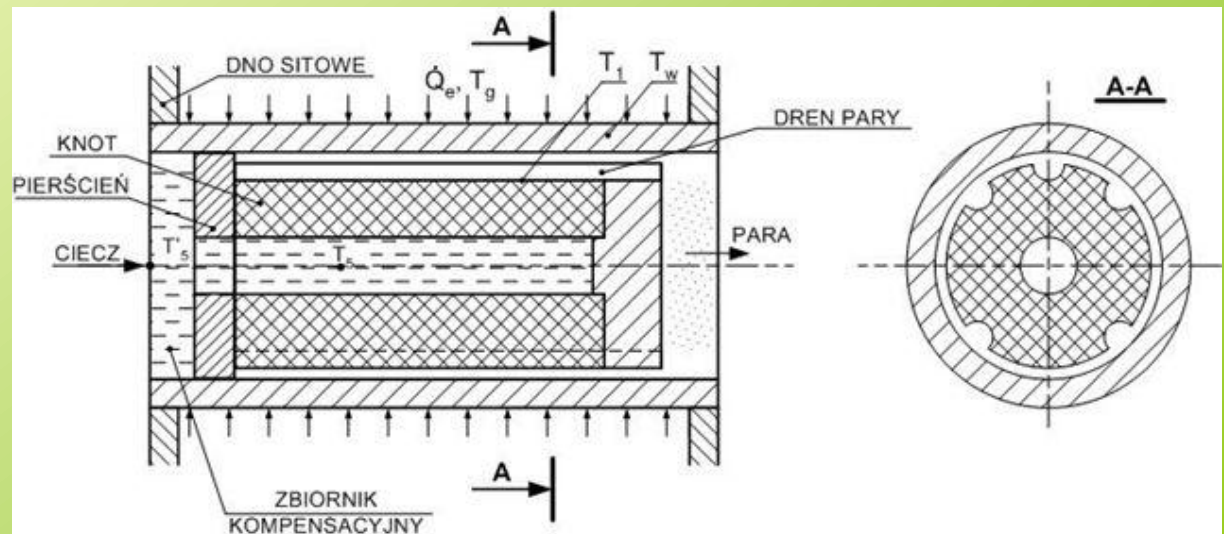
Schemat konstrukcji skraplacza. Podobne rozwiązanie jest także dla parownika, tylko zamiast wody jest olej grzewczy.

Metoda projektowania parownika i skraplacza czynnika niskowrzącego

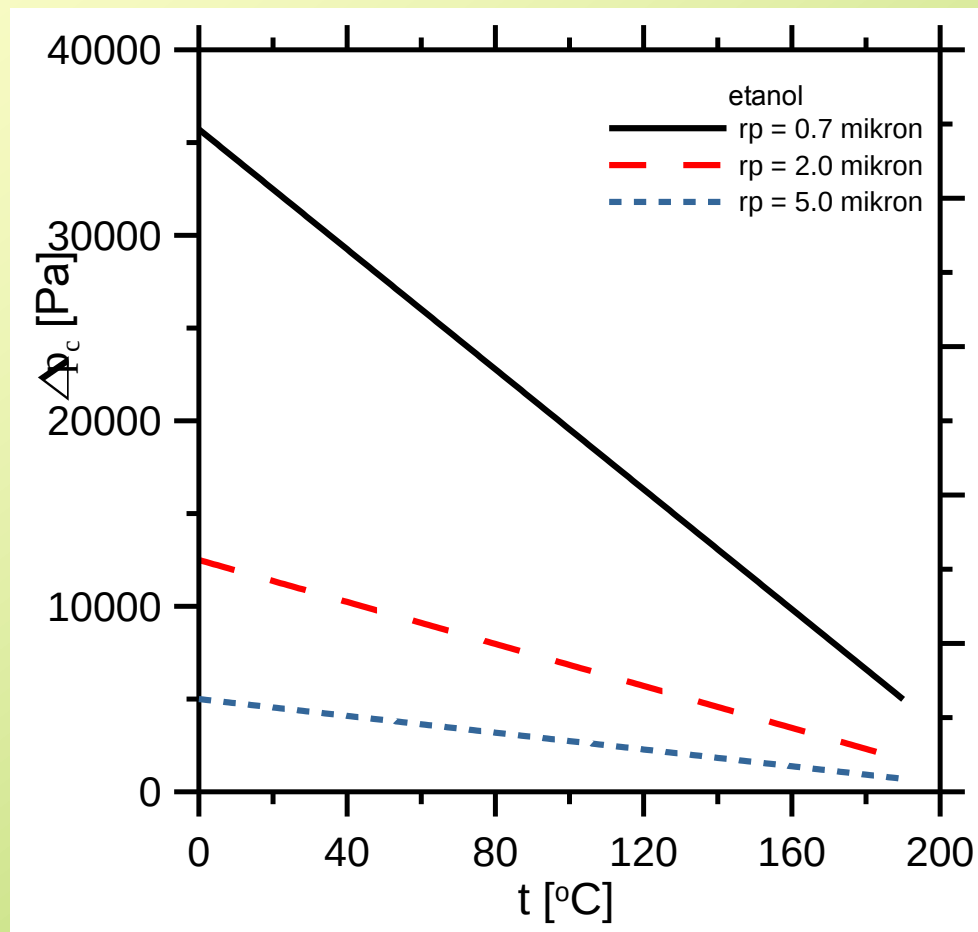


Schemat strukturalny
obiegu ORC

Schemat ideowy
rurki parownika

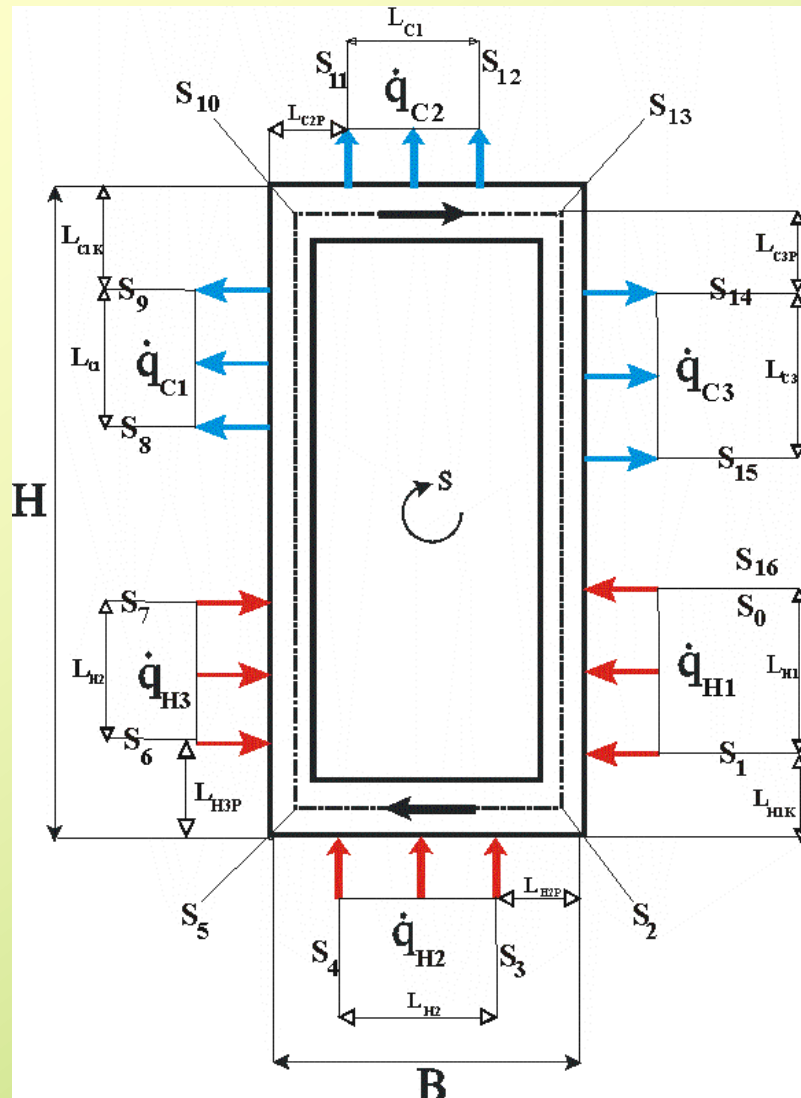


Metoda projektowania parownika i skraplacza czynnika niskowrzącego



Rozkład obliczeniowego spadku ciśnienia kapilarnego dla etanolu, przy trzech wartościach promienia kapilarnego w knocie rurki parownika

Uogólniony model minikanalowego termosyfonu dwufazowego



W ANALIZIE ZASTOSOWANO:

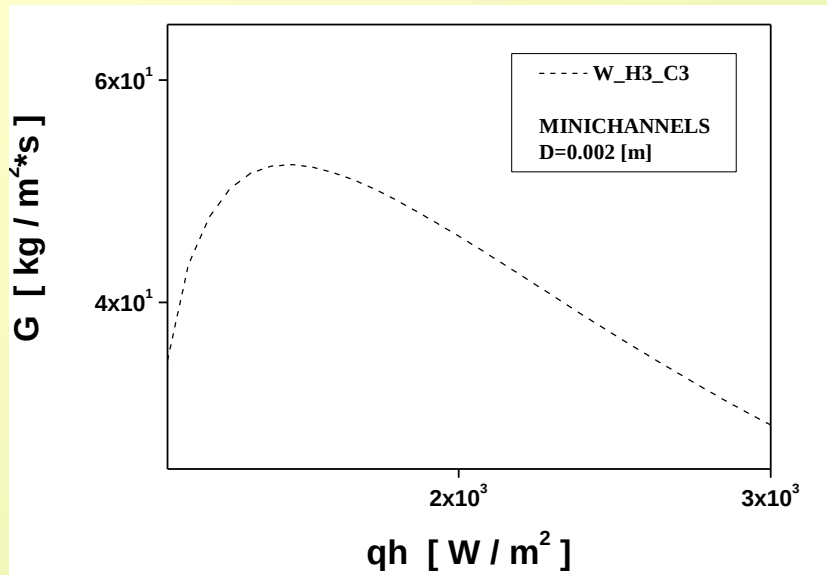
**STOPIEŃ ZAPEŁNIENIA
(VOID FRACTION) WEDŁUG KORELACJI:
EL-HAJAL (2003)**

**LOKALNY WSPÓŁCZYNNIK TARCIA
PRZEPIYU DWUFAZOWEGO:**

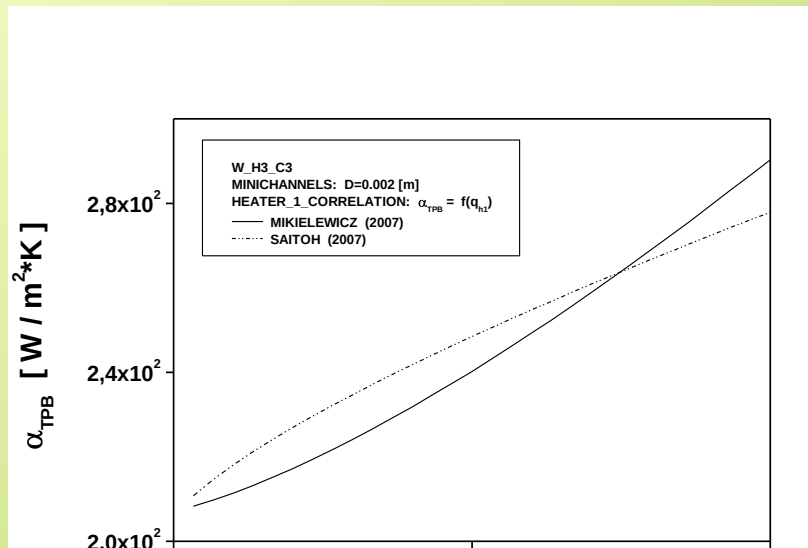
**ODCINKI ADIABATYCZNE
WEDŁUG KORELACJI:
ZHANG - WEBB (2003),**

**ODCINKI NIEADIABATYCZNE
WEDŁUG KORELACJI:
TRAN (2000).**

Uogólniony model minikanalowego termosyfonu dwufazowego



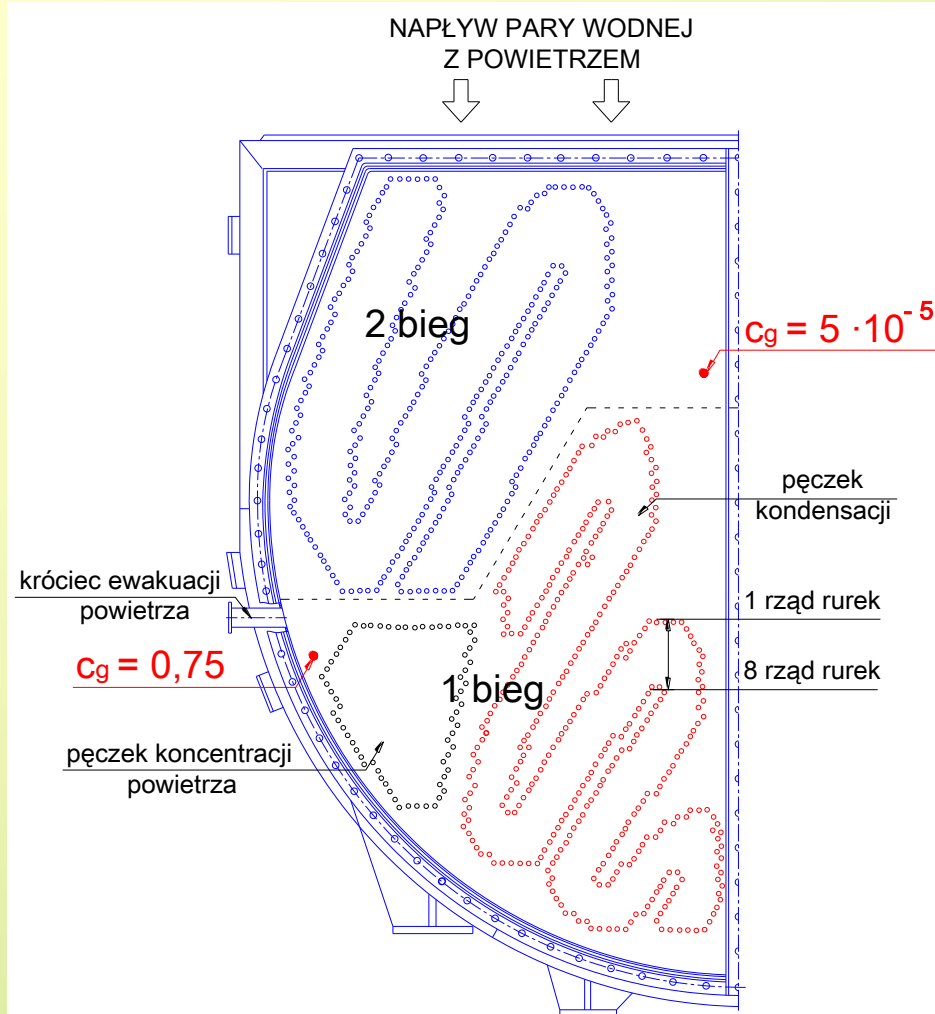
RYS. 1. MINIKANALOWY TERMOSYFON DWUFAZOWY Z NIECAŁKOWITYM ODPAROWANIEM. ROZKŁAD MASOWEJ PRĘDKOŚCI ZREDUKOWANEJ W FUNKCJI GĘSTOŚCI STRUMIENIA CIEPŁA.



RYS. 2. WSPÓŁCZYNNIK PRZEJMOWANIA CIEPŁA DLA WRZENIA W PRZEPŁYWIE W FUNKCJI GĘSTOŚCI STRUMIENIA CIEPŁA DLA MINIKANALÓW WEDŁUG KORELACJI:

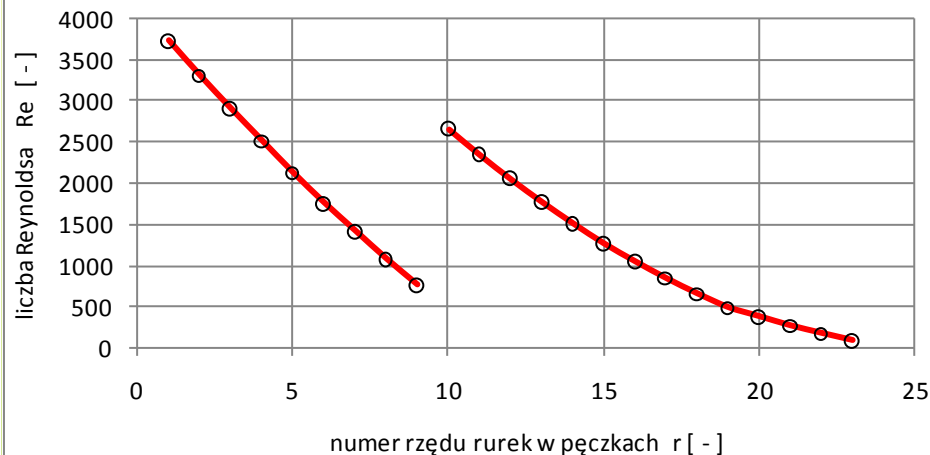
1. MIKIELEWICZA (2007)
2. SAITOHA'A (2007).

