

Wydział Mechaniczny
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

Krzysztof Dutkowski

**BADANIE INTENSYFIKACJI WYMIANY CIEPŁA
W WARUNKACH KONWEKCJI SWOBODNEJ,
OD PŁASKIEJ IZOTERMICZNEJ PŁYTY,
W PRZESTRZENI CZĘŚCIOWO OGRANICZONEJ**

Rozprawa doktorska

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Jarosław Mikielewicz

KOSZALIN 2001

Promotorowi Panu prof. Jarosławowi Mikielwiczowi za udzielenie wskazówek oraz szeregu cennych uwag w trakcie realizacji tej pracy.

Panu doc. Marianowi Czapp za umożliwienie mi podjęcia tego tematu.

Wszystkim kolegom oraz najbliższym, których życzliwość przyczyniła się do jej zakończenia.

Serdecznie dziękuję.

SPIS TREŚCI

WYKAZ STOSOWANYCH OZNACZEŃ	5
1. WSTĘP	7
2. TEZA I ZAKRES PRACY	9
3. ANALIZA STANU ZAGADNIENIA	11
3.1. Wybrane pojęcia charakteryzujące konwekcyjną wymianę ciepła	11
3.2. Dotychczasowe badania eksperymentalne wymiany ciepła podczas konwekcji swobodnej.....	15
4. BADANIA EKSPERYMENTALNE	21
4.1. Cel badań eksperymentalnych.....	21
4.2. Opis stanowiska badawczego.....	22
4.3. Sposób prowadzenia badań.....	25
4.4. Pomiar podstawowych parametrów	27
4.5. Wyniki badań	30
4.5.1. Wyniki badań w zakresie intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła	30
4.5.2. Wyniki pomiaru parametrów w szczelinie powietrznej	34
5. TEORETYCZNY MODEL ZJAWISKA INTENSYFIKACJI KONWEKCYJNEJ WYMIANY CIEPŁA	44
5.1. Wyznaczenie współczynników modelu teoretycznego	52
6. UOGÓLNIONA KORELACJA EKSPERYMENTALNA WYMIANY CIEPŁA W SZCZELINIE POWIETRZNEJ.....	55
7. WNIOSKI	58

ZAŁĄCZNIKI.....	59
Z.1. Określenie strat ciepłych do otoczenia.....	60
Z.2. Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła α - metoda Wilsona	64
Z.3. Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła α metodą pośrednią	67
Z.4. Promieniowanie	72
Z.5. Ocena błędów pomiaru.....	75
Z.6. Wyciąg z protokołu badań – ETAP I.....	78
Z.7. Wyciąg z protokołu badań – ETAP II.....	80
Z.7.1. <i>Pomiary temperatury powietrza w szczelinie</i>	80
Z.7.2. <i>Pomiary prędkości powietrza w szczelinie</i>	101
8. LITERATURA.....	111

WYKAZ STOSOWANYCH OZNACZEŃ

a	– współczynnik wyrównania temperatury (dyfuzyjność termiczna)
A	– powierzchnia wymiany ciepła
B	– szerokość wymiennika
c	– ciepło właściwe
g	– przyspieszenie ziemskie
H	– wysokość szczeliny
h	– odległość od dolnej krawędzi wymiennika
L	– szerokość szczeliny, wymiar liniowy
\dot{m}	– masowe natężenie przepływu
p	– ciśnienie
q	– gęstość strumienia ciepła
Q	– strumień ciepła
T	– temperatura
\dot{V}	– objętościowe natężenie przepływu
w	– prędkość
y	– wymiar liniowy, odległość czujnika od powierzchni wymiennika

Litery greckie

α	– współczynnik przejmowania ciepła
β	– współczynnik rozszerzalności objętościowej
δ	– grubość warstwy przyściennej
ρ	– gęstość
λ	– współczynnik przewodzenia ciepła, długość fali
ν	– współczynnik lepkości kinematycznej

Bezwymiarowe liczby kryterialne

- Gr* – liczba Grashofa
- Nu* – liczba Nusselta
- Pr* – liczba Prandtla
- Ra* – liczba Rayleigha

Indeksy dolne dotyczą

- ∞ – obszaru niezaburzonego
- I* – stanu początkowego
- exp* – wielkości eksperymentalnych
- f* – płynu
- H* – parametrów hydraulicznych
- lok* – wielkości lokalnych
- ot* – otoczenia
- p* – stałego ciśnienia
- r, rad* – promieniowania
- str* – strat
- śr* – wielkości średnich
- T* – parametrów termicznych
- th* – wielkości teoretycznych
- w* – ścianki

1. WSTĘP

W substancjach takich jak: ciecz, gaz (cząsteczki mogą zmieniać swoje położenie) przepływ ciepła odbywa się przez lokalne, kontaktowe przejmowanie energii przez cząsteczki o niższej temperaturze od cząsteczek o wyższej temperaturze. Proces ten nazywa się konwekcyjną wymianą ciepła. Jeżeli ruch płynu wywołany jest gradientem temperatury (który powoduje gradient gęstości płynu) mamy do czynienia z konwekcją swobodną. W przypadku, gdy ruch płynu wymuszony jest sztucznie np.: wentylatorem, dmuchawą, mamy do czynienia z konwekcją wymuszoną. Konwekcja swobodna jest rodzajem wymiany ciepła o małej lub umiarkowanej intensywności, lecz o znacznym skomplikowaniu przebiegu zjawiska.

Zainteresowanie konwekcją swobodną skierowane jest w dwóch kierunkach. Pierwszy z nich to poszukiwania i rozwój metod intensyfikacji procesu [9, 11, 14]. Zintensyfikowany proces konwekcji swobodnej może wpłynąć na możliwość efektywnego wykorzystania np. niekonwencjonalne źródła energii [1], usprawni działanie diod termicznych (układów termosyfonowych) [4, 5], poprawi efekt cieplny oraz aspekt ekonomiczny budowanych maszyn i urządzeń energetycznych. Drugi z trendów dotyczy poszukiwania metod hamowania konwekcyjnej wymiany ciepła jako zjawiska ekonomicznie szkodliwego np.: straty ciepła do otoczenia w budownictwie mieszkaniowym, emisja ogrzanych spalin do otoczenia.

