

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

85

WARSZAWA - POZNAŃ 1983

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA – EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK
KAZIMIERZ STELLER · ROBERT SZEWAŃSKI (PRZEWODNICZĄCY · CHAIRMAN)
JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY – EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER – REDAKTOR – EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA – EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1983

Printed in Poland

ISBN 83-01-04191-9
ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 380+90 egz.	Oddano do składania 5 VII 1982 r.
Ark. wyd. 22. Ark. druk. 15	Podpisano do druku 4 III 1983 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w marcu 1983 r.
Nr zam. 440/179	N-5/1001.

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

JAROSŁAW MIKIELEWICZ

**Działalność naukowa
Zakładu Termodynamiki i Wymiany Ciepła
w latach 1976 - 1980**

Отдел термодинамики и теплообмена

Проблематика исследований проводимых Отделом сосредотачивалась на:

- исследованиях и оптимизации проточных миксеров,
- исследовании новых энергетических циклов тепловых установок,
- исследовании конвективного теплообмена во время фазовых переходов, а также исследовании двухфазных течений,
- исследовании циклов с систем солнечных силовых установок.

Department of Thermodynamics and Heat Transfer

Research problems of the Department resolved in the years 1976 - 1980 to the following subject matters:

- research and optimization of through-mixers,
- new energetic cycles of heat power stations,
- convective heat transfer in flow and especially heat exchange during phase changes and two-phase flows,
- cycles and systems of solar power stations.

1. Wstęp

Problematyka badawcza Zakładu w latach 1976 - 80 była objęta problemem międzyresortowym MR I.26 oraz problemem węzłowym 03.7 i sprowadzała się do tematów:

- prace badawcze i optymalizacyjne w grupie mieszalników o charakterze podstawowym (03.7),
- nowe obiegi energetyczne siłowni ciepłych (MR I.26.01),
- konwekcyjna wymiana ciepła w przepływach (MR I.26-06.1),
- obiegi i układy siłowni słonecznych (MR I.26.04.4).

W zakresie prac nad mieszalnikami przepływowymi prowadzono badania teoretyczne mieszania się strug cieczy w przestrzeni ograniczonej (rurze) oraz badania eksperymentalne na stanowiskach laboratoryjnych oraz póltechnicznych. Wyniki badań dały podstawę do zawarcia umowy badawczo-wdrożeniowej z Gdańskimi Zakładami Rafineryjnymi na komponowanie olejów napędowych metodą mieszania przepływowego.

Studia nad nowymi obiegami energetycznymi obejmowały różne modyfikacje, powstałe w latach ubiegłych, koncepcji obiegu wysokosprawnego o parametrach nadkrytycznych [1] oraz technicznego opracowania najważniejszego jej elementu, wymiennika wysokotemperaturowego. W ramach zadania dotyczącego powietrznego chłodzenia skraplaczy obiegów turbinowych, badano wymianę ciepła pomiędzy powietrzem silnie nawilżonym (mgłowym) a powierzchnią wymiany ciepła (płyta, rura). Zadanie to realizowano od 1979 r. w ramach konwekcyjnej wymiany ciepła (MR I.26.06).

Badania w zakresie konwekcyjnej wymiany ciepła w przepływie obejmowały: badania przepływu i wymiany ciepła przy ciśnieniu nadkrytycznym, wymianę ciepła przy wrzeniu z przepływem oraz kryzys wrzenia w przepływie, badania przenoszenia ciepła i stabilności cienkich warstw cieczy poruszanych przez intensywny ruch fazy gazowej lub siłę grawitacji. Ponadto badano wpływ zaburzeń sinusoidalnych na wymianę ciepła w zbiorniku symulującym zbiornik na statku — tankowcu. Od 1979 r. w ramach tego tematu opracowywano zagadnienie powietrznego działania skraplaczy.

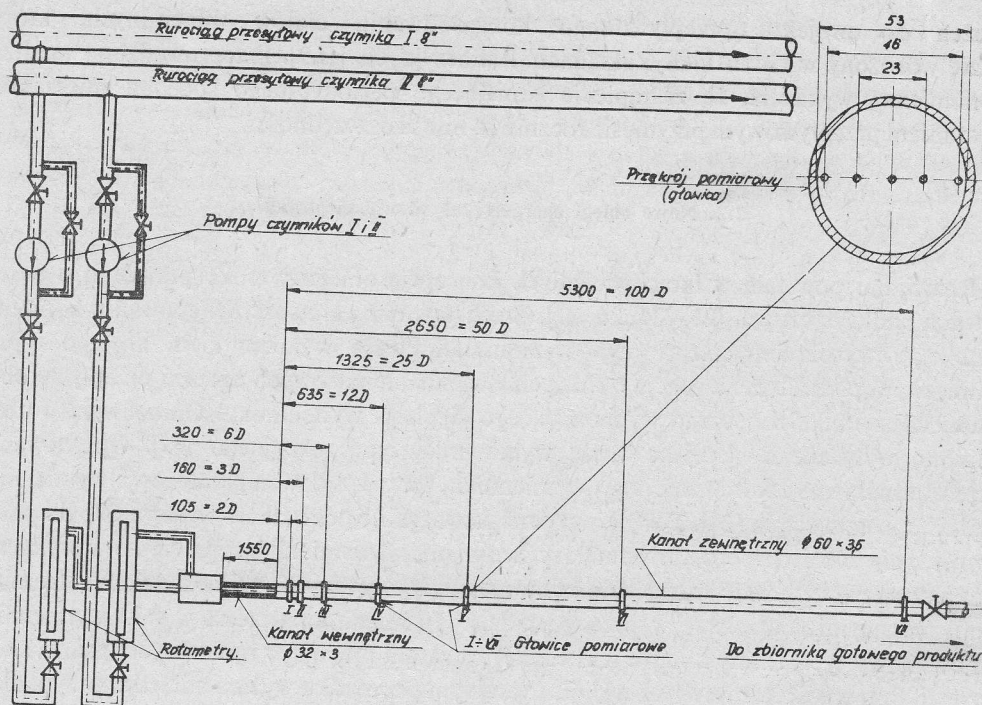
W 1978 r. zapoczątkowano nowy temat badawczy obiegi i układy siłowni słonecznych. W ramach tego tematu przedstawiono koncepcję siłowni słonecznej małej mocy dla warunków krajowych. Pracowano nad doбором właściwego typu kolektora słonecznego, doбором czynnika roboczego siłowni oraz jego parametrów.

2. Problematyka prac Zakładu

2.1. Prace badawcze i optymalizacyjne w grupie mieszalników o charakterze podstawowym

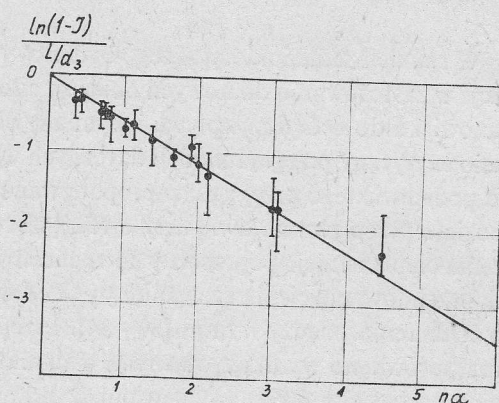
Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie wybrał IMP PAN jako jednostkę koordynującą prace teoretyczne i eksperymentalne dotyczące mieszalników przepływowych dla przemysłu chemicznego. Oprócz koordynacji prac prowadzono w Zakładzie własne badania podstawowe z zakresu tej tematyki.

Przeprowadzono analizę teoretyczną mieszania się strug w przestrzeni ograniczonej (rurze). Wprowadzono klasyfikację zagadnień mieszania oraz opracowano modele teoretyczne mieszania w poszczególnych strefach mieszania. Zdobyte rozeznanie teoretyczne pozwoliło na przeprowadzenie badań eksperymentalnych na specjalnie do tego celu zbudowanym stanowisku eksperymentalnym. Badano mieszanie się dwu koncentrycznych współosiowych strumieni wody w rurze we współprądzie. Badanie eksperymentalne pozwoliło na określenie intensywności zmieszania w zależności od prędkości mieszanych strumieni, geometrii wlotów doprowadzających strumienie do przestrzeni mieszania oraz geometrii przestrzeni mieszania. Intensywność mieszania określono za pomocą pola temperatur, pola stężeń lub gęstości optycznej dodawanego do przepływu barwnika. Stwierdzono, że stopień zmieszania wzdłuż kanału zmienia się w strefie podstawowej według funkcji wykładniczej. Opracowano empiryczne zależności współczynnika intensywności mieszania od parametru α , który określono jako pierwiastek kwadratowy ze stosunku pędów strumieni cieczy [11]. Parametr ten uwzględniał natężenie przepływu, stosunek prędkości mieszanych strumieni oraz stosunek średnic kanałów i dobrze korelował wyniki pomiarów. Dalsze badania dotyczyły badania wpływu lepkości płynów, którą zmieniano w granicach



Rys. 1. Zestaw badawczy do pomiarów intensywności mieszania w przepływie olejów mineralnych

od 1,32 do 23,8 cP. Pomiary te przeprowadzono w Gdańskich Zakładach Rafineryjnych na stanowisku przedstawionym na rysunku 1. Ponadto badano intensywność mieszania cieczy w strumienicy wielodyszowej. Wyniki pomiarów skorelowano za pomocą iloczynu



Rys. 2. Zależność wielkości $\frac{\ln(1-J)}{L/d_3}$ od $n\alpha$,
 J — stopień wymieszania

parametru α i liczby dysz (rys. 2) [17]. Zbadano mieszanie w strefie początkowej mało aktywnej oraz w strefie podstawowej intensywnego mieszania.

Wyniki badań posłużyły do opracowania stanowiska na skalę półtechniczną mieszania w przepływie rafinatu z rozpuszczalnikiem dla Gdańskich Zakładów Rafineryjnych, oraz

założeń do projektu przepływowego komponowania olejów mineralnych, który będzie wdrożony w Gdańskich Zakładach Rafineryjnych [III.9]. Przeprowadzona analiza ekonomiczna wykazała, że zastąpienie istniejącego periodycznego sposobu mieszania, mieszaniem przepływowym przyniesie rocznie 34 mln zł oszczędności.

2.2. Nowe obiegi energetyczne siłowni ciepłych

Rozwijano powstałą w latach ubiegłych koncepcję obiegu wysokosprawnego o parametrach nadkrytycznych [21 - 24, 26, 27]. Przedstawiono celowość zastępowania konwencjonalnego wysokotemperaturowego wymiennika ciepła wymiennikiem nowego typu, zmiennym podziałem na sekcje o różnych stosunkach masowych natężeń przepływu obu strumieni czynnika roboczego wymieniającego ciepło w wymienniku. Opracowano i uzasadniono wytyczne do projektowania wymiennika typu sekcyjnego [23]. Opracowano także alternatywne rozwiązanie tego wymiennika, tzw. wysokotemperaturowy wymiennik ciepła z upustem ciepła [24]. To alternatywne rozwiązanie pozwala na wyrównanie do pewnego stopnia różnic temperatur pomiędzy strumieniami wymieniającymi ciepło w wymienniku i pozwala zachować w zasadzie konwencjonalny typ wymiennika z dwoma strumieniami płynącymi równolegle w przeciuprądzie. Turbina zaopatrzona w taki wymiennik stanowi nowy typ turbiny z „upustem ciepła”, a zatem pracuje w ramach gospodarki skojarzonej. Sprawność konwersji energii jest w danym przypadku wyższa aniżeli w przypadku turbiny bez upustu.