Kondensacja pary wodnej z mieszaniny parowo-powietrznej w rzeczywistych skraplaczach

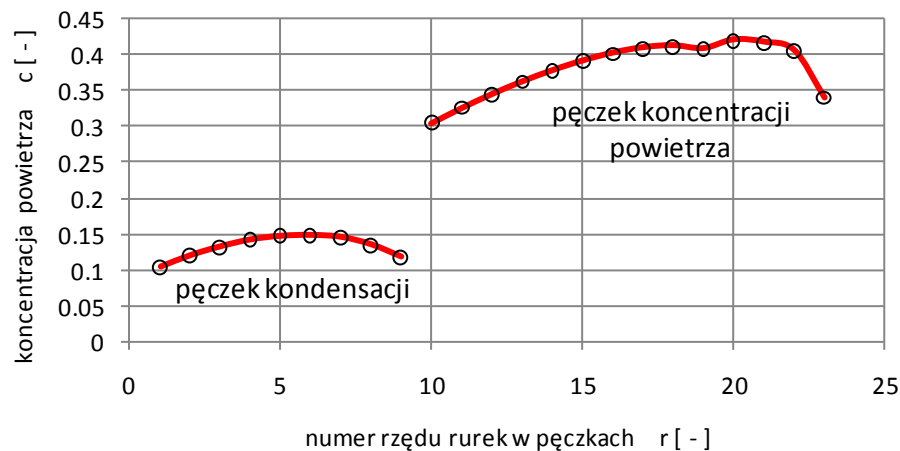


Schemat typowego kondensatora

Liczba Reynoldsa mieszaniny parowo powietrznej przepływającej między rurkami kolejnych rzędów



Rozkład koncentracji powietrza w warstwach termicznych rurek kolejnych rzędów



Obiegi skojarzone lewobieżne oraz prawobieżne z wykorzystaniem ekologicznych czynników roboczych

Wykonawcy: Prof. dr hab. inż. Marian Trela, kierownik zadania
dr hab. inż. Dariusz Butrymowicz
dr Jarosław Karwacki
dr inż. Roman Kwidziński
dr inż. Robert Matysko
mgr inż. Kamil Śmierciew

Przedmiot badań

- ◆ **poprawa sprawności obiegów lewobieżnych**
- ◆ **badania eksperymentalne i modelowanie strumieniowych układów chłodniczych**
- ◆ **modelowanie przepływu w dwufazowej strumienicy parowo-wodnej**
- ◆ **modelowanie pracy komory przechowalniczej współpracującej ze sprężarkowym układem chłodniczym**
- ◆ **układy energetyki odnawialnej – układy ORC oraz pompy ciepła**

Uzyskane rezultaty

- ◆ Zastosowano strumienicę dwufazową w roli nadprężarki, która pracując przy wysokim ciśnieniu, zmniejsza pracę konieczną do napędu sprężarki
- ◆ Wykonano systematyczne badania eksperymentalne wysokociśnieniowej strumienicy dwufazowej, pracującej w warunkach pełnej kondensacji czynnika roboczego
- ◆ Opracowano układ do elektrostatycznej separacji kropeł oleju z przepływu czynnika chłodniczego o wysokim ciśnieniu, który umożliwia całkowitą separację oleju
- ◆ Zaprojektowano parownik wyparny, skraplacz mieszkankowy i strumienicę dla strumieniowego układu wytwarzania wody lodowej
- ◆ Opracowano model o parametrach skupionych, opisujący pracę układu chłodniczego i komory przechowalniczej oraz model sterowania dla tego układu
- ◆ Wykonano testy równań domknięcia w rozwijanym modelu dwupłynowym pod kątem ich użyteczności do obliczeń przepływu dwufazowego w strumienicy parowo-wodnej
- ◆ Wykonano analizy czynników roboczych dla układów ORC pod kątem ich efektywności energetycznej i potencjału tworzenia efektu cieplarnianego GWP

Publikacje

łącznie w ramach tematu - 21, w tym najważniejsze:

- ◆ 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.VI-3.VII.2009, Kraków, str. 2237-2244 (nr arch. IMP PAN 677/2009)
- ◆ 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, Słowacja, 2009, str. 61-68 (nr arch. IMP PAN 480/2009)
- ◆ 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, Belgia, 2009, Paper No. 27, nr arch. 443/2009
- ◆ Karwacki J., Matysko R., *Sterowanie MIMO w układzie chłodniczym pośrednim*. Chłodnictwo & Klimatyzacja, nr 9(134)/2009, str. 68-72 (nr arch. IMP PAN 676/2009)
- ◆ Śmierciew K., Butrymowicz D., Karwacki J., *Analiza obiegów termodynamicznych urządzeń strumieniowych, część II i III*, Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, 10/2008, 408-412 i 12/2008, 502-508 (nr arch. IMP PAN 6/2009, 7/2009)
- ◆ 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 595/2009)

Projekty badawcze

MNiSW – 3:

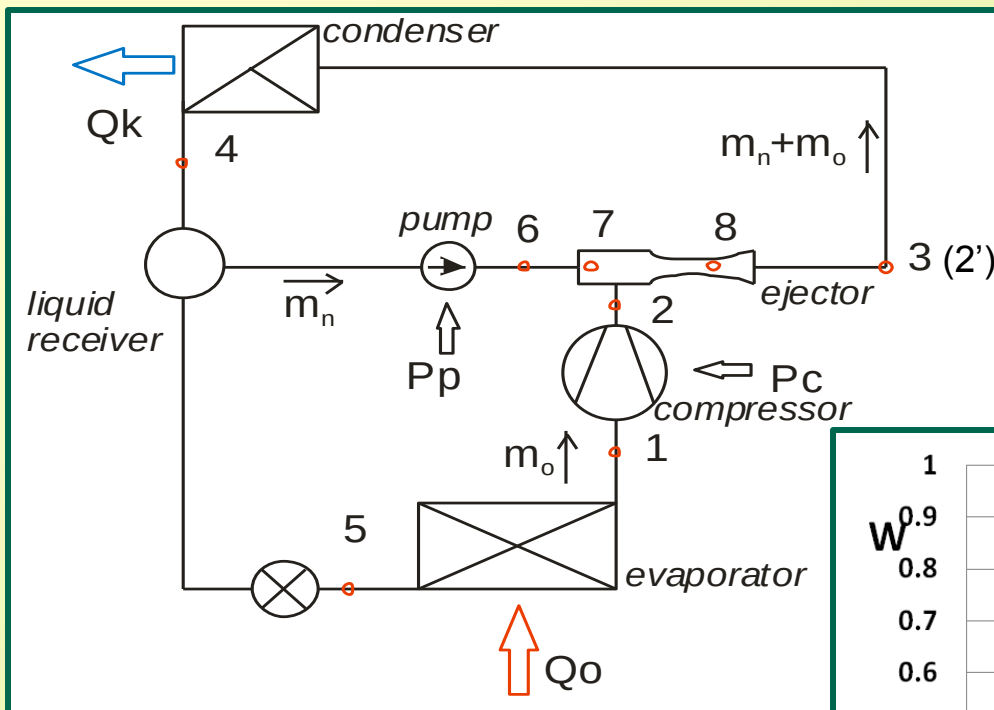
- ◆ Badania strumieniowych układów klimatyzacyjnych pracujących z naturalnymi czynnikami roboczymi,
PB N512 013 31/1179, D. Butrymowicz, okres realizacji 2006-2009
- ◆ Badanie oporów cieplnych zanieczyszczeń w aspekcie degradacji termicznej wymienników ciepła w siłowniach parowych,
N51302432/4092, D. Butrymowicz (T. Hajduk), okres realizacji 2007-2009.
- ◆ Badania eksperymentalne i teoretyczne strumieni napędowych w układach klimatyzacji solarnej,
N513397336, D. Butrymowicz (K. Śmierciew), okres realizacji 2009-2011

Inne – 2:

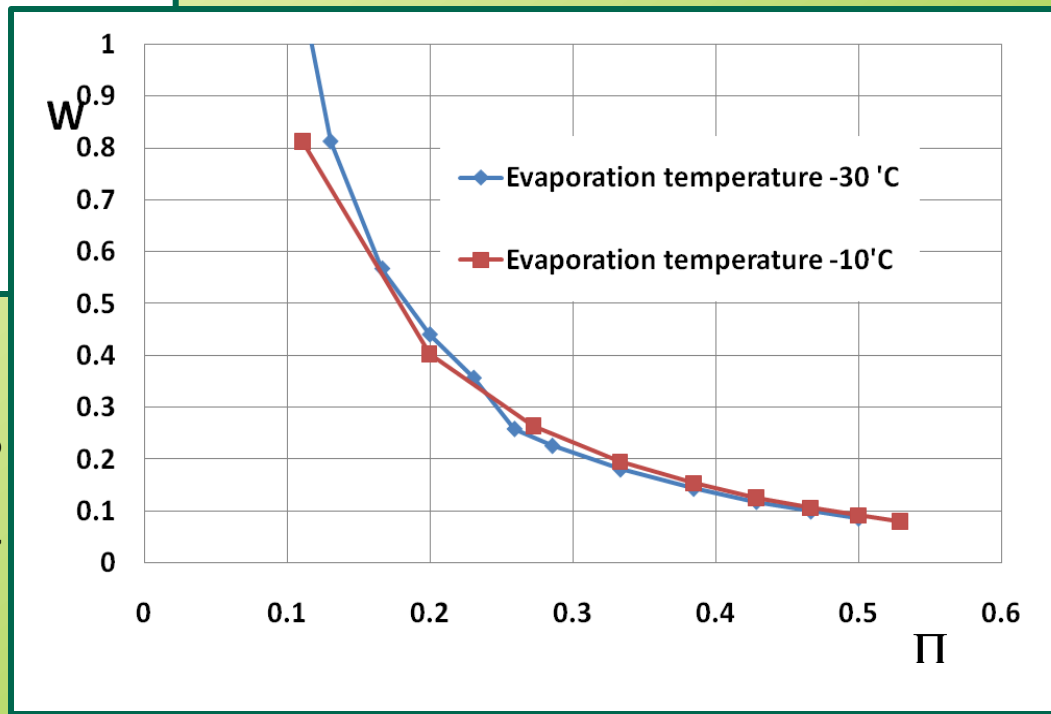
- ◆ PBZ-MEiN-4/2/2006 Nadkrytyczne Bloki Węglowe, Zadanie 1.2.1 (M. Trela)
- ◆ Bilateralny projekt badawczy promotorski z Universitet Catholique de Louvain, (prof. Yann Bartosiewicz / doc. D. Butrymowicz)