Niniejsza praca może być zaliczona do pierwszej grupy. Podjęto w niej próbę przedstawienia sposobu intensyfikacji wymiany ciepła pomiędzy pionową izotermiczną płytą wymiennika a powietrzem. Intensyfikacje uzyskuje się dzięki ekranowi tworzącemu szczelinę, w której przepływa powietrze. Efekt intensyfikacji możliwy jest do uzyskania wyłącznie poprzez odpowiedni dobór wymiarów geometrycznych szczeliny bez ponoszenia dodatkowych nakładów energetycznych (np.: wyeliminowanie wentylatorów).

Wymiana ciepła na drodze konwekcji swobodnej doczekała się olbrzymiej ilości badań, tak teoretycznych, jak i eksperymentalnych. Mimo tego pojawiają się stale nowe problemy [23, 32], a szereg zagadnień wymaga uściślenia. Wymiana ciepła od płaskiej płyty pionowej do powietrza znajdującego się w szczelinie ograniczonej z jednej strony wymiennikiem, a z drugiej izotermicznym ekranem jest właśnie takim problemem. Jeżeli ekran dotyka powierzchni czołowej wymiennika, wówczas spełnia on rolę oporu cieplnego i mamy do czynienia ze zjawiskiem przenikania ciepła przez izolację. Oddalenie ekranu od izotermicznej płyty powoduje wzrost intensywności wymiany ciepła. Istnieje optymalna odległość, przy której intensywność wymiany ciepła jest największa. Dalsze oddalenie ekranu powoduje pogorszenie wskaźników intensywności procesu, a uzyskane w efekcie parametry są równe parametrom pracy wymiennika, jakie uzyskuje się gdy wymiennik pracuje bez ekranu.

Zagadnienie opracowano w oparciu o analizę teoretyczną. Analiza opiera się o zaproponowany model teoretyczny ujmujący ten problem wymiany ciepła.

Wyniki badań oraz rozważania teoretyczne, zamieszczone w dalszej części pracy, zmierzają do wyjaśnienia wpływu szerokości szczeliny na intensywność wymiany ciepła. W pracy podjęto próbę wyjaśnienia obserwowanych zjawisk oraz opracowanie zależności, które pozwoliłyby z dostatecznie dużą dokładnością opisać mechanizm wymiany ciepła dla rozważanego przypadku.

2. TEZA I ZAKRES PRACY

Na podstawie analizy zagadnień związanych z wymianą ciepła w warunkach konwekcji swobodnej od płaskiej izotermicznej płyty umieszczonej w przestrzeni częściowo ograniczonej określono główny cel rozprawy, którym jest zbadanie wpływu sposobu zabudowy płytowego wymiennika ciepła na intensywność wymiany ciepła. Głębsza analiza tego problemu oraz przeprowadzone własne badania rozpoznawcze pozwalają stwierdzić istnienie wpływu szerokości szczeliny powietrznej na intensyfikację wymiany ciepła (bez dodatkowych nakładów energetycznych). Dało to podstawę do sformułowania tezy pracy kwalifikacyjnej.

Intensyfikacja wymiany ciepła od pionowej, płaskiej, izotermicznej powierzchni o temperaturze różnej od temperatury otoczenia, przy zachowaniu warunków konwekcji swobodnej, zależy w dużej mierze od wielkości przestrzeni ograniczonej, na którą możemy wpływać „ekranem” umieszczanym w zmiennej odległości.

Udowodnienie tej tezy wymagać będzie:

- analizy teoretycznej zagadnień wywierających istotny wpływ na zachowanie się płynu znajdującego się w przestrzeni ograniczonej izotermicznymi powierzchniami o różnych temperaturach,
- badań wpływu wielkości geometrycznych na efekt intensyfikacji wymiany ciepła,
- badań wpływu podstawowych parametrów termo- i hydrodynamicznych na skuteczność wymiany ciepła,
- wykonanie pomiarów termicznych oraz hydrodynamicznych parametrów płynu w przestrzeni między ekranem a wymiennikiem (w tym pól prędkości i temperatur w przestrzeni częściowo ograniczonej).

Uzyskane wyniki badań pozwolą:

- w zakresie badań podstawowych - opracować model teoretyczny, który zostanie zweryfikowany badaniami eksperymentalnymi,
- w zakresie badań stosowanych (o charakterze aplikacyjnym) - opracować korelację pozwalającą wyznaczać współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni płyty pionowej w szczelinie powietrznej. Korelacja będzie formułą obliczeniową przydatną w zastosowaniach inżynierskich.

3. ANALIZA STANU ZAGADNIENIA

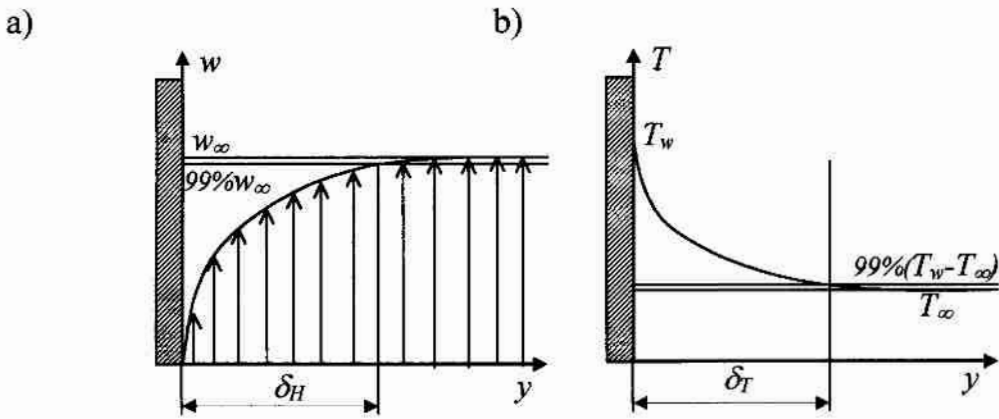
3.1. Wybrane pojęcia charakteryzujące konwekcyjną wymianę ciepła

W rozdziale opisano pojęcia powiązane z wymianą ciepła w warunkach konwekcji swobodnej a używane w dalszej części niniejszej pracy.