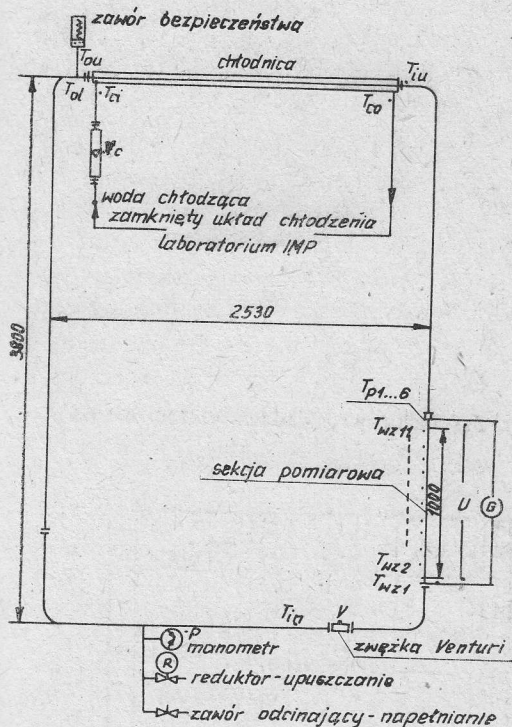
Zadanie dotyczące powietrznego chłodzenia skraplaczy początkowo realizowano w ramach niniejszego tematu, a następnie, od roku 1979, w ramach konwekcyjnej wymiany ciepła. Całość wyników badań przedstawiono w następnym punkcie opracowania.

2.3. Konwekcyjna wymiana ciepła w przepływach

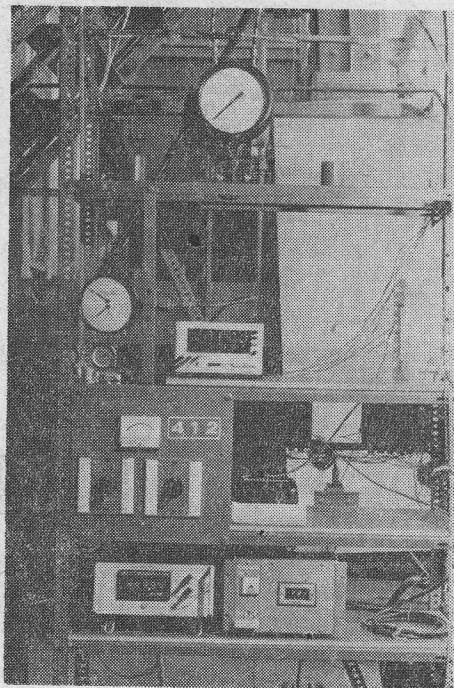
W ramach zadania dotyczącego badań wymiany ciepła przy wrzeniu i kondensacji w zastosowaniu do nowych obiegów siłowni turbinowych, zbudowano i uruchomiono stanowisko do badań przepływu i wymiany ciepła przy ciśnieniu nadkrytycznym. Opracowano krytyczny przegląd modeli fizycznych wymiany ciepła przy ciśnieniu nadkrytycznym. Na podstawie tego przeglądu zaproponowano własny model wymiany ciepła. Polega on na podziale przepływu na dwie fazy o różnych własnościach fizycznych. Wskutek doprowadzenia ciepła istnieje poprzeczny do ruchu strumień masy między tymi fazami. Współczynnik przejmowania ciepła uzależniony jest od wymiany ciepła w obu fazach oraz poprzecznego strumienia między fazami [30 - 34]. Przeprowadzono obszerną dyskusję nad modelem oraz porównano wyniki z własnymi badaniami eksperymentalnymi. Badania prowadzono na stanowisku, którego schemat pokazano na rysunku 3, przy użyciu CO_2 jako czynnika roboczego. Fragment stoiska ilustruje rysunek 4. Wyniki pomiarów temperatury ścianki przedstawia rysunek 5, a obliczane według nowej metody profile prędkości i temperatury w kanale rysunek 6. Uzyskano zadowalającą zgodność opracowanych wyników teoretycznych z wynikami badań eksperymentalnych. Zarówno badania teoretyczne jak i eksperymentalne wskazały na istnienie kryzysów wymiany ciepła. Wykazano, że najprawdopo-

dobniej przyczyną kryzysu jest laminaryzacja przepływu. Zaproponowano własny model opisu kryzysów wymiany ciepła przy ciśnieniu nadkrytycznym [31, 33, 34]. Model ten porównywano z wynikami badań.

Badano również kryzys wymiany ciepła podczas wrzenia z przepływem. Opracowano analityczny model kryzysu wrzenia w przepływie, bazujący na układzie różniczkowych



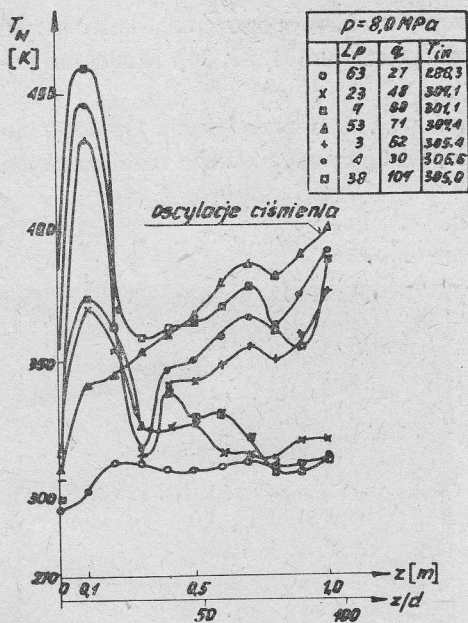
Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego do badania wymiany ciepła w przepływie przy ciśnieniu nadkrytycznym



Rys. 4. Fragment stanowiska badawczego do badania wymiany ciepła w przepływie przy ciśnieniach nadkrytycznych

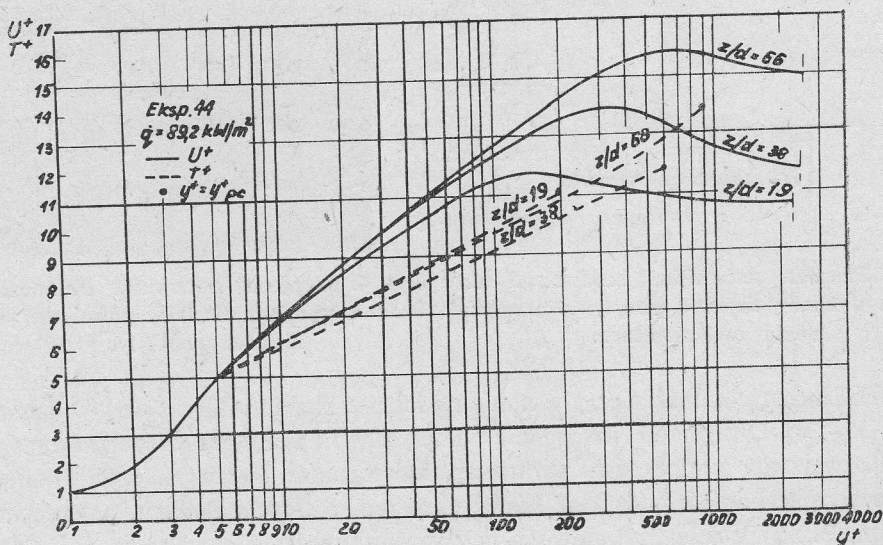
równań bilansowych, ilości cieczy w filmie na ścianie kanału i ilości cieczy w jądrze przepływu [35 - 38]. Otrzymano rozwiązania numeryczne i analityczne zlinearyzowanego modelu. Rozwiązanie zawiera dwa parametry, które trudno jest wyznaczyć analitycznie, a które wyznaczono na podstawie badań eksperymentalnych. Badania przeprowadzono dla freonu 21 na specjalnym stanowisku badawczym przedstawionym m. in. w [1]. Opracowano korelacje bezwymiarowe pozwalające na obliczanie parametrów występujących w modelu teoretycznym. Podobne korelacje opracowano również na podstawie literatury dla freonu 12 [35, 38].

Kontynuowano badania wrzenia w przepływie rozwijając koncepcje energetyczne opisu tego zjawiska [41]. Uwzględniono wpływ różnicy gradientu temperatury w warstwie przysciennej podczas wrzenia z przepływem w porównaniu z wrzeniem w objętości [42]. Zaobserwowano podczas badań eksperymentalnych oraz wyjaśniono teoretycznie zjawisko tzw.



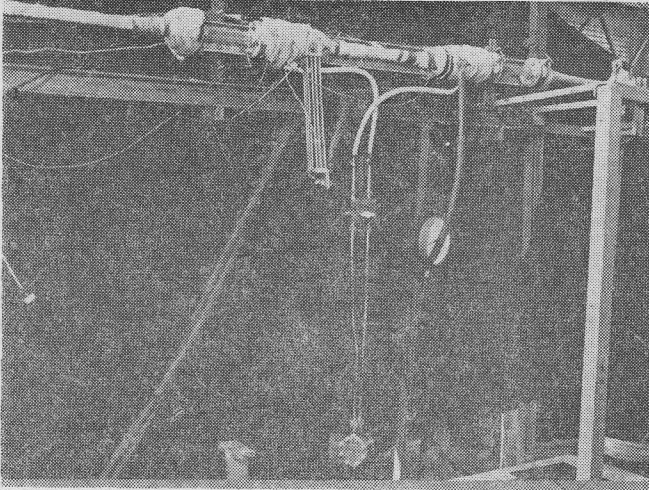
Rys. 5

Rys. 5. Wzdłużny rozkład temperatury ścianki

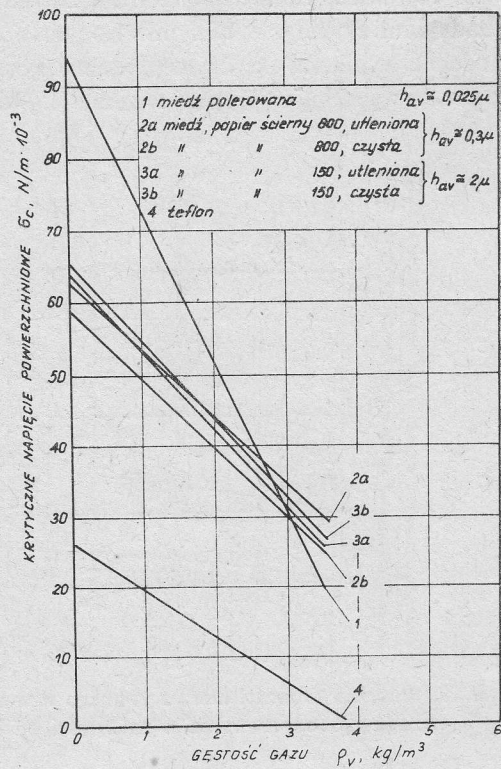


Rys. 6. Bezwymiarowe profile prędkości i temperatury w wybranych przekrojach kanału przy dużej gęstości strumienia ciepłego