Publikacje i opracowania wykonane w ramach projektów – 34

Poprawa sprawności obiegów lewobieżnych



Wykorzystanie wysokociśnieniowej strumienicy dwufazowej w urządzeniu chłodniczym



Warunek termodynamiczny wzrostu COP przy zastosowaniu strumienicy dwufazowej; wyniki obliczeń dla czynnika R507

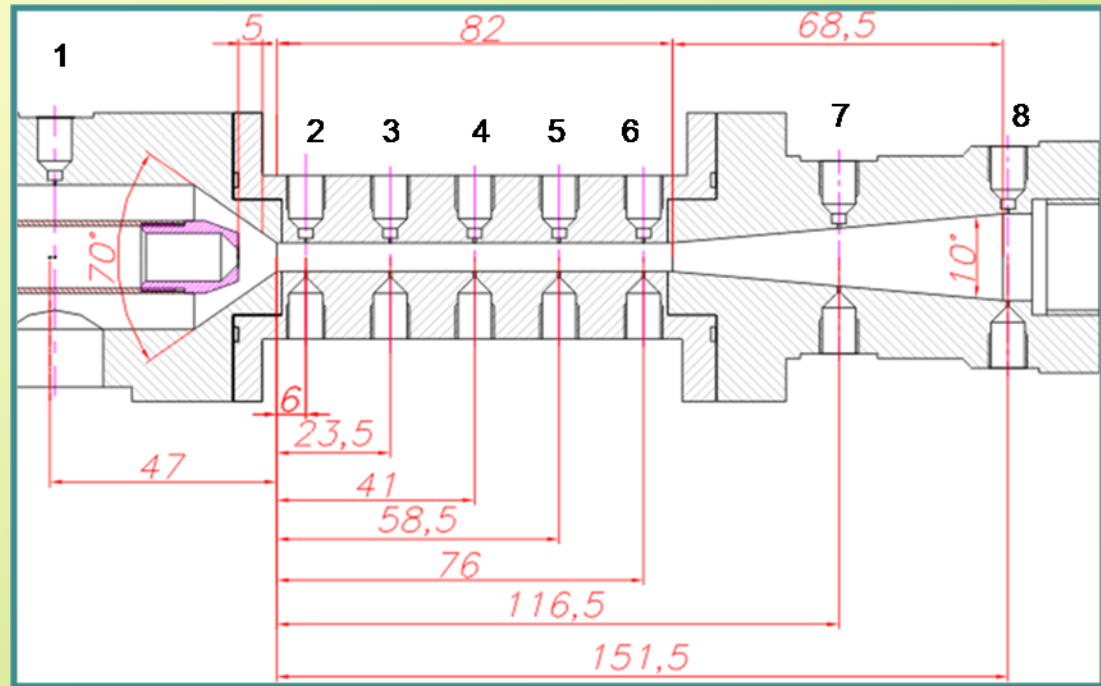
W – bezwymiarowy moduł,
 Π – bezwymiarowa spręż pompy

$$W = \frac{p_6 - p_4}{\rho_4 (h_{2'} - h_2)}$$

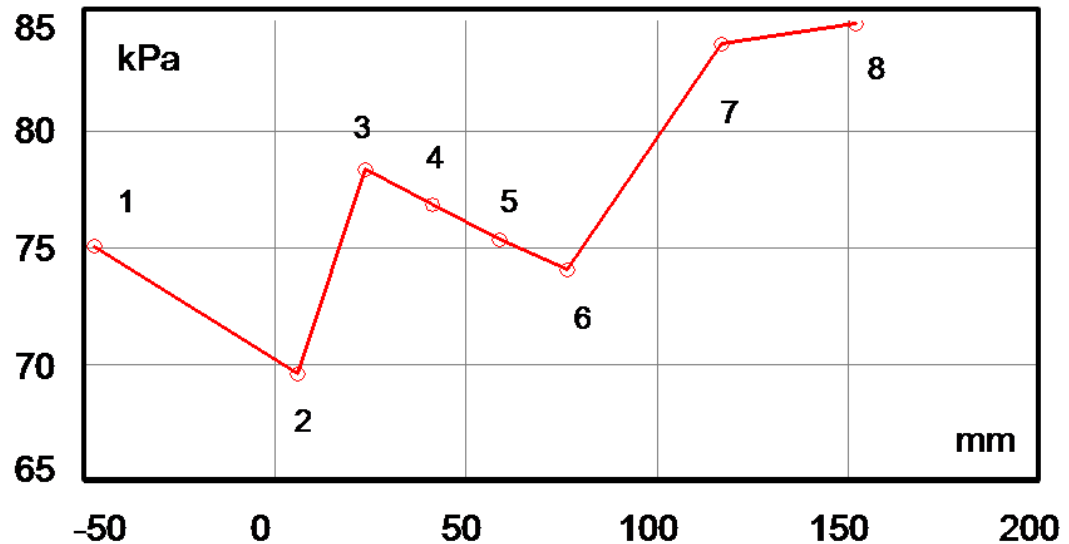
$$\Pi = \frac{p_4 - p_2}{p_6 - p_2}$$

Poprawa sprawności obiegów lewobieżnych

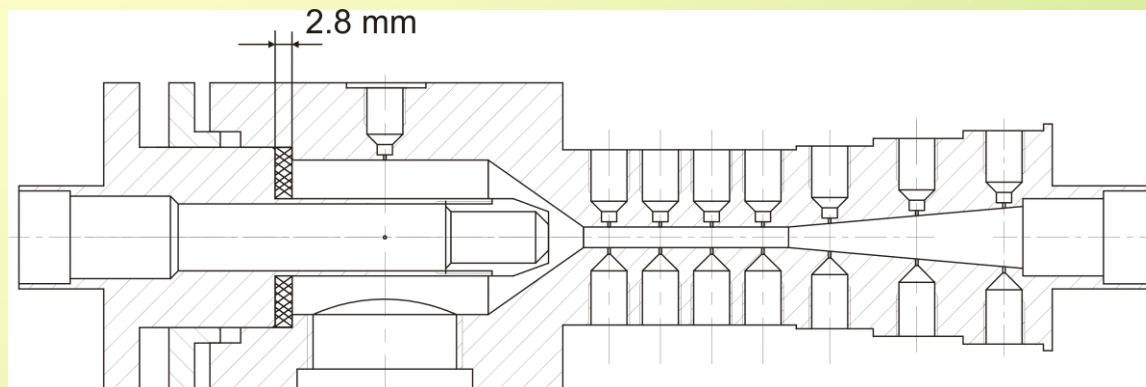
Schemat badanej strumienicy (starej)



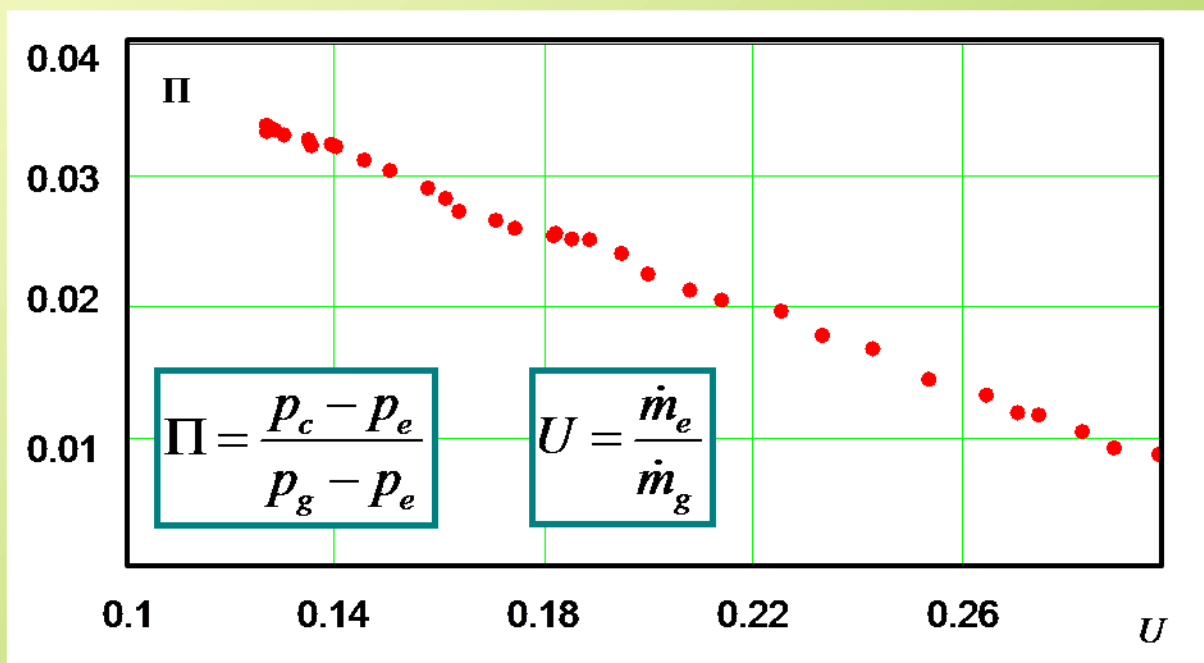
Przykładowy rozkład ciśnienia w strumienicy dwufazowej w warunkach pełnej kondensacji pary zasysanej