Przez konwekcyjną wymianę ciepła rozumie się przenoszenie ciepła poprzez materię zarówno na drodze przewodzenia cieplnego, jak i makroskopowych ruchów czynnika, przy czym efekt przekazywania ciepła przez przewodzenie jest pomijalny.

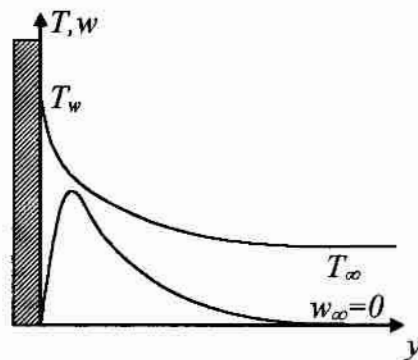
Intensywność konwekcyjnej wymiany ciepła zależy od pól temperatury na ścianie i w płynie, jak również od pola prędkości w płynie [27, 28, 35, 39]. Polem temperatury nazywamy obszar przestrzenny, w którym każdemu punktowi w dowolnej chwili przyporządkowana jest pewna wartość temperatury. Powierzchnia utworzona z punktów o tej samej temperaturze nosi nazwę powierzchni izotermicznej.

Z teorią konwekcyjnej wymiany ciepła nierozdzielnie wiążą się, wprowadzone przez Prandtla w 1904 roku, pojęcia hydraulicznej oraz termicznej warstwy przyściennej. Za grubość hydraulicznej warstwy przyściennej [7] δ_H przyjmuje się zwykle odcinek osi y (rys. 3.1a), któremu odpowiada prędkość płynu stanowiąca 99% wartości prędkości w_∞ w obszarze niezaburzonym. Analogicznie, grubością termicznej warstwy przyściennej δ_T (rys. 3.1b) jest odcinek osi x , gdzie temperatura powierzchni ścianki wynosi 99% wartości różnicy pomiędzy temperaturą T_∞ w obszarze niezaburzonym a temperaturą powierzchni T_w .

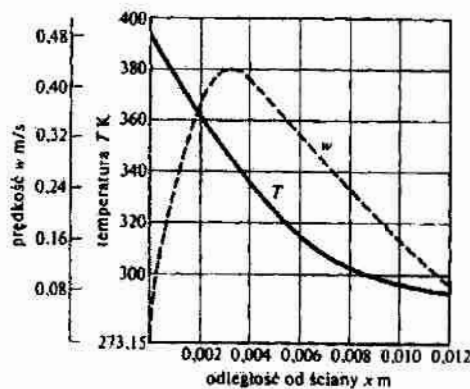


Rys. 3.1. interpretacja graficzna warstwy przyściennej
a) hydrauliczna warstwa przyścienna, b) termiczna warstwa przyścienna

Podczas konwekcji naturalnej zachodzi ścisły związek pomiędzy polem temperatury i polem prędkości. Profile prędkości oraz temperatury powstające przy pionowej ścianie, o temperaturze wyższej od temperatury otoczenia, w warunkach konwekcji swobodnej [27] przedstawiono na rysunku 3.2. Przykładowy rozkład prędkości oraz temperatur przy pionowej ścianie rozgrzanej do temperatury 400 K [39] przedstawiono na rysunku 3.3.

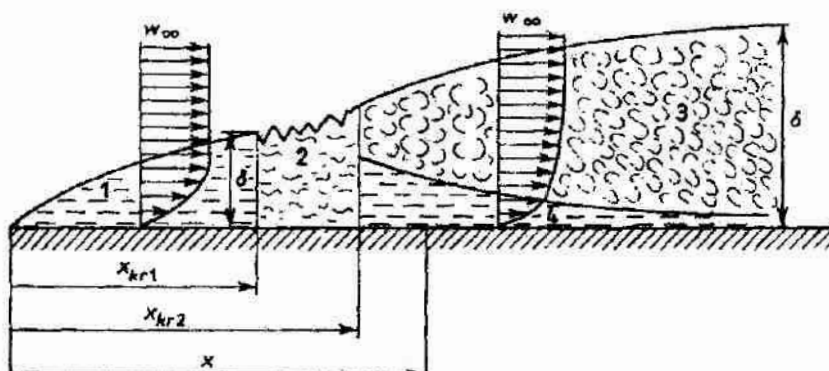


Rys. 3.2. Profil prędkości i temperatury przy pionowej powierzchni o temperaturze $T_w > T_\infty$ [27]



Rys. 3.3. Przykładowy rozkład prędkości oraz temperatur przy ścianie ogrzanej do 400 K [39]

Dla danego rodzaju płynu, zależnie od wysokości przedmiotu opływanego, jego kształtu oraz różnicy temperatur, charakter ruchu może być: laminarny, przejściowy oraz turbulentny. Charakter ruchu jest niezwykle ważny w procesie tworzenia się warstwy przyściennej, ponieważ wpływa na wartość współczynnika przejmowania ciepła α . Schemat tworzenia się warstwy przyściennej przy przepływie płynu wzdłuż poziomej gładkiej ścianki płaskiej przedstawiono na rysunku 3.4.



Rys. 3.4. Warstwa przyściennej przy przepływie płynu wzdłuż poziomej powierzchni płaskiej:
1- warstwa laminarna, 2- obszar przejściowy, 3- warstwa turbulentna, 4- podwarstwa laminarna

Jak dotąd najdokładniej zbadanym przypadkiem jest konwekcyjna wymiana ciepła od pionowej płyty płaskiej w przestrzeni nieograniczonej. Dla tego właśnie przypadku opracowano także najwięcej metod rozwiązywania układu równań różniczkowych cząstkowych - metody ścisłe [27, 39] oraz przybliżone [27,28].