„zerowego kryzysu wrzenia”. Badano teoretycznie i eksperymentalnie struktury przepływu dwufazowego w warunkach adiabatycznych. Fragment stoiska eksperymentalnego przedstawia rysunek 7. Na fotografii widać odcinek poziomy pętli cyrkulacyjnej ogrzewany elektrycznie oraz kanał szklany dający możliwość bezpośredniego obserwowania struktury

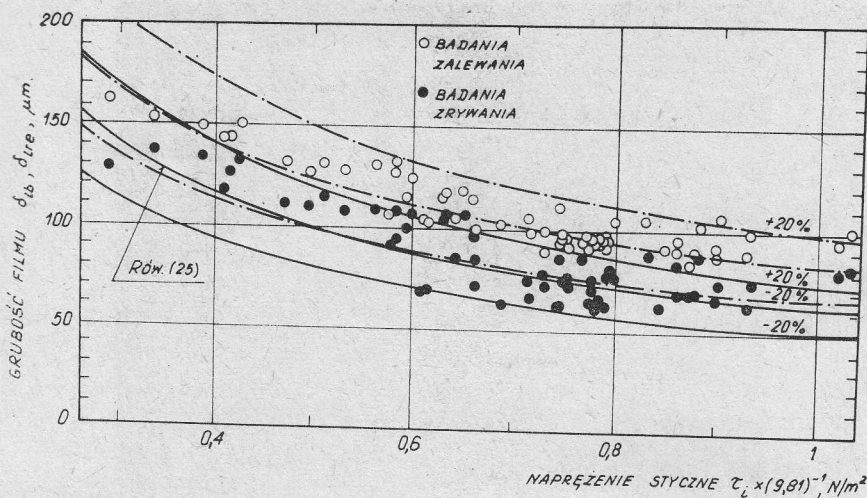


Rys. 7. Fragment stanowiska eksperymentalnego do badań wrzenia pęcherzykowego w kanale oraz struktur przepływu



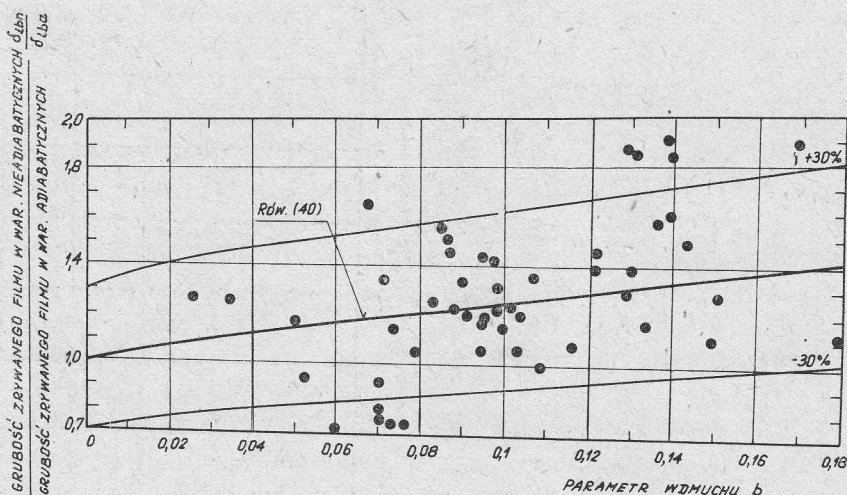
Rys. 8. Zależność krytycznego napięcia powierzchniowego od gęstości gazu

przepływu. Opracowano energetyczny model struktur przepływu dwufazowego [14]. Model ten bierze pod uwagę energie kinetyczne oraz powierzchniowe obu faz. Minimum energii całkowitej stanowi kryterium konieczne istnienia określonych struktur. Sformuło-



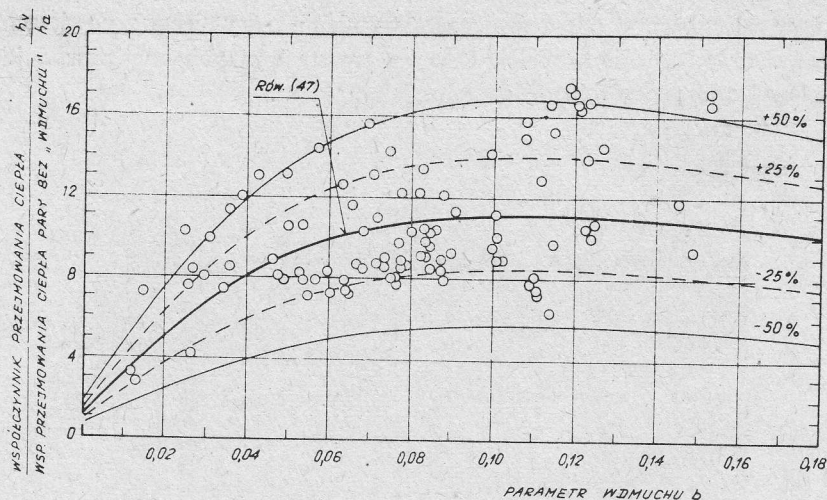
Rys. 9. Grubość filmów: zrywanego i zalewanego w funkcji naprężenia stycznego

wano również kryteria dostateczne istnienia poszczególnych struktur. Model porównano z badaniami eksperymentalnymi własnymi oraz innych autorów. Uzyskano dobrą zgodność modelu z wynikami eksperymentalnymi. Ponadto, badano wpływ domieszek organicznych na proces wymiany ciepła przy wrzeniu [45, 46].



Rys. 10. Stosunek grubości filmu zrywanego w warunkach odparowania filmu do grubości filmu zrywanego bez odparowania w zależności od intensywności odparowania — parametr b .

W zakresie badań nad cienkimi warstwami cieczy płynącymi po powierzchni ciała stałego opracowano nową koncepcję określania kąta zwilżania opartą na pomiarze krytycznego napięcia powierzchniowego ciała stałego. Krytyczne napięcie powierzchniowe powierzchni ciała stałego znajdowano za pomocą własnej oryginalnej metody, która polega

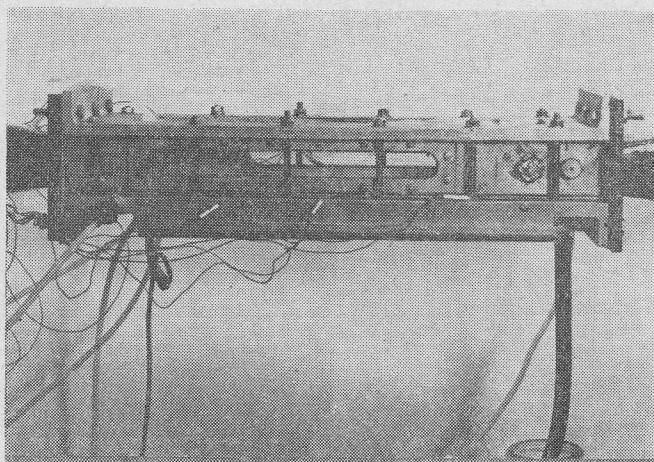


Rys. 11. Stosunek współczynnika przejmowania ciepła pary w warunkach odparowania filmu do współczynnika przejmowania ciepła pary w warunkach braku odparowania filmu, w zależności od parametru b

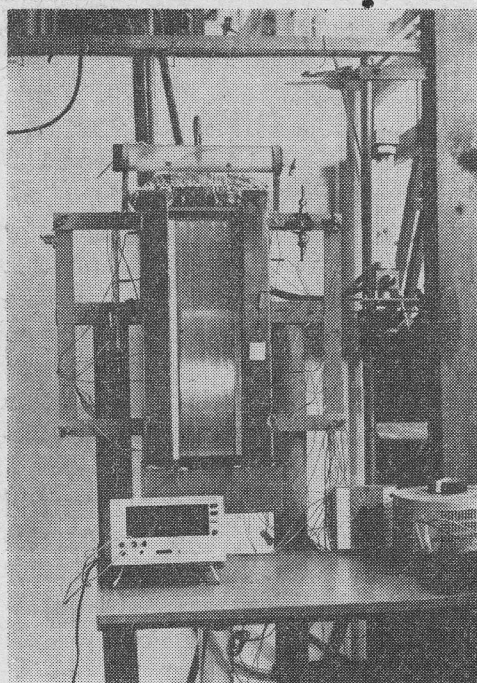
na pomiarze śladu kropli zsuwającej się po nachylonej powierzchni oraz masy kropli przed pomiarem. Opracowano przyrząd do pomiaru krytycznego napięcia powierzchniowego oparty na wspomnianej metodzie, który pozwolił na przeprowadzenie szeregu badań eksperymentalnych zwilżalności powierzchni o różnym przygotowaniu [47, 48]. Wyniki badań wskazują na silny wpływ atmosfery gazowej na krytyczne napięcie powierzchniowe (rys. 8). Badano eksperymentalnie cienkie warstwy cieczy w postaci filmu lub strug, których ruch wywołany był siłą grawitacji lub intensywnym ruchem fazy gazowej [50, 55, 57, 58]. Przeanalizowano i opracowano wyniki badań odparowania oraz rozrywania się filmów na pionowej rurze [53, 54, 56, 61, 64]. Opracowano zależności empiryczne na naprężenia styczne na powierzchni rozdziału faz, w warunkach doprowadzenia ciepła do filmu lub bez [62 - 64]. Zmienność grubości filmu od naprężenia stycznego ilustruje rysunek 9. Wskazano na różnice i analogie pomiędzy odparowaniem masy z filmu do warstwy przysicennej a „wdmucha” gazu do warstwy przysicennej. Na rys. 10 i 11 przedstawiono odpowiednio grubość rozrywającego się filmu i współczynnik przejmowania ciepła w warunkach nieadiabatycznych, odniesione do wielkości w warunkach adiabatycznych w funkcji parametru wdmuchu. Syntetyczne ujęcie tych zagadnień znalazło wyraz w pracy [64]. W pracy [50] zbadano eksperymentalnie wpływ gęstości strumienia cieplnego na grubość rozrywanego filmu. Strumień cieplny powoduje obniżenie się wartości naprężeń stycznych na granicy rozdziału faz para-ciecz, a to z kolei, zgodnie z wcześniej opracowaną teorią hydrodynamiczną rozrywania się filmu cieczowego, powoduje większą niż w warunkach adiabatycznych grubość rozrywającego filmu.