Poprawa sprawności obiegów lewobieżnych

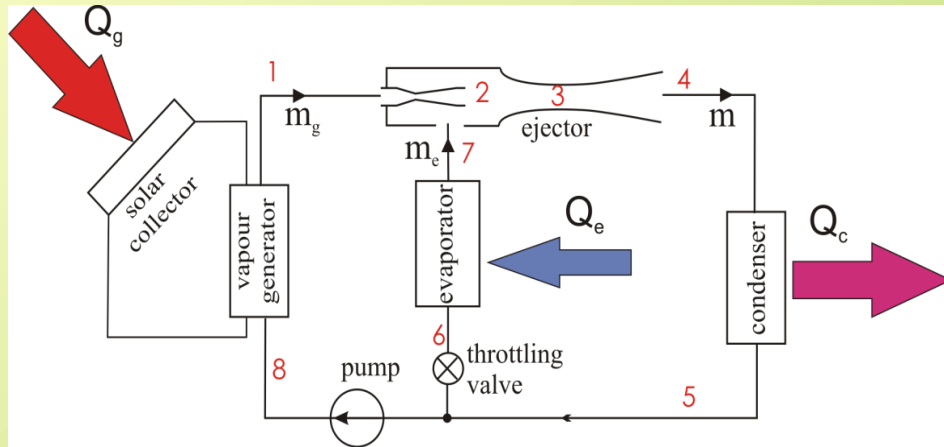


Schemat „nowej” strumienicy dwufazowej



Przykładowa charakterystyka strumienicy pracującej w czynnikiem R507; ciśnienie napędowe $p_g = 27$ bar, ciśnienie skraplania $p_c = 7.8$ bar, ciśnienie parowania p_e - zmienne, m_g – strumień masy pary napędowej, m_e – strumień masy pary zasysanej

Badania eksperymentalne i modelowanie pracy układów chłodniczych



Zdjęcie kolektorów słonecznych i stanowiska badawczego wraz ze schematem strumieniowego urządzenia klimatyzacji solarnej

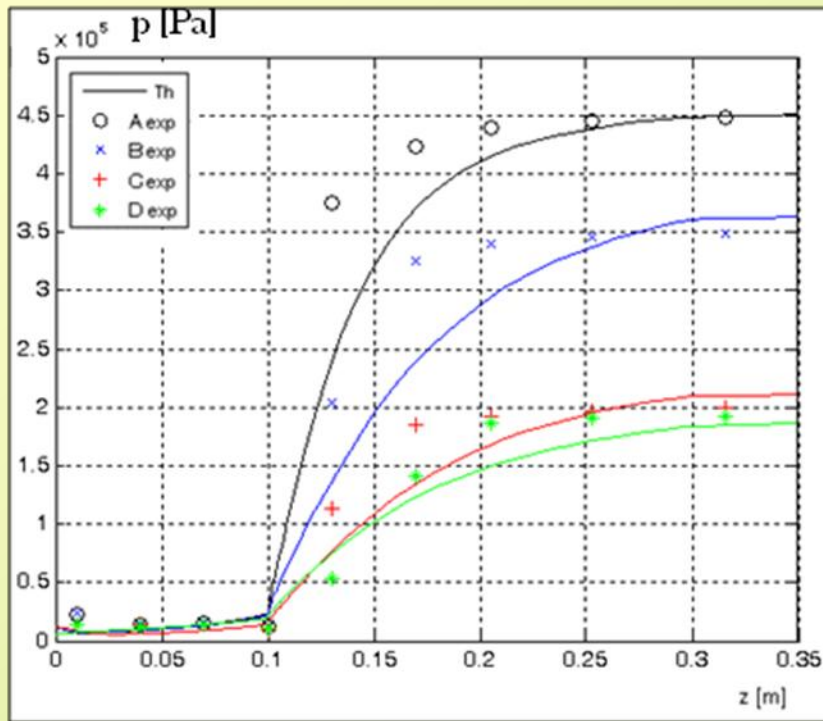


Badania eksperymentalne i modelowanie pracy układów chłodniczych

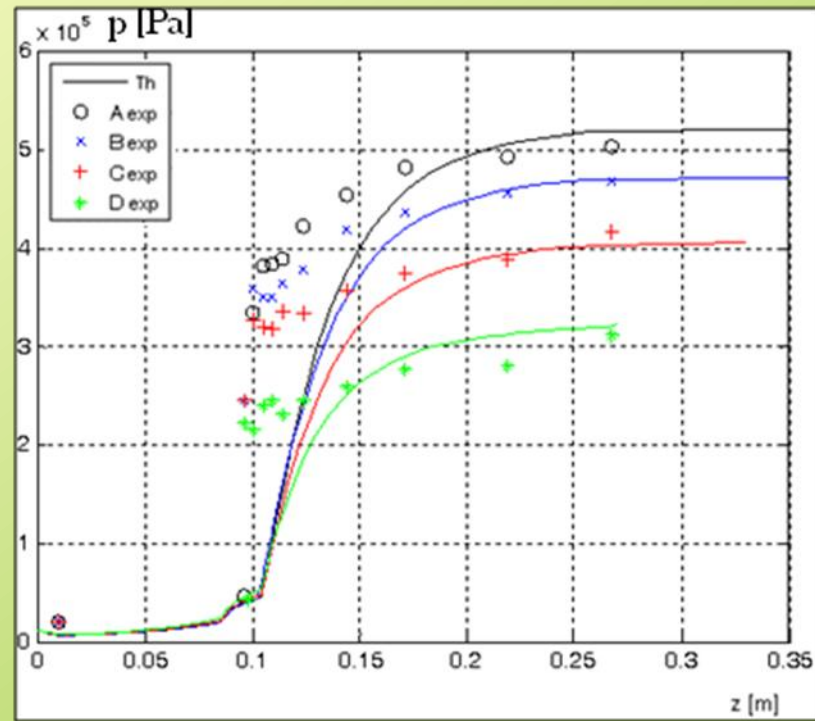


Stanowisko do badań układów strumieniowych dla District Cooling Systems

Modelowanie pracy nadkrytycznej strumienicy parowo-wodnej



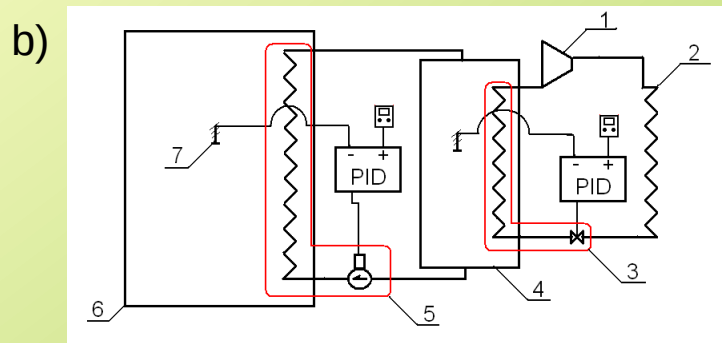
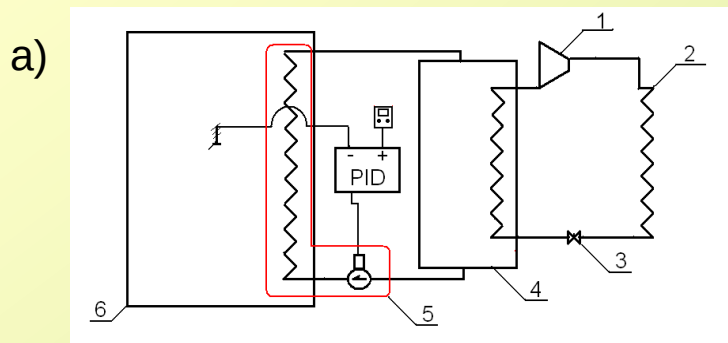
a) strumienica z gardłem ostro-krawędziowym



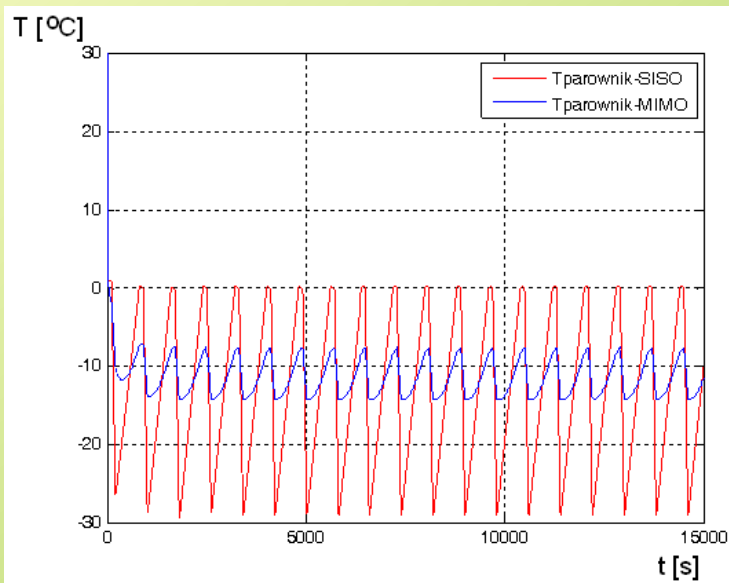
b) strumienica z gardłem cylindrycznym

Porównanie rozkładów ciśnień uzyskanych w wyniku obliczeń (linie) oraz eksperymentu (punkty) dla dwóch wersji strumienicy