W zagadnieniach konwekcji swobodnej wykorzystuje się (w celu ograniczenia liczby zmiennych niezależnych) teorię podobieństwa zjawisk, która wprowadza bezwymiarowe liczby kryterialne:

Nu – bezwymiarowy współczynnik przejmowania ciepła (liczba Nusselta) wyrażony zależnością:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot H}{\lambda}, \quad (3.1)$$

Gr – liczba podobieństwa pola prędkości- wyróżnik intensywności konwekcji swobodnej (liczba Grashofa) wyrażony wzorem:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot H^3 \cdot (T_w - T_\infty)}{\nu^2}, \quad (3.2)$$

Pr – wyróżnik właściwości termofizycznych płynu (liczba Prandtla) wyrażony wzorem:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p}{\lambda}. \quad (3.3)$$

3.2. Dotychczasowe badania eksperymentalne wymiany ciepła podczas konwekcji swobodnej

Badania eksperymentalne konwekcyjnej wymiany ciepła od izotermicznych powierzchni stanowiły temat bardzo dużej liczby prac. Prace te są weryfikacją poprawności proponowanych przez autorów rozwiązań teoretycznych konwekcyjnej wymiany ciepła. Na uwagę zasługują publikowane w ostatnich latach, a zwłaszcza prace W. M. Lewandowskiego [19 ÷ 24]. W pracach tych autor przedstawia wyniki badań eksperymentalnych oraz rozwiązania teoretyczne w postaci zależności liczb kryterialnych np.: podczas wymiany ciepła od płaskich powierzchni w warunkach laminarnej konwekcji swobodnej [22, 24], konwekcji naturalnej od płyt ukośnych [20], konwekcyjnej wymiany ciepła od płyt o skończonych wymiarach [21], wpływu stosunku długości boków poziomej prostokątnej płyty grzejnej na konwekcję swobodną [19]. Doświadczenia autora zostały zebrane w pracy [23]. Zawiera ona kompendium wiedzy dotyczące wymiany ciepła od płaskich i sferycznych powierzchni złożonych.

Na uwagę zasługuje również praca A. Rasmusa [33]. W pracy tej autor przeprowadził rozważania teoretyczne przejmowania ciepła od płyty dowolnie nachylonej w warunkach konwekcji swobodnej. Rozważania zostały poparte przez autora własnymi badaniami eksperymentalnymi, które przeprowadzono w ośrodkach o dużej liczbie Prandtla. Przedstawione w postaci uogólnionej wyniki stanowią cenny materiał do dalszych analiz i porównań.

Przykładem mnogości rozwiązań zagadnień „czystej” konwekcji swobodnej wyrażonych za pomocą liczb kryterialnych, a uzyskanych zarówno podczas badań eksperymentalnych jak i rozważań teoretycznych, może być praca [22], w której autor zestawiał około 40 różnych zależności uzyskanych przez badaczy w latach 1956 – 1980 a dotyczących płyty pionowej.

W obecnie dostępnej literaturze bardzo rzadko spotyka się rozważania dotyczące konwekcyjnej wymiany ciepła w szczelinie ograniczonej dwoma równoległymi, izotermicznymi powierzchniami. Częściej rozpatrywanym

zagadnieniem jest zachowanie się płynu umieszczonego w prostopadłościennym naczyniu.

Na uwagę zasługuje praca [41], w której autorzy przeprowadzili pomiary w zakresie wymiany ciepła oraz pomiary parametrów termodynamicznych charakterystycznych podczas wymiany ciepła w przestrzeni ograniczonej pionowymi powierzchniami, z których jedna jest chłodzona, a druga grzana. Ściany wykonano z poziomych sekcji, z możliwością dowolnego ich wyłączenia, co sprawiało, że zmieniana była wysokość izotermicznych ścian. Wyniki badań eksperymentalnych uzyskanych podczas badań, gdy przestrzeń ograniczona ścianami wypełniona była wodą, zostały zweryfikowane obliczeniami numerycznymi. W efekcie uzyskano zależność:

$$Nu = 0,432(1 + 0,157 \cdot k)Ra^{1/4} \quad (3.4)$$

gdzie k – współczynnik wyrażony wzorem $k = \frac{d\left(\frac{q}{q_{sr}}\right)}{d\left(\frac{h}{H}\right)}$, w którym:

q – lokalna wartość strumienia ciepła,

q_{sr} – średnia wartość strumienia ciepła,

h – wymiar liniowy - odległość w pionie,

H – wysokość izotermicznej ścianki.

W pracy [36] autorzy (Tian Y. S. et al.) przedstawili wyniki pomiarów temperatury w przestrzeni ograniczonej izotermicznymi ścianami pionowymi o różnych temperaturach. Dokonali analizy na podstawie której określili wartość lokalnej liczby Nusselta wzdłuż ścian poziomych ograniczających przestrzeń od góry oraz od dołu, jak i wzdłuż pionowych ścian: chłodniejszej i cieplejszej. Wyniki ich badań były zgodne z trójwymiarową, numeryczną symulacją przeprowadzoną w 1991 roku przez T. Fusegi. Wyrazili oni lokalną liczbę Nusselta równaniem:

$$Nu = 0,163Ra^{0,282} \quad (3.5)$$

Przekazywanie ciepła przez płyny umieszczone w wąskich przestrzeniach ograniczonych jedynie powierzchniami pionowymi (tzn. brak ograniczeń w ruchu pionowym, co pozwoliło na opuszczanie przez czynnik przestrzeni, jak i jego swobodny napływ) ujął Niemann. Wprowadził on zastępczy współczynnik przewodzenia ciepła λ_r [17]. Współczynnik ten ujmuje istniejące w szczelinie ruchy konwekcyjne. Dla różnych kształtów szczelin Niemann ustalił następującą zależność:

$$\frac{\lambda_r}{\lambda} = 1 + \frac{m \cdot (Gr \cdot Pr)^r}{Gr \cdot Pr + n} \quad (3.6)$$

Na podstawie badań eksperymentalnych Niemann podał wartości współczynników m , n , r . Dla pionowej szczeliny wynoszą one: $m = 0,0236$, $n = 1,01 \cdot 10^4$, $r = 1,393$.