Zbadano eksperymentalnie oraz opracowano model teoretyczny zagadnienia odparowania cienkiego filmu poruszanego przez naprężenia styczne. Stoisko eksperymentalne przedstawiono na rysunku 12. Wykazano, że opór cieplny parowej warstwy przysicennej jest porównywalny z oporem cieplnym filmu wodnego. Opór cieplny warstwy przysicennej

zmienia się w zależności od odparowującego strumienia masy cieczy z powierzchni filmu. Zaobserwowano, że istnienie kropelek cieczy w warstwie przysiennej powoduje znaczną intensyfikację wymiany ciepła w porównaniu z ich brakiem.

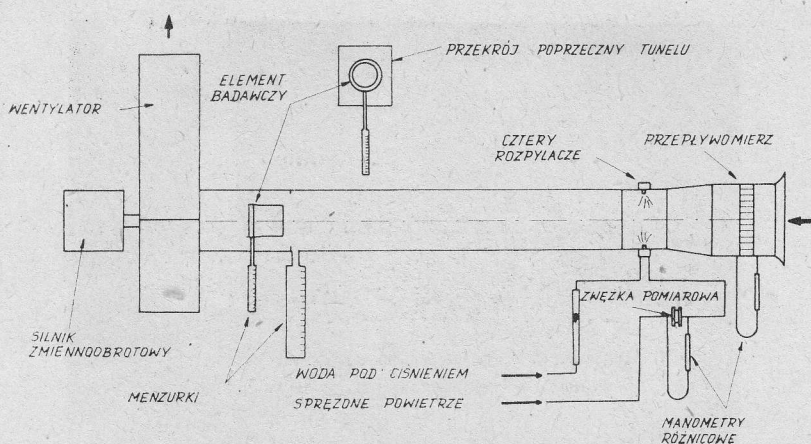


Rys. 12. Stanowisko eksperymentalne do badań odparowania strug cieczy w warunkach intensywnego ruchu fazy gazowej

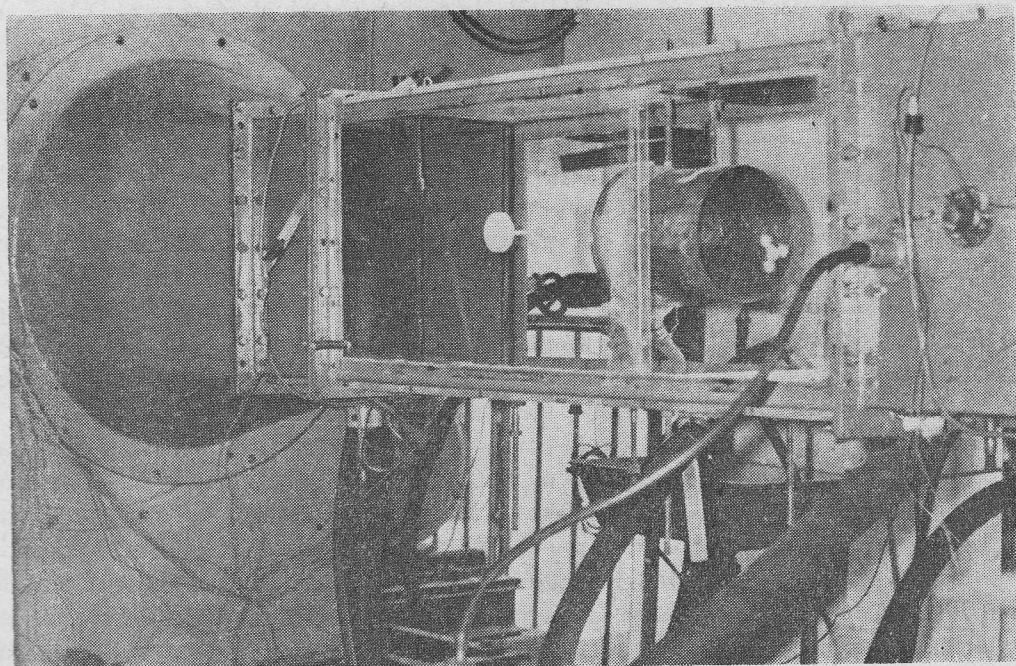


Rys. 13. Stanowisko eksperymentalne do badania odparowania strug w warunkach spływu grawitacyjnego

Prowadzono badania teoretyczne ruchu filmu wodnego oraz rozpadu filmu przy istnieniu znacznego gradientu ciśnienia w kanale o zmiennym przekroju [65]. Uzyskano teoretyczną zależność bezwymiarowej grubości filmu cieczowego od bezwymiarowego gradientu ci-



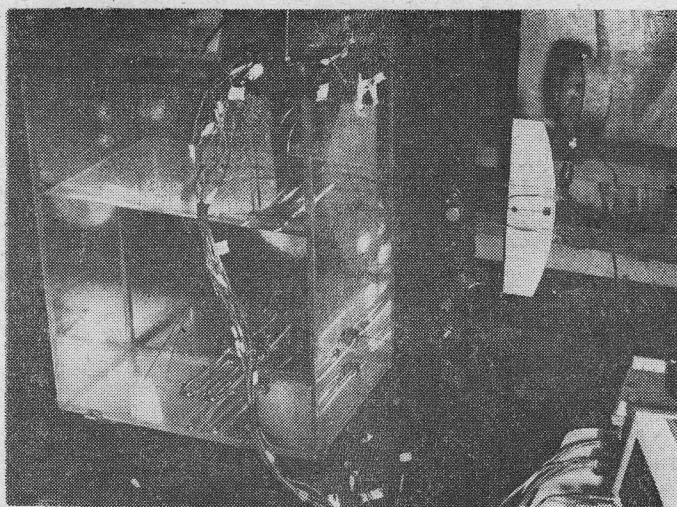
Rys. 14. Schemat stanowiska eksperymentalnego do badania separacji kropeł z turbulentnego strumienia powietrza



Rys. 15. Widok stanowiska eksperymentalnego do badania separacji kropeł z turbulentnego strumienia powietrza

nienia oraz kąta zwilżania. Okazało się, że w zakresie praktycznie istniejących gradientów ciśnienia w kanale łopatki kierowniczej turbiny wpływ gradientu na rozpad filmu można pominąć. Rezultaty badań nad stabilnością i odparowaniem filmu wykorzystano do analizy ruchu filmu po powierzchni łopatki kierowniczej [66, 67].

Rozpatrzono zjawiska towarzyszące ruchowi cienkiej warstwy cieczy w przepływie dwufazowym. Analizowano opór kropli w warstwie przyściennej [39], odrywanie się kropeł



Rys. 16. Fragment stanowiska eksperymentalnego do badania wpływu zaburzeń sinusoidalnych na wymianę ciepła w zbiorniku

z filmu [70, 72]. Odrywanie się kropeł z filmu poprzedzone jest powstawaniem fal na powierzchni filmu. Rozpatrzono ruch falowy cienkiej warstwy cieczy poruszanej przez intensywny ruch fazy gazowej zarówno przy małych amplitudach jak i przy dużych, tzw. „fale toczące się”. Sformułowano kryterium odrywania się kropeł z filmu. Wyniki badań teoretycznych porównane z badaniami obcymi uzyskują dobrą zgodność. Rozpatrzono dyfuzyjno-bezwładnościowy model separacji kropelek z przepływu mgłowego [44]. Przyjęto, że skalą ruchów bezwładnościowych kropeł jest tzw. „droga hamowania” i ona decyduje o intensywności dyfuzyjnej separacji kropeł. W podwarstwie laminarnej uwzględniono separujący wpływ sił Magnusa. Wyniki analizy teoretycznej porównano z badaniami eksperymentalnymi innych autorów uzyskując zadowalającą zgodność.

Badaniom poddano nie tylko ciągle warstwy cieczy płynące po powierzchni ciała stałego, ale również nieciągle – strugi. Dla ustroju strugowego opracowano analitycznie opór cieplny ścianki, po której płyną strugi cieczy. Prowadzono równoległe badania teoretyczne i eksperymentalne odparowania strug z powierzchni ciała stałego. Opracowano zagadnienie oporu cieplnego strug podczas ich laminarnego przepływu. Zastosowano przy tym metodę odwzorowań i rozwiązań w odwzorowanej płaszczyźnie zespolonej [59]. Badania eksperymentalne ustroju strugowego dotyczyły odparowania strug oleju i gliceryny z powierzchni płyty pionowej (rys. 12). Uzyskano eksperymentalną zależność kąta zwilżania strug od natężenia przepływu w strudze, która dobrze zgadza się z poprzednio opracowanymi zależnościami teoretycznymi. Opracowano także zależność stosunku rzeczywistego oporu cieplnego strugi do teoretycznego w zależności od liczby Reynoldsa przepływu w strudze [61, 73 - 75].

W ramach zadania dotyczącego powietrznego chłodzenia skraplaczy obiegów konwencjonalnych oraz nowych obiegów siłowni turbinowych zbadano wymianę ciepła pomiędzy powietrzem a pęczkiem rur żebrowych. Badania przeprowadzono dla pęczków rur o układzie szeregowym i szachownicowym. Wyniki badań uogólniono

biorąc pod uwagę zarówno geometrię pęczka jak i rury żebrowej, przedstawiając je w postaci zależności kryterialnych [76 - 81]. Dalsze badania prowadzono dla powietrza silnie nawilżonego, tzw. „mgłowego”, gdyż stwierdzono, że podczas powietrznego chłodzenia skraplacz niezbędna jest intensyfikacja przejmowania ciepła od ścianki do powietrza [82 - 84, 87 - 90, 92]. Intensyfikację taką zapewnia nawilżenie powietrza aż do uzyskania mgły. Badania laboratoryjne nad tym zagadnieniem doprowadziły do pewnych ubocznych wyników. Stwierdzono, że obecność powietrza w parze grzejnej wywiera szkodliwy wpływ na wielkość średniego współczynnika przejmowania ciepła oraz powoduje niepożądany jego rozkład w wymienniku wymieniającym ciepło z powietrzem [76, 78].