Modelowanie pracy komory przechowalniczej współpracującej ze sprężarkowym układem chłodniczym

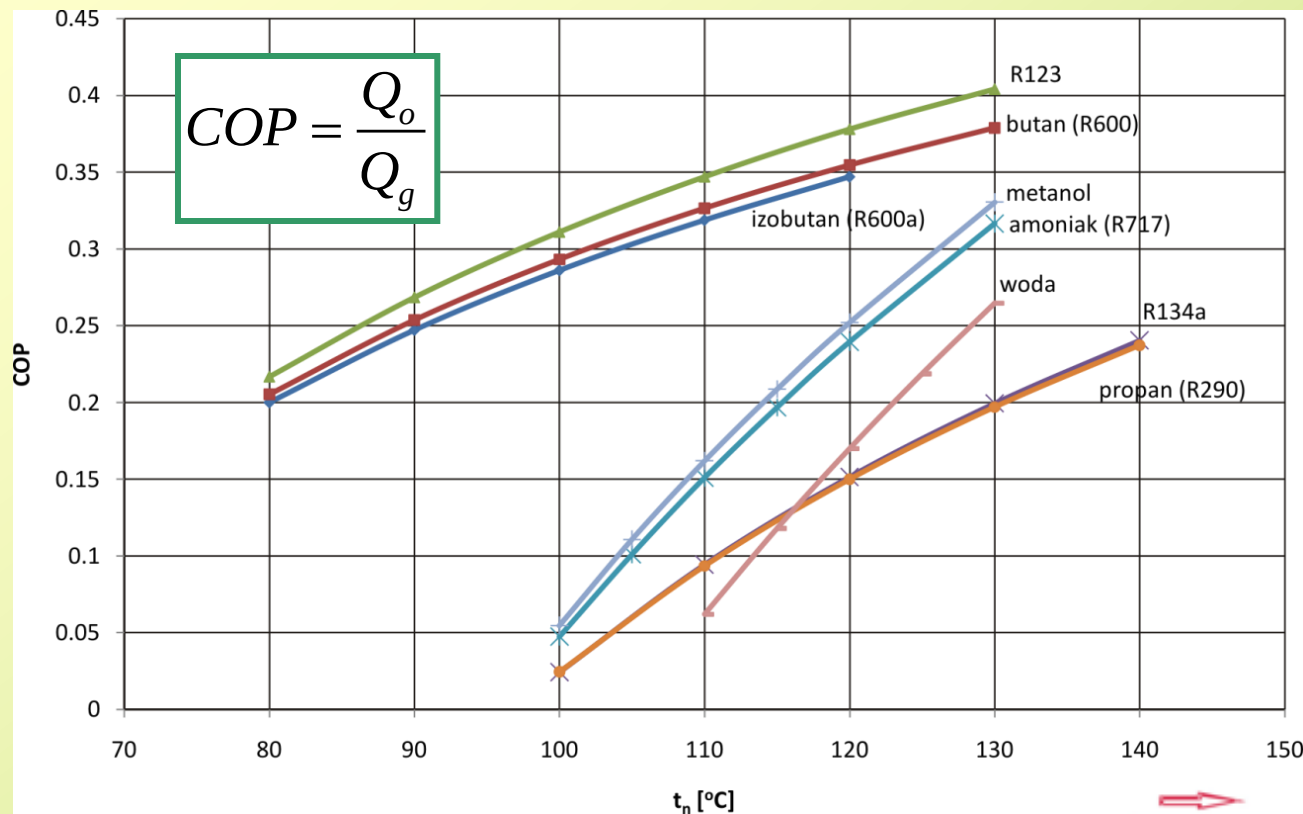


Systemy regulacji zastosowane w układzie chłodniczym pośrednim, a) SISO, b) MIMO:
1 - sprężarka o periodycznym trybie pracy; 2 – skraplacz; 3 - zawór rozprężny sterowany za pomocą regulatora PID, którego sygnałem wyjściowym jest temperatura w zbiorniku pośredniczącym; 4 - zbiornik pośredniczący; 5 – obieg glikolu, 6 – komora chłodnicza, 7 – czujnik pomiarowy



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

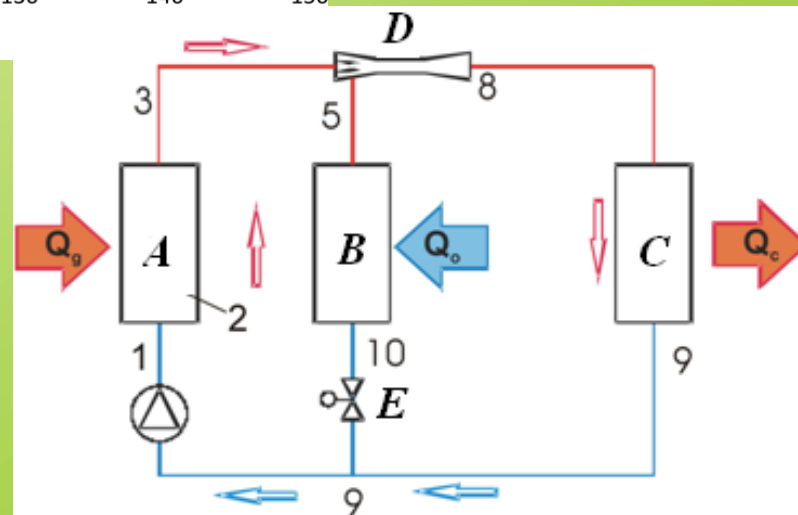
Niskotemperaturowa energetyka odnawialna



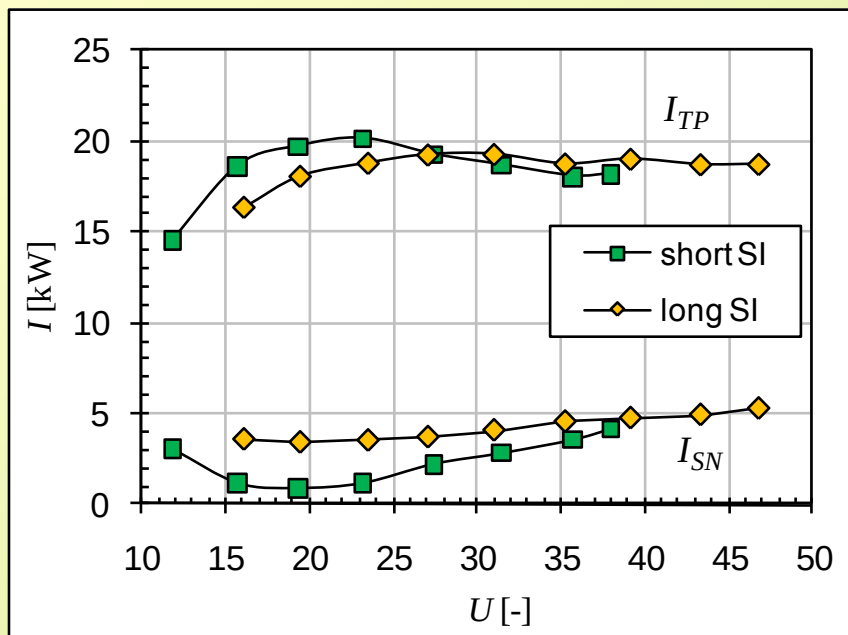
t_n – temperatura źródła ciepła napędowego

Q_o – wydajność cieplna parownika

Q_g – ciepło napędowe

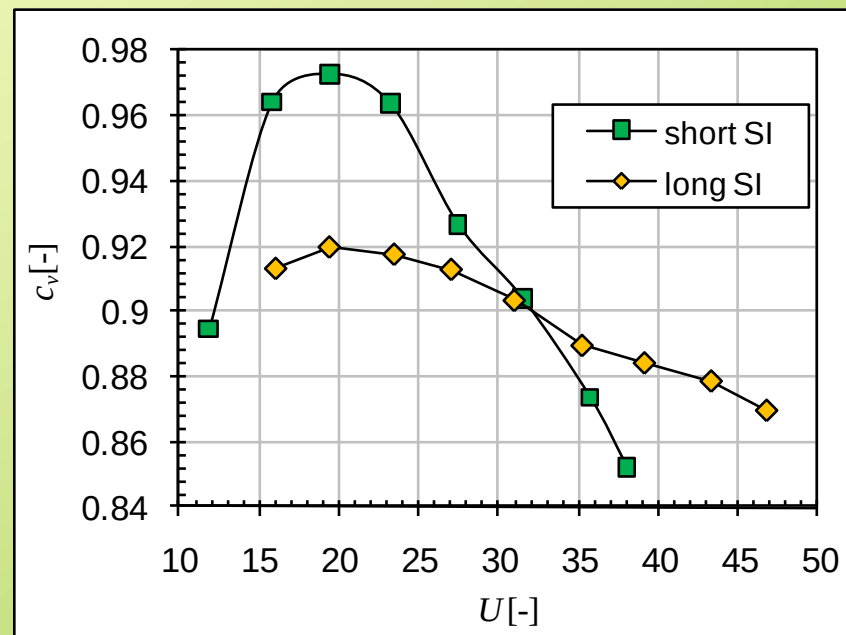


Analiza strat nieodwracalnych w strumienicy parowo-wodnej



Straty egzergii w dyszy parowej I_{SN} i w obszarze dwufazowym I_{TP} , obliczone dla dwóch wersji nadkrytycznej strumienicy parowo-wodnej (straty egzergii w pozostałych obszarach przepływu są pomijalnie małe)

$$U = \dot{m}_{L0} / \dot{m}_{V0}$$



Współczynnik prędkości dyszy parowej dla dwóch wersji nadkrytycznej strumienicy parowo-wodnej

$$c_v = \frac{w_{V1}}{w_{V1(s=const)}}$$

Obliczenia ekspansji pary w dyszy napędowej nadkrytycznej strumienicy parowo-wodnej