Wzory innych badaczy ujmują także wpływ szerokości szczeliny L i wysokości H szczeliny. W pracy [27] odwołano się do badań Jackoba który na podstawie wyników eksperymentalnych Mulla, Reihera, Nusselta oraz Schmidta podał wzory dla szczelin pionowych wypełnionych powietrzem, w których H/δ zawiera się w przedziale od 11 do 42:

$$\frac{\lambda_r}{\lambda} = 0,18 \cdot Gr^{1/4} \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^{1/9}, \quad (3.7)$$

gdy $2 \cdot 10^4 < Gr < 2 \cdot 10^5$ oraz

$$\frac{\lambda_r}{\lambda} = 0,065 \cdot Gr^{1/3} \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^{1/9}, \quad (3.8)$$

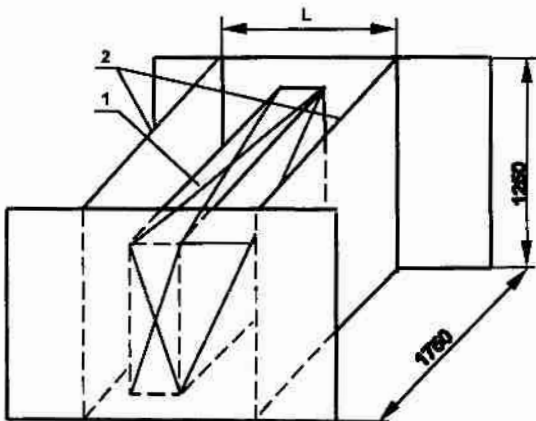
gdy $2 \cdot 10^5 < Gr < 11 \cdot 10^6$.

Wyżej wymienione prace zaliczyć można do grupy pionierskich badań w tej dziedzinie. W obecnej literaturze naukowo-technicznej sporadycznie spotyka się publikacje podejmujące ten problem i przedstawiające kompleksowe rozwiązania. Na szczególną uwagę zasługują prace [3, 9, 15].

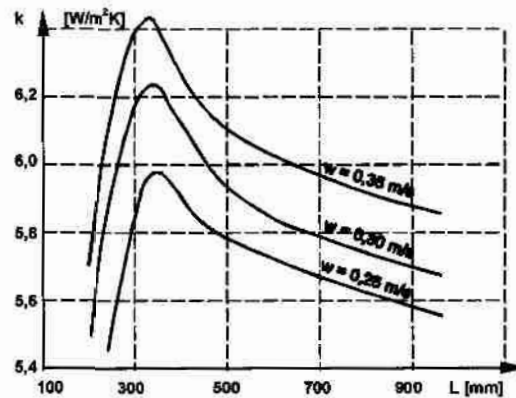
Praca [9] zawiera wyniki badań wymiany ciepła od wymiennika ożebrowanego do powietrza znajdującego się w przestrzeni ograniczonej

pionowymi ściankami stanowiącymi zabudowę tego wymiennika (rys. 3.5). Badania te zostały przeprowadzone dla konwekcji swobodnej. W pracy zauważono możliwość polepszenia wskaźników cieplnych urządzenia spowodowane zmianą parametrów termodynamicznych przepływającego swobodnie czynnika tylko dzięki odpowiedniej zabudowie wymiennika.

Przykładowe wyniki badań (rys 3.6) pozwalają zauważyć, że istnieje optymalna odległość pomiędzy przeciwległymi ściankami L , przy której współczynnik przenikania ciepła k dla badanego parownika osiąga wartość maksymalną. Badania te przeprowadzono przy trzech różnych prędkościach przepływającej przez parownik wody.



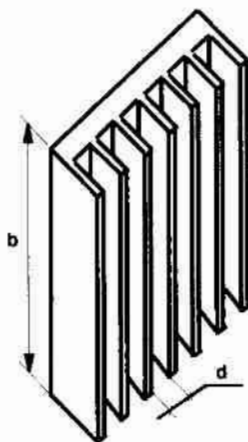
Rys. 3.5. Schemat zabudowy parownika w kanale: 1- parownik ożebrowany, 2- płyty czołowe kanału



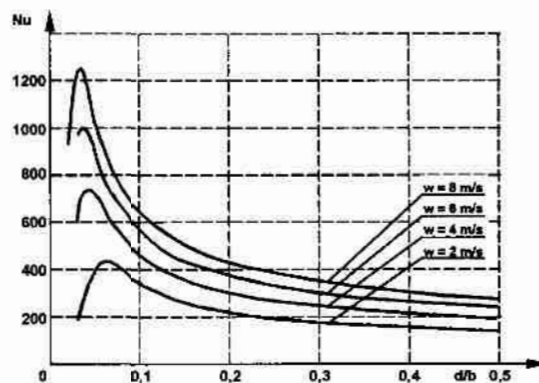
Rys. 3.6. Charakterystyki $k=f(L)$ przy różnych wartościach prędkości przepływu wody przez wymiennik

Prace [3, 15] dotyczą intensyfikacji odbioru ciepła od radiatora (rys. 3.7), do powietrza, ale podczas konwekcji wymuszonej. Autorzy analizowali wpływ takich parametrów jak: wysokość radiatora, grubość żebra, wysokość żebra czy rozstaw zeber na intensywność wymiany ciepła. Interesujące są wyniki [15] uzyskane podczas badań wpływu wysokości radiatora b . W tym celu, przy niezmiennych innych parametrach, skracano go od pewnej wartości początkowej. Uzyskano charakterystyki przedstawione na rysunku 3.8. Wyniki badań przedstawiono na wykresach we współrzędnych bezwymiarowych. Rysunek ten ukazuje wpływ bezwymiarowego parametru: szerokość szczeliny między żebrami- d do wysokości radiatora- b , na wartość średniej liczby Nusselta przy czterech różnych wartościach prędkości przepływu powietrza. Jeżeli założy się,

że niezmienna była wysokość radiatora, to istnieje odległość między żebrami d , dla której wymiana ciepła osiąga parametry maksymalne.



Rys. 3.7. Aksonometryczny widok radiatora



Rys. 3.8. Charakterystyka $Nu_{sr} = f(d/b)$ dla różnych wartości prędkości przepływu powietrza

Prace [2, 8, 13, 30, 38, 40] opisują wyniki badań doświadczalnych lub obliczeń numerycznych wpływu wielkości geometrycznych na poprawę wartości wskaźników charakterystycznych dla danych procesów a ściśle powiązanych z wymianą ciepła.

W pracy [8] przedstawiono wyniki badań wpływu wysokości żeber na współczynnik wnikania ciepła przy skraplaniu R22 na poziomych rurach ożebrowanych, co zostało potwierdzone również w pracy [30], w której wykazano istotny wpływ geometrii rur ożebrowanych na wydajność skraplacza płaszczowo-rurowego i możliwość zwiększenia tej wydajności stosując ożebrowanie o odpowiednich wymiarach.