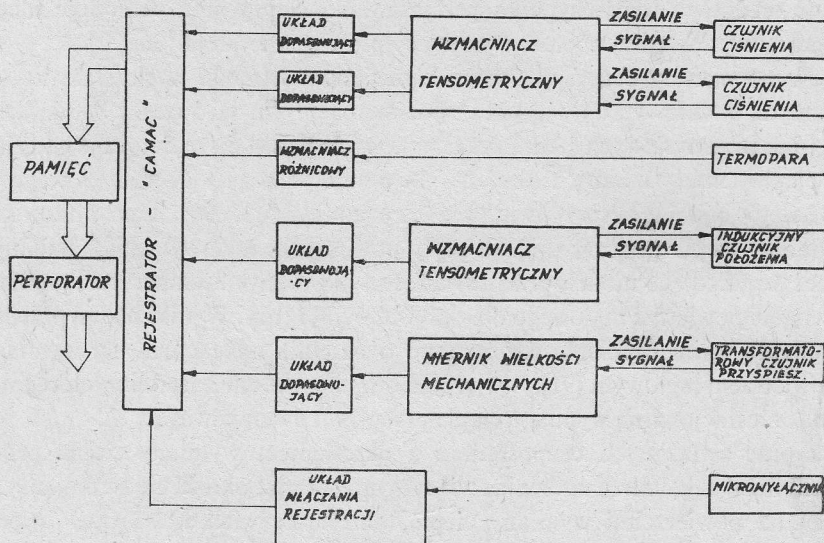
Opracowano metody badań nagrzewnic powietrza. Metoda ta pozwala na skrócenie pracochłonnych badań wymiany ciepła i oporów przepływu zarówno w badaniach laboratoryjnych i jak przemysłowych [81]. Prowadzono rozległe studia teoretyczne nad zjawiskiem wymiany ciepła i masy między turbulentnym przepływem powietrza mgłowego a płaską płytą, równolegle badając eksperymentalnie to zagadnienie [87, 90]. Zaproponowano prosty model wymiany ciepła podczas opływu płyty powietrzem mgłowym [90]. Badania eksperymentalne, weryfikujące model, przeprowadzono dla różnych temperatur, prędkości i zawartości wilgoci powietrza mgłowego dla opływu płytki i rury. Wyniki badań przedstawiono w [92]. Badania wymiany ciepła rozszerzono o badania niestacjonarnej wymiany ciepła płytki z powietrzem mgłowym [91]. Stwierdzono występowanie zasadniczych różnic między stacjonarną i niestacjonarną wymianą ciepła przepływu dwufazowego.

Oprócz prac związanych bezpośrednio z określeniem wymiany ciepła prowadzono także badania nad zagadnieniami z nią związanymi, jak np.: określenie strumienia separacji fazy ciekłej na powierzchni wymiany ciepła, określenie wielkości kropeł w przepływie powietrza mgłowego [85, 86, 93, 94].

Do badań separacji fazy ciekłej, zaadaptowano istniejący tunel powietrzny, zaprojektowano i wykonano element pomiarowy, na którym prowadzono badania. Określenie widma kropelek wody zawartej w przepływie powietrza mgłowego jest istotne i trudne. Z wielu możliwych metod badań przyjęto dwie. Pierwsza oparta jest na pomiarze kropeł za pomocą sondy igłowej, druga polega na wyłapywaniu kropeł na warstwę sadzy. Za pomocą tych dwóch metod przeprowadzono pomiary widma kropeł w tunelu powietrznym. Opis metody badań oraz wyniki badań średnic kropeł przedstawiono w [86].

Oprócz badań wymiany ciepła przeprowadzono obszerne studia teoretyczne i eksperymentalne separacji kropelek z powietrza mgłowego na płytę. Zaproponowano własny model separacji cząstek, który uwzględnia różnice w dyfuzyjności gazu i cząstki [94, 101]. Model pozwala na obliczenie separacji cząstek na ściankach kanałów pionowych [101] jak i dowolnie zorientowanych [102], gdyż uwzględnia on wpływ grawitacji na intensywność separacji cząstek. Wyniki analizy teoretycznej porównano z własnymi badaniami oraz dostępnymi badaniami eksperymentalnymi innych autorów uzyskując zadowalającą zgodność. W ramach tej tematyki badano również odparowanie rozpylonej wody podczas sprężania powietrza. Celem eksperymentu było zarejestrowanie przebiegów podstawowych wielkości termodynamicznych podczas szybkiego sprężania powietrza z równoczesnym wtryskiem rozpylonej wody. Zjawisko to zrealizowano na stoisku eksperymentalnym z automatycznym układem rejestracji przebiegów parametrów termodynamicznych (rys. 17).

Był to zestaw minikomputerowego systemu CAMAC. Rejestrowano przebiegi następujących wielkości: ciśnienie powietrza w cylindrze, ciśnienie wtryskiwanej wody, położenie tłoka, przyspieszenie tłoka, temperaturę w cylindrze. Mierzono ponadto ilość wtryskiwanej wody. Czas trwania pojedynczego eksperymentu wynosił ok. 0,03 s. W tym czasie rejestrowano ok. 60 punktów dla każdego parametru, przebiegi zapisywano na taśmie perforowanej.



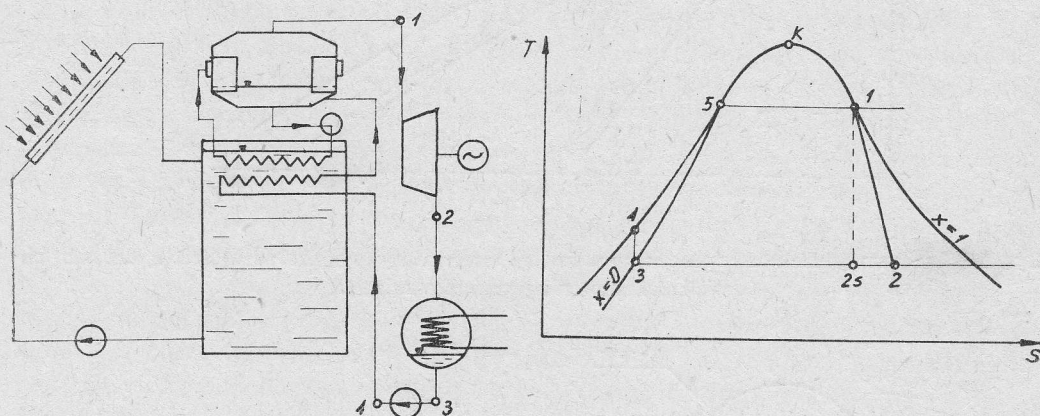
Rys. 17. Ogólny schemat układu pomiarowego

Ponadto prowadzono badania nad konwekcyjną wymianą ciepła w przestrzeni zamkniętej w obecności drgań w zastosowaniu do zbiorników tankowców przewożących oleje mineralne. W ramach tego zagadnienia zbudowano stanowisko eksperymentalne do badania wpływu zaburzeń sinusoidalnych na wymianę ciepła w zbiorniku oraz przeprowadzono badania teoretyczne zachowania się cieczy w zbiorniku poddanym wymuszeniom harmonicznym [95 - 97]. Badania eksperymentalne wymiany ciepła przeprowadzono przy użyciu wody i oleju, przy zmianie amplitudy i częstotliwości drgań oraz położeniu osi obrotu zbiornika. Wyniki badań opracowano w postaci bezwymiarowych liczb kryterialnych za pomocą dwóch metod. Pierwsza metoda ujmuje globalną wymianę ciepła zbiornika z otoczeniem, druga natomiast dekomponuje zbiornik na poszczególne ściany. Obie metody dają dobre rezultaty i nadają się do obliczeń inżynierskich. Stanowisko do badania wymiany ciepła w zbiorniku przedstawiono na rysunku 16.

2.4. Obiegi i układy siłowni słonecznej

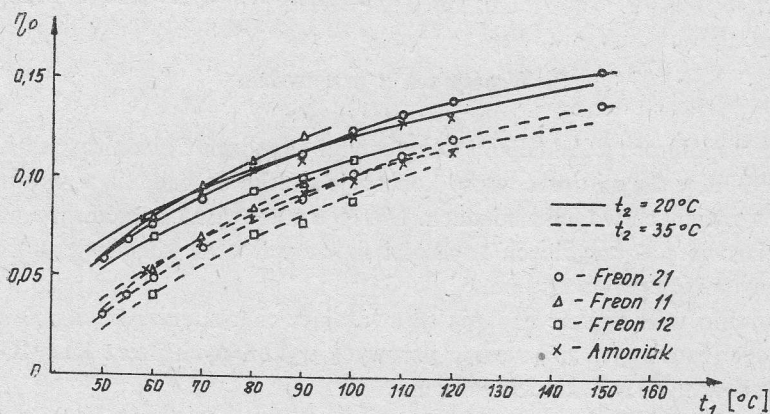
W 1978 r. zapoczątkowano w Zakładzie badania nad wykorzystaniem energii słonecznej do celów grzewczych i produkcji energii elektrycznej. Przeprowadzono obszerne studia literaturowe dotyczące zagadnienia. Scharakteryzowano specyfikę energii słonecznej z po-

daniem podstawowych definicji i zależności. Wykorzystano obliczenia średniej rocznej radiacji dziennej w Polsce i porównano je z danymi statystycznymi PIHM uzyskując zgodność świadcząca o możliwości ich obliczania. Dokonano porównania wielkości radiacji w Polsce z innymi regionami świata. Przedstawiono koncepcję typu siłowni słonecznej małej mocy, rzędu 1 kW, dla warunków krajowych (rys. 18) z podaniem ekonomicznego okresu jej pracy w skali rocznej [99]. Przeprowadzono optymalizację kąta pochylenia kolektora słonecznego dla przewidywanego okresu pracy siłowni, przy którym zapewnione jest maksy-

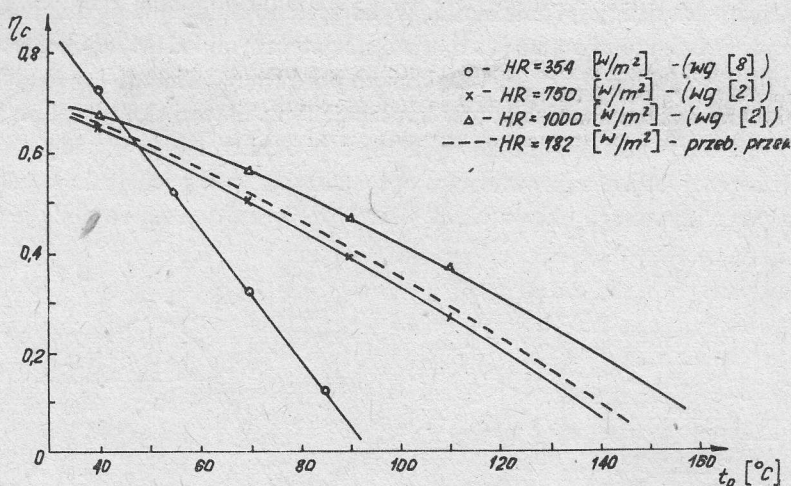


Rys. 18. Schemat siłowni słonecznej oraz odpowiadający mu szkic obiegu w układzie $T-S$

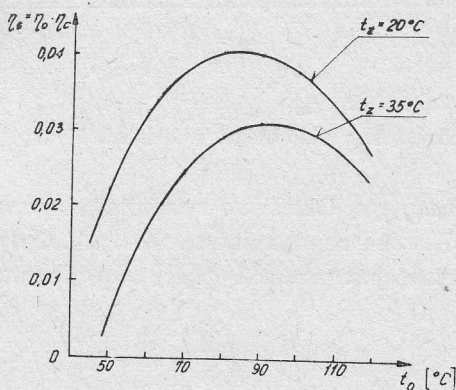
malne wykorzystanie energii promieniowania słonecznego. Określono szczegółowo sprawności, tak obiegu jak i kolektorów (rys. 19, 20), dla różnych czynników roboczych. Optymalizując system kolektor-obieg uzyskano najkorzystniejsze parametry pracy siłowni w warunkach polskich (rys. 21).