Równania jednorodnego modelu równowagowego

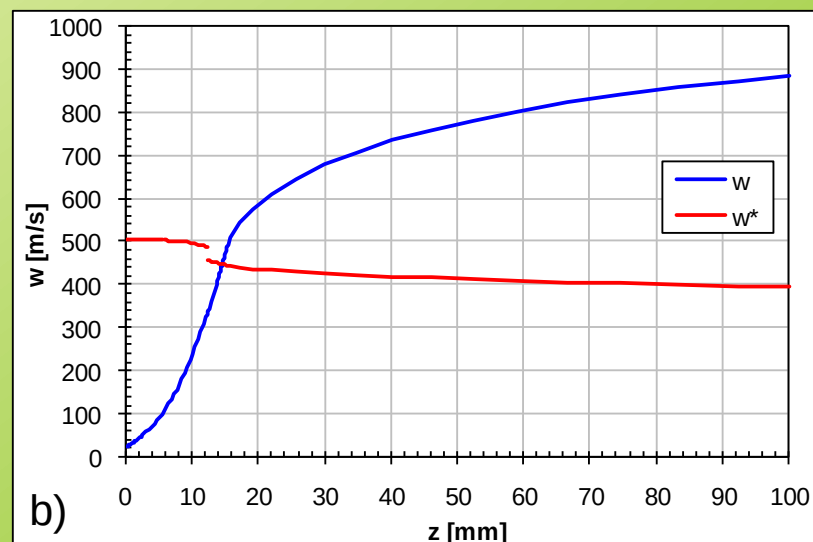
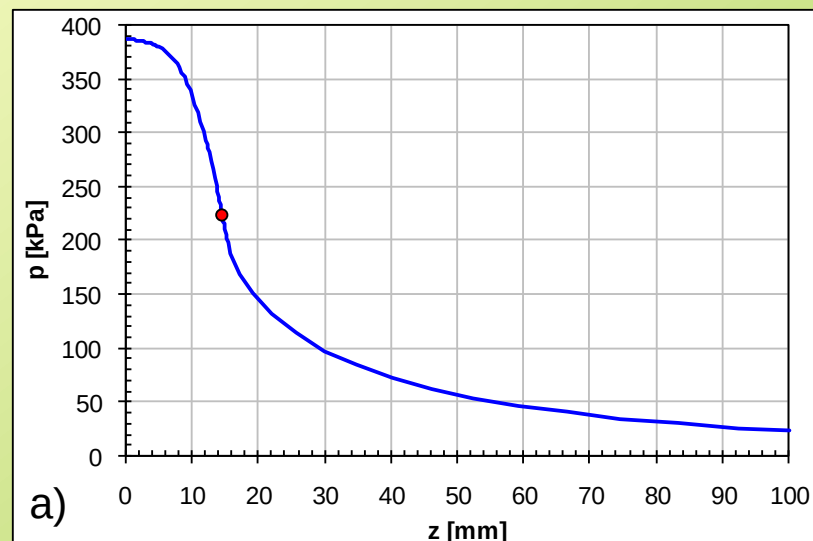
$$\frac{d}{dz}(A\rho w) = 0$$

$$\frac{dp}{dz} + \rho w \frac{dw}{dz} = -\tau_w \frac{C}{A}$$

$$\frac{d}{dz}\left(h + \frac{w^2}{2}\right) = 0$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{\rho_v(p)} + \frac{1-x}{\rho_L(p)} \quad x = \frac{h - h_L(p)}{h_v(p) - h_L(p)} \quad \tau_w = f\rho \frac{w^2}{2}$$

Wyniki obliczeń przepływu w dyszy parowej strumienicy SI2 (krótkiej) dla warunków odpowiadających pomiarowi H2-08: a) profil ciśnienia, b) prędkość przepływu w i prędkość krytyczna w^* . Na krzywej ciśnienia zaznaczono położenie punktu krytycznego.



Zastosowanie procesów elektrohydrodynamicznych oraz nanotechnologii w zagadnieniach cieplno-przepływowych energetyki

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

Przedmiot badań

- ◆ Badanie procesu elektrohydrodynamicznego wytwarzania powłok mikro- lub nanokompozytowych.
- ◆ Badanie procesu wytwarzania i właściwości włókien nanokompozytowych przy zastosowaniu techniki elektroprzędzenia.
- ◆ Wytwarzanie porowatych powłok tlenkowych metodą elektrorozpylania prekursorów.

Uzyskane rezultaty

- ◆ Opracowanie nowej metody wytwarzania nanowłókien filtracyjnych pokrytych nanocząstkami.
- ◆ Opracowanie nowej metody wytwarzania nanostruktur węglowych o dużej porowatości w plazmie elektrycznego wyładowania prądu stałego.
- ◆ Opracowanie nowej metody elektrohydrodynamicznej wytwarzania warstw submikronowych .
- ◆ Opracowanie nowej metody pokrywania mikrocząstek za pomocą nanocząstek w fazie aerozolowej

Projekty badawcze

Własne i promotorskie MNiSW - 6:

1. *Zastosowanie dielektroforezy do regulacji przepływu w mikrokanalach w energetyce rozproszonej* (Projekt MNiSW 3969/T02/2009/36 - kierownik dr M. Lackowski)
2. *Badanie właściwości filtracyjnych nanowłóknin wytworzonych metodą elektrohydrodynamiczną* (Projekt MNiSW 4169/T02/2009/37 - kierownik dr A. Krupa)
3. *Badanie wpływu wyładowania wstecznego na proces odpylania elektrostatycznego* (Projekt habilitacyjny MNiSW 3520/B/T02/2009/37 - kierownik dr A. Krupa)
4. *Pomiar stopnia zapelnienia w przepływach dwufazowych za pomocą przetwornika pojemnościowego* (Projekt MNiSW 2622/T02/2007/32 - kierownik dr A. Krupa) – zakończony
5. *Wytwarzanie nanoproszków i nanowłókien metodą elektrohydrodynamiczną* (Projekt MNiSW 4078/T02/2007/32 - kierownik doc. A. Jaworek) – zakończony
6. *Badania powstawania struktur węglowych w gazach zjonizowanych zawierających węglowodory* (Projekt promotorski 0104/B/T02/2007/33 - kierownik doc. A. Jaworek) – zakończony

Specjalny - 1:

Wytwarzanie nowych nanokompozytowych filtrów membranowych dla nowych zastosowań technologicznych (83/SIN/2006/02 - Joint Singapore-Poland S&T Co-operation - kierownik doc. A. Jaworek) - zakończony

Prace dla przemysłu

1. **C2-4/2009** „Wykonanie analizy spalania różnych rodzajów węgla w kotle OP-230”,
D. Kardaś, M. Lackowski, A. Krupa, T. Kamiński, J. Kluska. Zespół Elektrociepłowni "Wybrzeże".
2. **C2-15/2009** „Pomiar wydatku objętościowego powietrza w suszarni słodu”,
M. Lackowski, D. Kardaś, T. Kamiński, J. Kluska
BALTIC MALT Sp. zoo
3. **C2-29/2009** „Pomiar rozkładu prędkości napływu powietrza na wymiennik ciepła oraz rozkładu temperatury na nim, w suszarni słodu”,
M. Lackowski, A. Krupa, D. Kardaś, T. Kamiński, J. Kluska
BALTIC MALT Sp. zoo.