Praca [2] przedstawia efekty obserwacji wymiany ciepła od poziomej rurki do powietrza, gdy całość znajduje się w przestrzeni o różnej szerokości ograniczonej izotermicznymi pionowymi ściankami i wpływ tej szczeliny na cały proces.

Prace [38, 40] są wynikami analizy wpływu geometrii oraz temperatury pionowych ścian na tworzącą się tyrbulentną warstwę przyścienną a zwłaszcza na charakter uzyskiwanych fluktuacji powietrza ustępującego pod naporem kolejnych rozgrzanych warstw.

W pracy [13] autorzy, na podstawie obliczeń numerycznych, wskazują, że proporcje pojemników o geometrii pierścieniowej mających zastosowanie np.: w procesach przemian fazowych materiałów celem akumulacji energii, są bardzo istotne. Stosunek szerokości szczeliny pierścieniowej do jej wysokości wpływa znacząco na czas dostarczania ciepła potrzebnego do całkowitej zmiany stanu skupienia określonej masy substancji znajdującej się w takim pojemniku.

Wszystkie opisane wyżej prace zauważają istotny wpływ geometrii układów na procesy związane z konwekcją naturalną. Publikacje te skłaniają do dalszych prac, obserwacji oraz analizy i próby bliższego poznania zachodzących zjawisk. Opracowanie jednoznacznej metody wyznaczania optimum geometrycznego, a w efekcie świadome wykorzystanie zaobserwowanych zjawisk pozwoli intensyfikować procesy wymiany ciepła nie pociągając za sobą dodatkowych kosztów energetycznych.

4. BADANIA EKSPERYMENTALNE

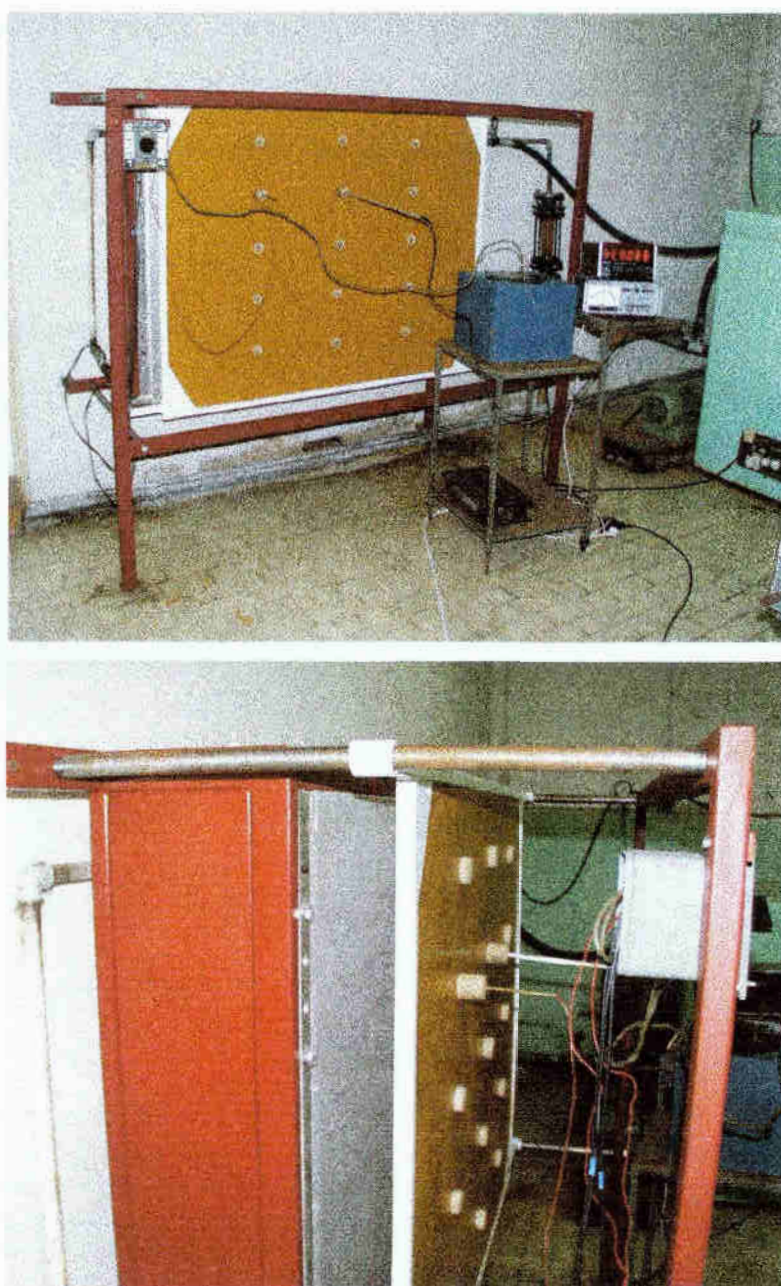
Niniejszy rozdział pracy zawiera wyniki badań eksperymentalnych dotyczących konwekcji naturalnej w szczelinie utworzonej z wymiennika ciepła i ekranu. Dostarczyły one dużą ilość nowych, cennych informacji dotyczących konwekcji swobodnej w szczelinie pionowej. Mogą one stać się podstawą do dyskusji nad założeniami do budowy modeli teoretycznych. Stanowią uzupełnienie spotykanych w literaturze wyników badań, jak również nowy materiał porównawczy.

4.1. Cel badań eksperymentalnych

Głównym celem badań eksperymentalnych było wykonanie pomiarów umożliwiających poznanie mechanizmów wymiany ciepła w szczelinie pionowej w warunkach konwekcji swobodnej. Badania przeprowadzono dla powietrza, które znajdując się w szczelinie poruszało się jedynie na skutek różnicy temperatur w polu grawitacyjnym. Ponadto celem badań było dostarczenie informacji dotyczących wpływu szerokości szczeliny na przebieg oraz intensyfikację procesu, określenie podstawowych parametrów termodynamicznych jak grubość termicznej i hydraulicznej warstwy przyściennej, czy rozkłady temperatur oraz prędkości wzdłuż szerokości szczeliny na kilku jej wysokościach. Takie informacje zostały wykorzystane do opisu mechanizmu wymiany ciepła w pionowej szczelinie powietrznej. Badania przeprowadzono z myślą praktycznego wykorzystania uzyskanych zależności w obliczeniach projektowych. Uzyskane wyniki pomiarów posłużyły również do wyznaczenia korelacji pozwalającej obliczyć wartość współczynnika przejmowania ciepła α podczas konwekcji w szczelinie pionowej.