Rys. 19. Charakterystyki sprawnościowe obiegu siłowni słonecznej dla różnych parametrów obiegu i czynników roboczych



Rys. 20. Sprawność kolektora słonecznego w funkcji temperatury czynnika na wyjściu t_o dla różnych wielkości natężenia promieniowania HR



Rys. 21. Optymalizacyjne charakterystyki sprawnościowe systemu kolektor-obieg określone dla $HR=782 \text{ W/m}^2$ oraz czynnika R-21

3. Współpraca z przemysłem

W ramach współpracy z Zakładami Okrętowymi Urzędzeń Chłodniczych i Klimatyzacyjnych KLIMOR w Gdyni opracowano koncepcję stoiska do badania wyrobów chłodniczych i klimatyzacyjnych w tych zakładach. Dla tego stanowiska opracowano uniwersalne metody pomiarowe poszczególnych wielkości fizycznych oraz koncepcję automatycznej rejestracji danych i ich przetwarzania.

Kontynuowano w Zakładzie badania sprawdzające charakterystyki cieplne oraz przepływowe zmodernizowanych nagrzewnic parowych wykonanych przez KLIMOR według wcześniej opracowanych w Zakładzie zaleceń.

Na zlecenie KLIMOR-u przeprowadzono badania zjawisk wymiany ciepła i masy w blokach nawilżania parowego central klimatyzacyjnych [II.1]. Rozpatrzone termodynamikę nawilżania, zagadnienie mieszania się pary z powietrzem wilgotnym, problemy kondensa-

cji pary przy jej wtrysku do powietrza i możliwość odparowania kropelek wody w parze przegrzanej. Wykonano badania eksperymentalne mieszania i kondensacji pary wtryskiwanej do przepływającego powietrza. Opierając się na powyższych badaniach teoretycznych i eksperymentalnych opracowano wytyczne do konstrukcji wysokosprawnych nawilzaczy parowych [II.1].

Dla Instytutu Przemysłu Mleczarskiego w Warszawie Oddział w Olsztynie opracowano mieszanie mleka z roztworem kwasu w przepływie, wykorzystując dotychczasowe osiągnięcia Zakładu w zakresie tej tematyki.

Na zlecenie Instytutu Energetyki w Warszawie przeprowadzono analizę wymiany ciepła w płaskich kolektorach słonecznych ich własnej koncepcji oraz przeanalizowano możliwość zastosowania tych kolektorów w obiegach słonecznych produkujących energię elektryczną. Współpraca z Instytutem Energetyki w zakresie wykorzystania energii słonecznej jest kontynuowana. Opracowuje się zagadnienie współpracy płaskiego kolektora ze zbiornikiem magazynującym energię ciepłą. Ponadto wykonano szereg ekspertyz i konsultacji technicznych dla Stoczni Gdyńskiej im. Komuny Paryskiej w zakresie wymiany ciepła zbiornika poddanego drganiom, dla Instytutu Przemysłu Mleczarskiego w zakresie wymiany ciepła mleka przy podgrzewaniu, dla Biura Projektów Przemysłu Chemicznego PROSYNCHM w Gliwicach w zakresie zagadnień wrzenia w przepływie, dla Centrum Techniki Wytwarzania Przemysłu Okrętowego PROMOR Oddział Koszalin w zakresie możliwości wykorzystania ciepła odpadowego w klimatyzacji, dla Centrum Techniki Okrętowej w zakresie zagadnień wymiany ciepła podczas wrzenia z przepływem.

4. Ważniejsze informacje organizacyjne

Zakład zatrudnia 14 pracowników oraz konsultanta naukowego. W tej liczbie jest 11 pracowników naukowo-badawczych, 2 inżynierijno-technicznych z wyższym wykształceniem i 1 laborant ze średnim wykształceniem. W minionym okresie lat 1976 - 1980 w Zakładzie zdobyło stopień doktora 6 pracowników. Zakład zatrudnia dwóch pracowników ze stopniem doktora habilitowanego oraz 9 ze stopniem doktora nauk technicznych. Ponadto Zakład posiada 3 doktorantów zewnętrznych z otwartymi przewodami doktorskimi, w tym jeden z Iraku. Jeden z pracowników Zakładu otrzymał tytuł profesora nadzwyczajnego. Nadal prowadzi się intensywne prace nad podnoszeniem kwalifikacji zawodowych pracowników, organizuje seminaria szkoleniowe z zakresu nowych dziedzin wymiany ciepła i mechaniki płynów, a także seminaria o charakterze roboczym, na których dyskutuje się zamierzenia twórcze pracowników oraz ocenia aktualne osiągnięcia. W latach 1976/77 jeden z pracowników przebywał w USA na 10-miesięcznym stażu naukowym (Uniwersytet Kentucky), a jeden na dwuletnim kontrakcie w USA (Brown University). Trzech pracowników przebywało na pobytach trzytygodniowych w USA w Uniwersytecie Delaware. Dwóch z nich brało udział w konferencji ASME w Atlancie w 1977 r. Dwaj pracownicy odbyli krótkoterminowe wizyty w Instytucie Fizyki Ciepła AN ZSRR w Nowosybirsku, kontynuując wcześniej zawiązaną współpracę. Jeden z pracowników przebywał przez dwa tygodnie w Uniwersytecie Strathclyde w Glasgow, gdzie uczestniczył w międzynarodowym seminarium poświęconym przepływowi dwufazowemu.

I. Wykaz publikacji i prac naukowo-badawczych

- [1] J. Mikieliewicz, *Działalność naukowa Zakładu Termodynamiki i Wymiany Ciepła IMP PAN w latach 1973 - 1975*. [W:] *Działalność naukowa Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w latach 1973 - 75*, PWN, Warszawa—Poznań 1978.
- [2] A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, *Koncepcja założenia i projekt wstępny stanowiska do badania mieszania cieczy różniących się lepkością*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 59/76.
- [3] J. Mikieliewicz, B. Grochal, *Analiza matematyczna długości stabilizacji profilu prędkości, temperatury i koncentracji strumienia w rurze*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 73/76.
- [4] B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, *Próba określania stopnia wymieszania strumienia w oparciu o rozkład temperatury w kanale*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 33/77.
- [5] B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, *Określenie stopnia wymieszania w mieszalniku strumieniowym*. [W:] *Materiały I Ogólnopolskiego Seminarium n. t. Mieszanie*, Politechnika Łódzka, 1978, s. 23.
- [6] B. Grochal, *Wpływ niektórych czynników na intensywność mieszania w mieszalniku przepływowym*; *ibid.* s. 25.
- [7] B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, *Badania mieszalnika przepływowego cieczy typu strumienicy*; *ibid.* s. 43.
- [8] B. Grochal, *Mieszanie cieczy w mieszalnikach przepływowych typu strumienicy (inżektora)*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 121/77.
- [9] B. Grochal, E. Ptasińska-Denga, J. Margiel, *Porównanie stopnia wymieszania wzdłuż przepływu w kanale wyznaczonego za pomocą rozkładu odchyleń w przekroju i strumieniu*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 169/77.
- [10] B. Grochal, *Badanie mieszania czynników o lepkościach mieszaniny wyższej od lepkości wody*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 218/78.
- [11] B. Grochal, E. Śliwicki, A. Jezierski, *Mieszanie cieczy w mieszalniku strumieniowym*. *Prace IMP*, z. 82, 1982.
- [12] B. Grochal, *Dobór parametrów strumieniowego mieszania cieczy*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 26/79.
- [13] A. Jezierski, *Koncepcja i projekt techniczny stoiska do badań mieszania kilku strumieni cieczy*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 81/79.
- [14] W. Tarasewicz, *Profil prędkości wskaźnikiem stanu wymieszania w przepływie*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 176/79.
- [15] W. Tarasewicz, *Wielostrumieniowe mieszanie dwóch cieczy*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 177/79.
- [16] W. Tarasewicz, *Mieszanie cieczy w przepływie w strefie początkowej (w pobliżu wlotu strumienia do kanału)*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 190/79.
- [17] E. Śliwicki, A. Jezierski, *Wpływ liczby strumieni na mieszanie cieczy w mieszalniku strumieniowym*. *Prace IMP*, z. 82, 1982.
- [18] W. Tarasewicz, *Intensywność przepływowego mieszania cieczy (newtonowskich)*. *Zesz. Nauk. IMP PAN*, nr 78/979/1979.
- [19] A. Jezierski, *Koncepcja i projekt techniczny stanowiska do wizualizacji procesu mieszania dwóch cieczy w układzie jedno- i wielostrumieniowym*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 38/80.
- [20] W. Tarasewicz, *Badanie efektywności mieszania w przepływie wielu ciekłych składników*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 90/80.
- [21] R. Szewalski, *The Steam Power Cycle with Supercritical Regeneration*. *Proceedings of the American Power Conference*, Chicago 1976.
- [22] R. Szewalski, *Modyfikacje obiegu siłowni na parę wodną o parametrach nadkrytycznych. Warianty obiegu i układy turbin z wykorzystaniem ciepła upustu w systemie*. *Prace badawcze Politechniki Gdańskiej*, nr 864/77.