Publikacje: 14

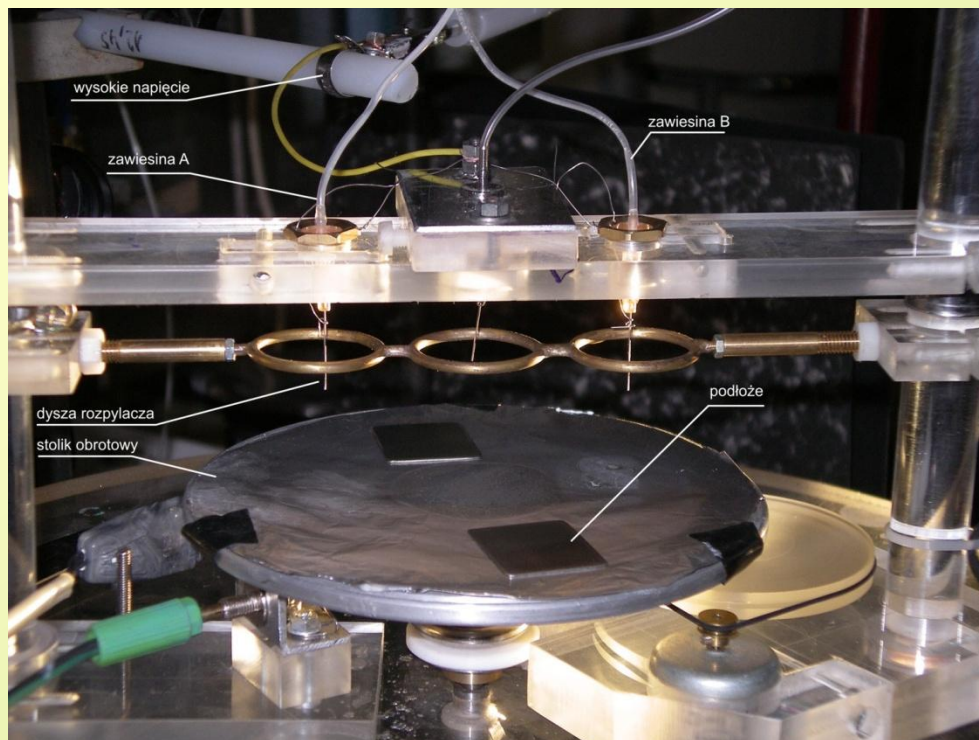
W zadaniach statutowych - 5:

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** (2009) 012010
2. Krupa A., Lackowski M., Czech T., *Dust particles motion in back discharge*. Journal of Physics: Conference Series, **142** (2009) 012040

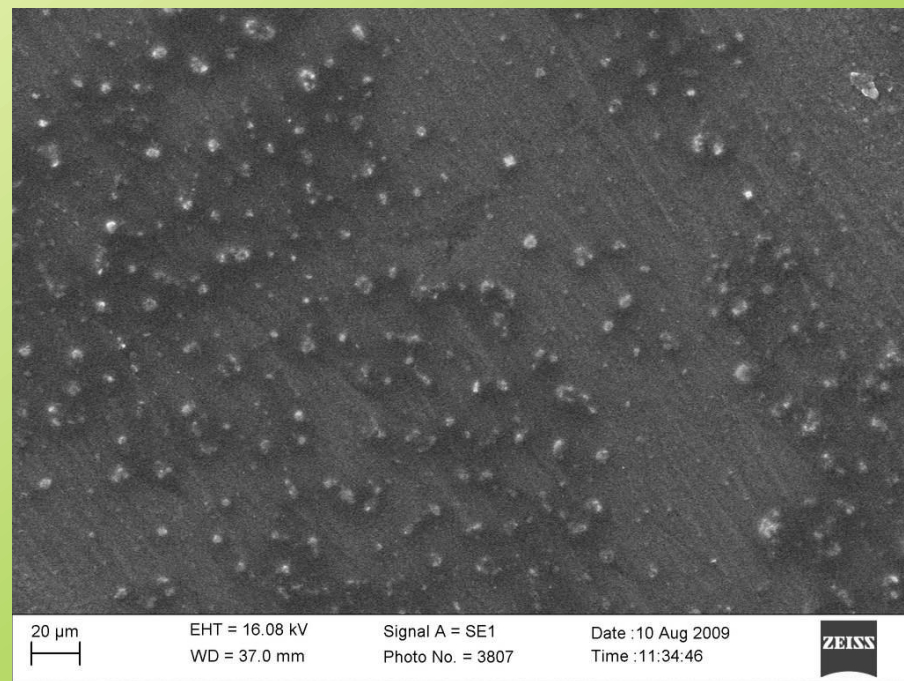
W projektach badawczych - 9:

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., *Nanocomposite fabric formation by electrospinning and electrospraying technology*. Journal of Electrostatics, **67** (2009), No. 2-3, 435-438
4. 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
5. Krupa A., *Laboratory investigations of back discharge in multipoint-plane geometry in flue gases*. Journal of Electrostatics, **67** (2009), No. 2-3, 291-296
6. 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

Wytwarzanie nanocząstek i nanoszenia cienkich warstw metodą elektrohydrodynamiczną

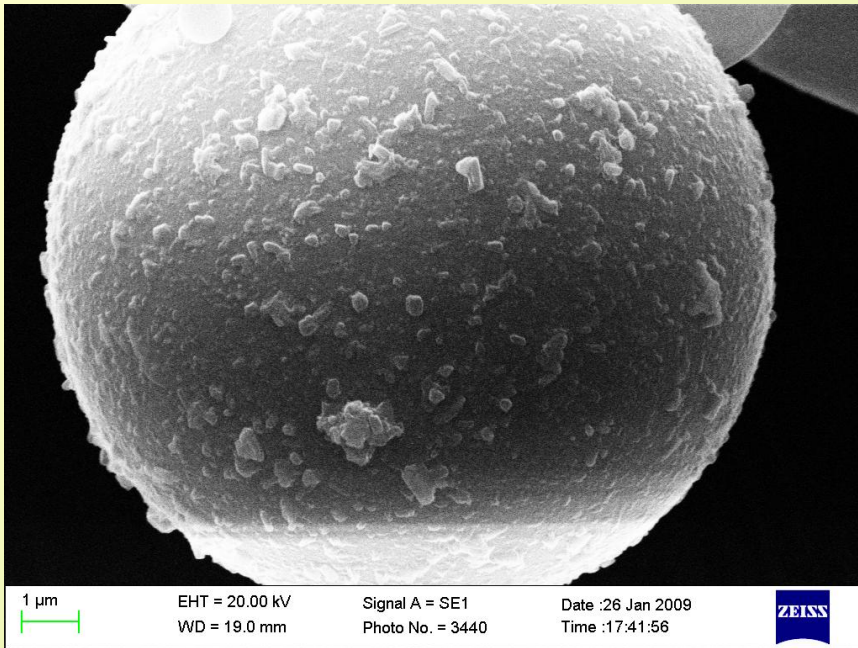


Zdjęcie stanowiska do nanoszenia warstw nanokompozytowych z fazy aerozolowej generowanej metodą elektrorozpylania z dwóch niezależnych dysz.

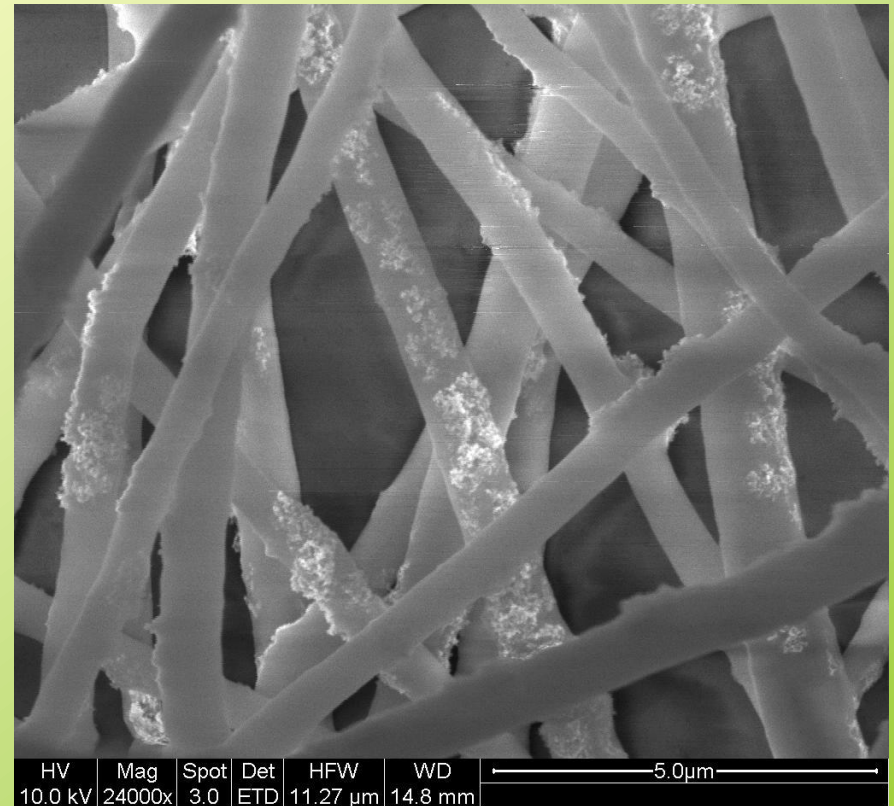


Obraz SEM warstwy cząstek ZrO₂ w matrycy Al₂O₃ na podłożu StSt.

Nanoszenie cienkich warstw



Zdjęcia SEM kulek szklanych 10 µm z osadzonymi nanocząstkami TiO₂ (2.5% zawiesina cząstek TiO₂ w THF). Pokrycie kulek techniką elektrorozpylania i mieszania strug aerozolu.



Zdjęcia SEM włókniny filtracyjnej PVDF z osadzonymi nanocząstkami TiO₂ (5% zawiesina cząstek TiO₂ w THF) wytworzonej metodą elektroprzędzenia.

UWAGI KOŃCOWE

1. Wszystkie zadania zostały wykonane zgodnie z zaplanowanym harmonogramem.
2. Prezentacja pozwoliła wyrobić sobie pogląd o rezultatach osiągniętych w poszczególnych tematach.
3. Wyróżniono temat badawczy Oskara Szulca:

*Zastosowanie perforowanej ściany
do likwidacji fali uderzeniowej
na wirniku helikoptera*

(osobna prezentacja)