4.2. Opis stanowiska badawczego

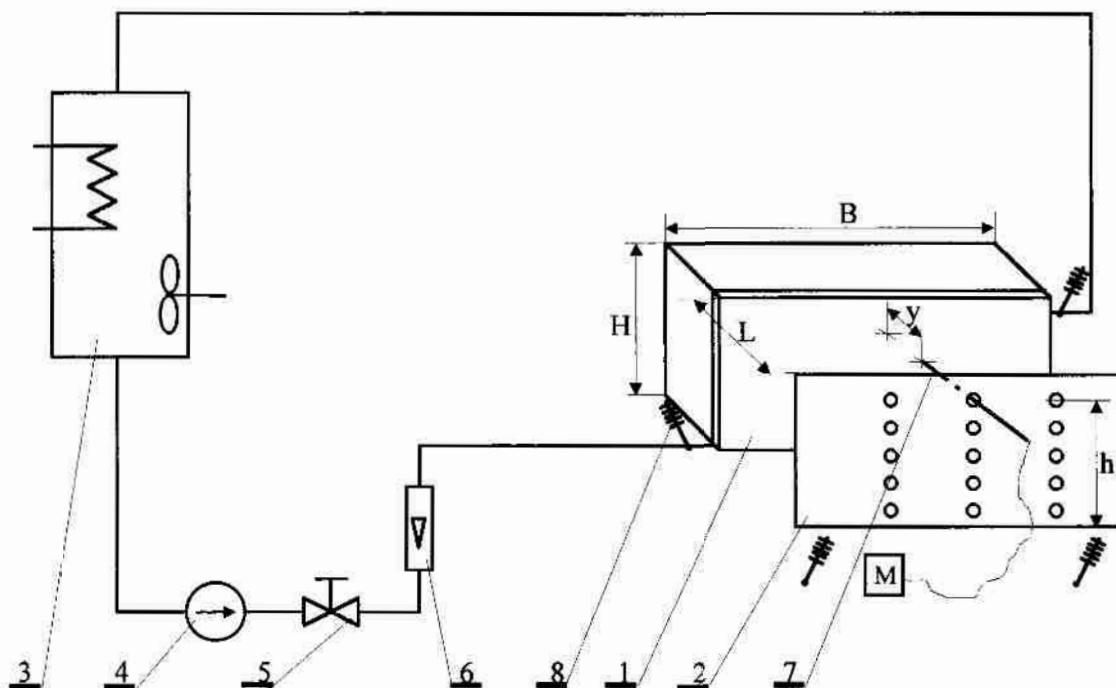
Jak już podano, przeprowadzenie własnych badań eksperymentalnych miało na celu poznanie zjawisk związanych z intensyfikacją wymiany ciepła podczas konwekcji swobodnej w powietrznej szczelinie pionowej o zmiennej szerokości oraz znalezienie ilościowych zależności określających ten proces. Mając powyższe na uwadze zaprojektowano a następnie zbudowano w laboratorium Katedry Techniki Ciepłej i Chłodnictwa Politechniki Koszalińskiej stanowisko pomiarowe. Jego widok pokazano na rysunku 4.1 zaś schemat ideowy na rysunku 4.2.



Rys. 4.1. Widok stanowiska badawczego

Stanowisko to składało się z układów: badawczego, kontrolno pomiarowego oraz układu zasilania.

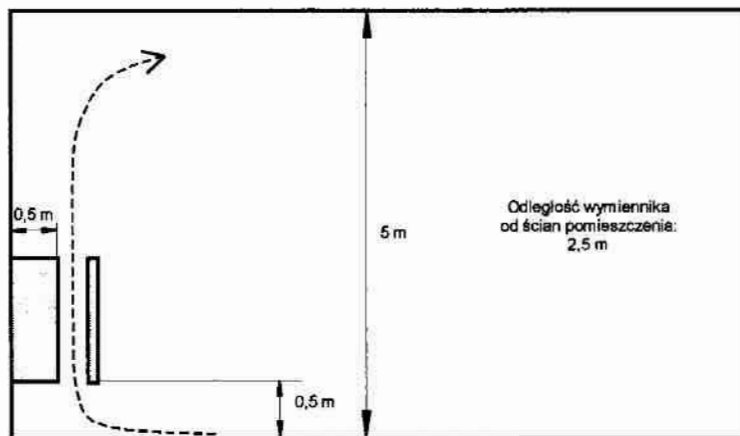
Układ badawczy stanowiły: wymiennik ciepła w kształcie płaskiej aluminiowej płyty o wymiarach 1480×1180 mm (szerokość- B × wysokość- H), z izolowaną termicznie tylną ścianą oraz ekran (o wymiarach płyty) z możliwością umieszczania go w zmiennej odległości $L = 0 \div 200$ mm od powierzchni czołowej wymiennika. Izolację termiczną wymiennika stanowił spieniony polistyren o grubości 250 mm i gęstości 30 kg/m^3 . Jako ekran wykorzystano meblową płytę wiórową o grubości 18 mm. W płycie tej wykonane były trzy rzędy otworów oddalone od siebie o 360 mm. Otwory te umieszczone były w pięciu różnych odległościach od dolnej krawędzi wymiennika. Odległości te wynosiły odpowiednio: $h = 205; 410; 615; 820; 1025$ mm. Otwory te w czasie pomiarów były zaślepione drewnianymi korkami, w miejsce których na czas pomiarów umieszczano przewodnicę czujnika temperatury lub prędkości.



Rys. 4.2. Schemat stanowiska pomiarowego

- 1- badany wymiennik ciepła, 2- ekran, 3- zbiornik z oprzyrządowaniem do stabilizacji temperatury czynnika obiegowego, 4- pompa, 5- zawór dławiący, 6- rotametr,
- 7- czujnik termooanemometryczny (zamiennie z termoelementem) wraz z miernikami,
- 8- termometry termoelektryczne

Całość układu badawczego była umieszczona w stalowej konstrukcji przymocowanej, po uprzednim ustawieniu w pionie i poziomie, do ściany budynku. Usytuowanie układu badawczego w pomieszczeniu (rys. 4.3) pozwala traktować, iż cały on znajdował się w przestrzeni nieograniczonej, a co za tym idzie, przyjmuje się, że brak jest oddziaływania przegród budowlanych na proces wymiany ciepła w szczelinie powietrznej.