- [23] R. Szewalski, *Wymiennik ciepła typu sekcijnego w zastosowaniu do obiegu termodynamicznego z recyrkulacją części pary roboczej w obszarze ciśnień nadkrytycznych*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 22/893/77.
- [24] R. Szewalski, *Wysokotemperaturowy wymiennik ciepła z upustem z zastosowaniem do obiegu termodynamicznego turbiny parowej z regeneracją nadkrytyczną*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 81/77.
- [25] R. Szewalski, *Opracowanie obiegu i układu siłowni słonecznej małej mocy. Wstępne założenia obiegu i schemat układu*. Prace badawcze Politechniki Gdańskiej, nr 1017/78.
- [26] R. Szewalski, *Średnia temperatura doprowadzenia ciepła jako podstawa racjonalnego doboru parametrów obiegu termodynamicznego*. Prace badawcze Politechniki Gdańskiej, nr 1086/78.
- [27] R. Szewalski, *Obieg termodynamiczny z regeneracją nadkrytyczną. Syntetyczne opracowanie obiegu*. Prace badawcze Politechniki Gdańskiej, nr 1185/79.
- [28] M. Adelt, *Sprawozdanie z badań zagadnień przepływu i wymiany ciepła CO₂ przy ciśnieniach nadkrytycznych*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 165/76.
- [29] M. Adelt, *Wymiana ciepła CO₂ przy ciśnieniach nadkrytycznych — wyniki badań eksperymentalnych i model fizyczny zjawiska*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 164/77.
- [30] M. Adelt, *Wymiana ciepła przy ciśnieniach nadkrytycznych*. Referat na X Zjazd Termodynamików [W:] *Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej*, nr 22, Wrocław 1978.
- [31] M. Adelt, *Wymiana ciepła i hydrodynamika przepływu przy ciśnieniach nadkrytycznych*. Praca doktorska IMP PAN, Gdańsk 1978.
- [32] M. Adelt, *Przejmowanie ciepła w kanale przy ciśnieniach nadkrytycznych* [W:] *Referaty Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy*, Komitet Termodynamiki i Spalania PAN, Warszawa — Jabłonna 1979.
- [33] M. Adelt, *Analiza kryzysu i rozbiegu termicznego przy ciśnieniu nadkrytycznym*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 191/79.
- [34] M. Adelt, J. Mikieliewicz, *Heat transfer in a channel at supercritical pressure*. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 24, p. 1667, 1981.
- [35] J. Mikieliewicz, B. Sedler, *Uproszczony model analityczny kryzysów wrzenia w przepływie*. Prace IMP, z. 76, 1978.
- [36] B. Sedler, *Analiza kryzysów wrzenia w przepływie czynników niskowrzących na przykładzie freonu 21*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 194/77.
- [37] B. Sedler, J. Mikieliewicz, *Analiza kryzysów wrzenia w przepływie czynników niskowrzących na przykładzie freonu 21*. Referat na X Zjeździe Termodynamików [W:] *Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej*, nr 22, Wrocław 1978.
- [38] B. Sedler, J. Mikieliewicz, *A Simplified Model of Flow Boiling Crisis*. Int. Journal Heat and Mass Transfer vol. 24, pp. 431-438, 1981 oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 77/79.
- [39] P. Kubski, J. Mikieliewicz, *Przybliżona analiza oporu kropli odparowującej podczas przepływu*. Prace IMP, z. 81, 1981.
- [40] Z. Bilicki, *Metody obliczeń spadku ciśnienia i współczynników wymiany ciepła dla wrzenia w przepływie dostosowane do analizy wymienników ciepła pracujących na freonie-22*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 163/78.
- [41] Z. Bilicki, *Analiza energetyczna struktur przepływu cz. I*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 44/914/78.
- [42] Z. Bilicki, *Analiza wymiany ciepła podczas wrzenia pęcherzykowego w kanale*. Praca doktorska, IMP PAN, Gdańsk 1979 r.
- [43] J. Mikieliewicz, *Uproszczona analiza wpływu sił Magnusa na separację kropli z przepływu dwufazowego*. Prace IMP, z. 75, 1978.
- [44] J. Mikieliewicz, *Dyfuzyjno-bezwładnościowy model separacji kropli z przepływu dwufazowego*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 117/1019/81.
- [45] E. Śliwicki, *Sprawozdanie z budowy stoiska laboratoryjnego do badań wpływu pewnych domieszek organicznych na wymianę ciepła przy wrzeniu*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 136/76.
- [46] E. Śliwicki, *Wpływ pewnych domieszek ogranicznych na wymianę ciepła przy wrzeniu*. Referat na X Zjeździe Termodynamików [W:] *Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej*, nr 22, Wrocław 1978.

- [47] S. Szulc-Semiczek, J. Mikielawicz, *Wpływ zdefektowania powierzchni na jej zwilżalność* [W:] *Materiały X Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy*, Jabłonna 1976.
- [48] S. Szulc-Semiczek, J. Mikielawicz, *The Influence of Surface Roughness and the Presence of Gaseous Medium on the Wettability of Metals*. Report 7-th Symposium on Thermophysical Properties, National Bureau of Standards-ASME, Gaithersburg, USA, 1977.
- [49] S. Semiczek-Szulc, J. Mikielawicz, *Experimental Investigation of Contact Angles of Rivulets Flowing Down a Vertical Solid Surface*. Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 21, 1978 pp. 1625.
- [50] S. Gumkowski, *Badania eksperymentalne stabilności cienkich warstw cieczy poruszających się pod wpływem ruchu fazy parowej*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 49/921/78.
- [51] J. Mikielawicz, J. R. Moszyński, *Minimum Thickness of a Liquid Film Flowing Vertically Down a Solid Surface*. Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 19, 1976.
- [52] E. Ihnatowicz, S. Gumkowski, *Wpływ obecności odparowywanego filmu na opory przepływu w kanale*. Oprac. wewn. IMP PAN (MR I. 26-NSF), nr arch. 199/76.
- [53] J. Mikielawicz, S. Gumkowski, *Wpływ gradientu ciśnienia na rozpad cienkiej warstwy cieczy na strugi*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 177/78.
- [54] J. Krzyżanowski, J. Mikielawicz, J. R. Moszyński, *Badanie wymiany ciepła i stabilności filmów wodnych pod działaniem przepływu pary mokrej o dużej prędkości*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 185/78.
- [55] E. Ihnatowicz, *Badania eksperymentalne odparowania cienkich warstw cieczy poruszających się pod wpływem intensywnego przepływu fazy parowej*. Praca doktorska, IMP PAN, Gdańsk 1977.
- [56] J. Mikielawicz, *Rozrywanie się cienkich warstw cieczy na strugi oraz problemy zwilżalności powierzchni ciała stałego*. Referat wygłoszony w Szkole Letniej Mechaniki Płynów, Mikołajki, 1977 oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 103/77.
- [57] S. Gumkowski, J. Mikielawicz, *Badania eksperymentalne stabilności cienkich warstw cieczy poruszających się pod wpływem naprężeń stycznych*. Referat na X Zjeździe Termodynamików [W:] *Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej*, nr 22, Wrocław 1978.
- [58] E. Ihnatowicz, J. Mikielawicz, *Badania eksperymentalne odparowania cienkich warstw cieczy poruszających się pod wpływem intensywnego przepływu fazy parowej*. Referat na X Zjeździe Termodynamików, ibid. s. 130.
- [59] J. Mikielawicz, J. R. Moszyński, *An improved analysis of breakdown of thin liquid films*. Archiwum Mechaniki Stosowanej 30, 4 - 5, Warszawa 1978, s. 489 - 500.
- [60] E. Ihnatowicz, *Analiza ruchu i odparowania cienkiego filmu ciekowego poruszanego przez naprężenia styczne na granicy rozdziału faz*. Prace IMP, z. 77, 1980.
- [61] G. F. Gawroński, E. Ihnatowicz, *Introductory Work Related to the Study of Heat Transfer from a Surface with Flowing Water Rivulets*. Oprac. wewn. IMP PAN, (MR I. 26-NSF), nr arch. 156/76.
- [62] J. Mikielawicz, E. Ihnatowicz, S. Gumkowski, *An Analysis of the Pressure Gradient Effect on the Film Flow and Its Stability*. Prace IMP, z. 81, 1981.
- [63] J. Mikielawicz, *Wpływ zmian fazowych na wielkość naprężeń stycznych na granicy rozdziału faz*. Prace IMP, z. 76, 1978.
- [64] E. Ihnatowicz, S. Gumkowski, J. Mikielawicz, *Experimental Study of Evaporation and Breakdown of Thin Liquid Films Driven by Shear Stresses*. Rep. ASME Conference, 98th Winter Annual Meeting, Atlanta, Georgia USA Nov. 27-Dec. 2, 1977, Paper Nr 77-WA/HT-7; also Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, Vol. 101, No. 4, November 1979.
- [65] J. Mikielawicz, *Adiabatyczny przepływ warstwy cieczy w kanałach o zmiennym przekroju*. Prace IMP, z. 79, 1980.
- [66] J. Krzyżanowski, J. Mikielawicz, S. Gumkowski, E. Ihnatowicz, *Folgerungen aus den Untersuchungen der Wasserschicht-Stabilität für den Fall der Nassdampfströmung in der Turbine*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 127/78 (X Kraftwerktechnisches Kolloquium, Dresden 1978)
- [67] J. Krzyżanowski, J. Mikielawicz, S. Gumkowski, E. Ihnatowicz, *Untersuchungen über die Stabilität der Wasserschicht auf Turbinenendschaukeln bei Nassdampfströmung*. Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 32, No 12, 1980, s. 548.

- [68] J. Mikieliewicz, E. Ihnatowicz, *Analiza ruchu falowego cienkiego filmu cieczowego poruszanego przez naprężenia styczne na granicy rozdziału faz*. Prace IMP, z. 79, 1980.
- [69] J. Mikieliewicz, E. Ihnatowicz, *Ruch falowy cienkiej warstwy cieczy poruszanej przez intensywny ruch fazy gazowej*. [W:] *Referaty Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy*, Komitet Termodynamiki i Spalania PAN, Warszawa—Jabłonna 1979, s. 182 oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 87/79.
- [70] J. Mikieliewicz, E. Ihnatowicz, *Uproszczona analiza odrywania się kropeł z powierzchni cienkiej warstwy cieczy*. Referat wygłoszony na IV Krajowej Konferencji Mechaniki Cieczy i Gazów, Łódź 1980, Komitet Mechaniki, Sekcja Mechaniki Cieczy i Gazów PAN oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 31/80.
- [71] J. Mikieliewicz, J. R. Moszyński, *Breakdown and Evaporation of Thin Shear Driven Liquid Films*. Int. Seminar Nuclear Reactor Safety Heat Transfer, Dubrownik 1980 Int. Centre for Heat and Mass Transfer.
- [72] J. Mikieliewicz, E. Ihnatowicz, *Próba teoretycznej analizy odrywania się kropeł z powierzchni cienkiego filmu cieczowego*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 92/987/1980.
- [73] Abdul Muhsin Abood Ragab, *Thermal Resistance of a Body with Rivulets on Its Surface*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 86/951/80.
- [74] Abdul Muhsin Abood Ragab, *Thermal Resistance of the Rivulet*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 81/967/79.
- [75] Abdul Muhsin Abood Ragab, *Experimental Studies of Heat Transfer into Rivulet*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 236/79.
- [76] M. Trela, J. Zembik, *Niekorzystny wpływ zapowietrzenia pary na pracę obrotowych wymienników ciepła*. Budownictwo Okrętowe, nr 3/1976.
- [77] J. Kowalski, J. Zembik, *Badania wymiany ciepła w parowych nagrzewnicach powietrza o rurach żebrowych*. [W:] *Materiały Konferencji pt. Aktualne zagadnienia klimatyzacji*, Politechnika Wrocławska, 1977 oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 49/77.
- [78] J. Zembik, M. Trela, *Wpływ zapowietrzenia pary grzejnej na pracę central klimatyzacyjnych*. [W:] *Materiały konferencji NOT pt. Aktualne zagadnienia techniki klimatyzacyjnej*, Wrocław 1978 oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 113/77.
- [79] M. Trela, J. Zembik, *Studia nad układami chłodzenia powietrznego*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 28/851/78.
- [80] J. Kowalski, M. Trela, J. Zembik, *Badanie wymiany ciepła i oporów przepływu przy poprzecznym opływie pęczka rur żebrowanych*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 40/909/78.
- [81] J. Zembik, *Badanie charakterystyk cieplnych i przepływowych wodnych nagrzewnic powietrza*. Budownictwo Okrętowe, nr 1/1979.
- [82] J. Kowalski, M. Trela, *Wymiana ciepła podczas opływu grzanej rury przez dwufazową mieszaninę krople wody-powietrze*. [W:] *Referaty Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy*, Komitet Termodynamiki i Spalania PAN, Warszawa—Jabłonna 1979, s. 123.
- [83] M. Trela, J. Kowalski, *Badania wymiany ciepła przy opływie płyty powietrzem mgłowym*; *ibid.* s. 292.
- [84] J. Kowalski, *Badanie wymiany ciepła przy omywaniu powierzchni rury i płytki przez dwufazową mieszaninę powietrze-ciecz*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 161/77.
- [85] J. Zembik, M. Trela, A. Wróblewski, *Wstępne badania separacji fazy ciekłej na płytę z przepływem mgłowym powietrza*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 98/90/78.
- [86] J. Kowalski, B. Durkiewicz, *Pomiar średnic kropeł wody oraz ich rozkładu w przepływie powietrza mgłowego*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr 272/78.
- [87] M. Trela, J. Kowalski, *Badania wymiany ciepła i masy podczas laminarnego opływu płyty powietrzem mgłowym*. Prace IMP, z. 79, 1978.
- [88] M. Trela, *Wstępna analiza wymiany ciepła między ścianką z przepływem powietrza mokrego*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 36/913/78.
- [89] M. Trela, *Analiza wymiany ciepła podczas opływu płyty powietrzem mgłowym*. Prace IMP, z. 77, 1978.

- [90] M. Trela, *An Analysis of Heat Transfer During Flow of an Air-Water Mist Along a Heated Flat Plate*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 14/79, oraz do Int. J. H. Mass Transfer. vol. 24, pp. 749-755, 1981.
- [91] M. Trela, J. Zembik, *Badanie niestacjonarnej wymiany ciepła między płytką a czynnikiem dwufazowym powietrze-kropelki wody*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 186/79.
- [92] J. Kowalski, M. Trela, *Uproszczona analiza wymiany ciepła podczas opływu walca powietrzem mgłowym*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 129/80, oraz Prace IMP, z. 86, 1983.
- [93] M. Trela, B. Durkiewicz, J. Zembik, *Badanie eksperymentalne separacji kropel na elementach o różnej geometrii*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 128/80, oraz Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 132/1041/82.
- [94] M. Trela, *Separacja kropel na płycie omywanej czynnikiem dwufazowym powietrze-kropelki wody*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 100/997/80.
- [95] S. Doerffer, *Badania teoretyczne zachowania cieczy w zbiorniku okrętowym podlegającym wymuszeniom harmonicznym*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 66/941/79.
- [96] S. Doerffer, *Sprawozdanie z budowy stoiska do badania wpływu zaburzeń sinusoidalnych na wymianę ciepła w zbiorniku*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 276/78.
- [97] S. Doerffer, *Wyniki badań eksperymentalnych wymiany ciepła w zbiorniku podlegającym wymuszeniom harmonicznym*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 235/79.
- [98] A. Jezierski, *O możliwości wykorzystania energii słonecznej w silowniach cieplnych w warunkach krajowych*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 216/78.
- [99] A. Jezierski, *Obieg cieplny silowni słonecznej małej mocy, jego sprawność oraz elementy składowe*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 106/1003/80.
- [100] B. Grochal, *Kondensacja strugi pary w przechłodzonej cieczy (przegląd literatury)*. Oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 127/80.
- [101] M. Trela, J. Zembik, B. Durkiewicz, *Droplet deposition on a flat plate from an air/water turbulent mist flow*. Int. Journ. Multiphase Flow vol. 8, pp. 227-238, 1981, oraz oprac. wewn. IMP PAN, nr arch. 77/80.
- [102] M. Trela, *Wpływ turbulencji strumienia gazu oraz grawitacji na separację cząstek*. Prace IMP, z. 82, 1982.
- [103] W. Tarasewicz, *Wpływ lepkości na intensywność mieszania cieczy w przepływie*. Prace IMP, z. 80, 1981.
- [104] B. Grochal, *Wyznaczenie przebiegu mieszania w mieszalniku przepływowym na podstawie zmienności przybliżonego stopnia wymieszania*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 63/939/79.

II. Opracowania zewnętrzne

- [1] J. Zembik, M. Trela, *Badania zjawisk wymiany ciepła i masy w blokach nawilżania parowego central klimatyzacyjnych*, nr arch. 187/78, na zlec. KLIMOR-u.
- [2] E. Ihnatowicz, J. Mikieliewicz, *Analiza tendencji rozwojowych nowoczesnych komór nawilżania*, nr A25/78, na zlec. KLIMOR-u.
- [3] W. Tarasewicz, B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, *Badania mieszania przelotowego cieczy newtonowskich, cz. I*, nr arch. 160/76, na zlec. IChP w Warszawie.
- [4] B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, *Badania mieszania cieczy w mieszalniku przepływowym typu strumienicy*, nr arch. 148/79, na zlec. IChP w Warszawie.
- [5] A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, *Koncepcja, założenia i projekt stanowiska do badań mieszania w przepływie cieczy różniących się lepkością*, nr arch. 254/77, na zlec. IChP w Warszawie.
- [6] W. Tarasewicz, B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, *Przepływowe mieszanie cieczy o innych niż woda lepkościach — określenie warunków intensywnego mieszania przepływowego olejów w mieszalniku typu strumienicy*, nr arch. 131/78, na zlec. IChP w Warszawie.
- [7] B. Grochal, A. Jezierski, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, *Podstawy teoretyczne i wyniki badań komponowania mieszanin olejów mineralnych w przepływie*, nr arch. 175/78, na zlec. IChP w Warszawie.
- [8] B. Grochal, R. Stanik, E. Śliwicki, W. Tarasewicz, A. Jezierski, *Założenia do zaprojektowania technicznej instalacji ciągłego mieszania olejów napędowych*, nr arch. 176/78, na zlec. Gdańskich Zakładów Rafineryjnych.

- [9] W. Tarasewicz, *Opracowanie projektowe intensyfikacji mieszania rafinatu z rozpuszczalnikiem na instalacji odparafinowania Di-Me w G.Z.R.*, nr arch. 113/79, na zlec. G.Z.R.
- [10] A. Jezierski, *O możliwości wykorzystania energii słonecznej w siłowniach ciepłych w warunkach krajowych*. Referaty sympozjum n.t. Wykorzystanie energii słonecznej dla potrzeb gospodarki narodowej. Komitet Problemów Energetyki PAN Warszawa 1979, na zlec. Rady Głównej NOT, Komisja Energetyczna.
- [11] J. Mikieliewicz, S. Gumkowski, E. Ihnatowicz, M. Adelt, A. Jezierski, *Analiza wymiany ciepła w płaskich kolektorach słonecznych oraz ich zastosowanie w freonowych obiegach energetycznych*, nr arch. 196/79, na zlec. Instytutu Energetyki w Warszawie.
- [12] E. Śliwicki, J. Kowalski, *Badania współczynnika przejmowania ciepła od powierzchni wypukłej przy wrzeniu w objętości*, nr arch. 45/79, na zlec. CTO w Gdańsku.
- [13] B. Grochal, T. Pijanowski, *Stanowisko doświadczalne do badań mieszania mleka z kwasem i wyniki pomiarów*, nr arch. 161/79, na zlec. Instytutu Przemysłu Mleczarskiego w Warszawie.
- [14] B. Grochal, *Badania doświadczalne podgrzewania mleka bezpośrednim wdmuchiwanym parą*, nr arch. 124/80, na zlec. Instytutu Przemysłu Mleczarskiego w Warszawie.

III. Prace poza planem

- [1] R. Szewalski, *Współczesne problemy techniki energetycznej*. Nauka Polska, nr 6, Warszawa 1976.
- [2] R. Szewalski, *Turbine blading of extreme length*. Bull. Acad. Polon. Sci. no 7/8, Warszawa 1976.
- [3] R. Szewalski, *Ein neuer Grenzschaufeltyp für Dampfturbinen*. VGB Kraftwerkstechnik Nr 3, Essen 1976.
- [4] R. Szewalski, *A novel design of turbine blading of extreme length*. Prace IMP, z. 70/72, 1976.
- [5] R. Szewalski, *Extrem lange Laufschau feln für Dampf- und Gasturbinen*. VDI-Berichte No 264, Düsseldorf 1976.
- [6] R. Szewalski, *A novel design of turbine blading of extreme length*. ASME-Paper 76-DET-93, New York 1976.
- [7] J. Mikieliewicz, D. G. Wilson, T. C. Chan, A. J. Goldfinch, *A Method for Correlation of the Characteristics of Centrifugal Pumps in Two-Phase Flow*. ASME Conf. Rep. 76-WA/FE-29, New York 1976.
- [8] J. Kowalski, E. Śliwicki, *Pomiar stopnia zapelnienia w przeplywie dwufazowym parowo-cieczowym*. Prace Naukowe Instytutu Techniki Cieplnej i Mechaniki Plynów Politechniki Wroclawskiej nr 20 Seria: Konferencje, nr 2, Wrocław 1977.
- [9] M. Trela, *Prediction of heat transfer to coal slurry flow*. Prace IMP, z. 77, 1980.
- [10] G. S. Borkar, M. Trela, J. H. Lienhard, *A rapid hot water depressurization experiment*. ERPI NP-527, Project RP687-1, Intern. Report, December 1977.
- [11] J. H. Lienhard, Md. Alampir, M. Trela, *Early response of hot water to sudden release from high pressure*. Journal of Heat Transfer vol 100, August 1978.
- [12] R. Szewalski, *TP2 byla pierwsza*. Głos Zamechu nr 26/27, Elbląg 1978.
- [13] R. Szewalski, *Wytrzymałościowe i przepływowe podstawy kształtowania łopatek wirnikowych o eksperymentalnej długości*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 29/892/78.
- [14] B. Grochal, *Badanie procesu wymiany ciepła przy skraplaniu freonu-21 oraz metod intensyfikacji tej wymiany*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 48/925/78.
- [15] R. Szewalski, *Technika turbinowa i jej problemy w aspekcie rozwoju energetyki*. Sympozjum Naukowe Oddziału Gdańskiego PAN, 1980.
- [16] R. Szewalski, *Głos w dyskusji nad ekspertyzą energetyczną Komitetu Problemów Energetyki PAN*. Nauka Polska, nr 5, Warszawa 1980.
- [17] R. Szewalski, *Energetyka — wczoraj, dziś i jutro*. Prace IMP, z. 78, 1980.
- [18] B. Durkiewicz, A. Adamkiewicz, J. Kowalski, *Pomiar średnic kropli wody oraz określenie ich rozkładu w przepływie powietrza mgłowego*. Zesz. Nauk. WSMW w Gdyni, nr 4, 1980.
- [19] A. Adamkiewicz, B. Durkiewicz, *Zastosowanie metody wylapywania kropli na miękką warstwę do określenia widma fazy ciekłej w strumieniu powietrza wlotowego o krętowego silnika turbospalinowego*. Zesz. Nauk. WSMW w Gdyni, nr 2, 1981.