Rys. 4.3. Schemat ustawienia wymiennika w pomieszczeniu.

W skład układu kontrolno pomiarowego wchodziły:

- do pomiaru spadku temperatury czynnika przepływającego przez wymiennik- termometr termoelektryczny typu J (Fe-CuNi) pracujący w układzie różnicowym. Dla zwiększenia dokładności odczytów wykorzystano połączenie wielokrotne termopar;
- do pomiaru temperatury początkowej czynnika dochodzącej do wymiennika wykorzystano termoelement typu J;
- do pomiaru temperatury w szczelinie powietrznej wykorzystano termoelement typu T (Cu-CuNi);
- do pomiaru prędkości w szczelinie powietrznej wykorzystano czujniki termoanemometryczne wraz z miernikiem.

W skład układu zasilania wchodziły: zbiornik wody o objętości 1m^3 wraz z oprzyrządowaniem do stabilizacji jej temperatury, pompa obiegowa, rotametr oraz zawór regulacyjny.

4.3. Sposób prowadzenia badań

Badania prowadzono w dwóch etapach. Pierwszy z etapów dotyczył sprawdzenia możliwości intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła na zbudowanym w laboratorium Katedry Techniki Ciepłej i Chłodnictwa stanowisku badawczym. Intensyfikację wymiany ciepła planowano uzyskać wyłącznie poprzez umieszczenie ekranu w odpowiednich odległościach przed wymiennikiem. W drugim etapie badań planowano dokonać pomiaru parametrów termicznych i hydrodynamicznych powietrza w szczelinie powietrznej między ekranem a wymiennikiem.

ETAP I

Podczas pierwszego etapu badań eksperymentalnych zmieniano: odległość ekranu od powierzchni czołowej wymiennika w zakresie $L = 0 \div 200$ mm, temperaturę początkową czynnika obiegowego (wody) $T_l = 55 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$, masowe natężenie przepływu czynnika obiegowego $\dot{m}_w = 0,14 \div 0,83$ kg/s.

Do wymiennika doprowadzano wodę podgrzaną do żądanej temperatury – T_l . Przy stałym natężeniu przepływu wody mierzono spadek jej temperatury ΔT_w . Pomiarów tych dokonywano dla różnych odległości L ekranu od wymiennika. W celu potwierdzenia uzyskanych wyników pomiary powtarzano kilkakrotnie dla różnych natężeń przepływu wody. Przy każdym pomiarze kontrolowano niezmiennosc temperatury wody, temperatury otoczenia oraz stałość natężenia przepływu wody.

ETAP II

W etapie drugim zmieniano odległość ekranu od powierzchni czołowej wymiennika w zakresie $L = 0 \div 200$ mm oraz temperaturę początkową czynnika obiegowego $T_l = 32 \div 75 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Natężenie przepływu wody przez wymiennik wynosiło $3,1$ m³/h (maksymalne, możliwe do uzyskania przez zainstalowaną na stanowisku pompę). Przy takim natężeniu przepływu, spadek temperatury wody

wynosił $0,1 \pm 0,3$ K, co na powierzchni zewnętrznej wymiennika równej $1,75 \text{ m}^2$, można uznać za warunek izotermiczności. Po uzyskaniu warunków ustalonych (stałe natężenie przepływu wody, temperatura powierzchni wymiennika oraz temperatura otoczenia) dokonywano pomiarów parametrów termicznych i hydrodynamicznych powietrza w szczelinie. Mierzono wartości temperatur powietrza oraz jego prędkości. Wstępne pomiary wykonywano na pięciu różnych wysokościach od dolnej krawędzi wymiennika w trzech sąsiednich rzędach. Ze względu na fakt, iż wyniki uzyskane w trakcie wstępnych pomiarów dla każdej z trzech kolumn nie odbiegały od siebie (brak oddziaływań powietrza przez wolne przestrzenie boczne) dalsze- właściwe pomiary wykonywano tylko w kolumnie otworów leżących w pionowej osi wymiennika.

4.4. Pomiary podstawowych parametrów

Prowadząc badania wykonano pomiary parametrów termiczno-przepływowych zarówno czynnika zasilającego wymiennik, jak i powietrza znajdującego się w szczelinie powietrznej. Mierzono następujące wielkości:

- masowe natężenie przepływu czynnika zasilającego wymiennik – \dot{m}_w ;
- temperaturę początkową czynnika – T_l ;
- spadek temperatury czynnika – ΔT_w ;
- temperaturę powietrza w szczelinie – T_f ;
- temperaturę otoczenia – T_{oi} ;
- prędkość powietrza w szczelinie – w ,
- ciśnienie barometryczne – p_b .

Wymienione wielkości mierzono za pomocą następujących przyrządów:

- masowe natężenie przepływu czynnika zasilającego wymiennik mierzono za pomocą szklanego rotametu. Rotometr ten po uprzednim ustawieniu w pionie został umieszczony na odcinku rurociągu przed wymiennikiem płytowym. Rotometr typu VA-30R był produkcji firmy: KRONE Dulsburg. Zakres pomiarowy rotametu wynosił od 400 do 4000 l/h, zaś działka elementarna 100 l/h. Wskazania rotametu zostały wcześniej sprawdzone metodą napełniania zbiornika [10];
- temperaturę początkową czynnika mierzono za pomocą termometru termoelektrycznego typu J o średnicy przewodów 0,35 mm i długości około 2 m. Termoparę tą umieszczono złączem pomiarowym w tulejce miedzianej zalanej olejem, wpuszczonej w rurociąg i zanurzonej w przepływającym płynie. Złącze odniesienia termoelementu zanurzone w naczyniu Dewara [6] z czynnikiem o stałej temperaturze odniesienia wynoszącej 273,15 K. Termopara przed przystąpieniem do pomiarów była indywidualnie cechowana w ultratermostacie typu UTU-4 produkcji EQUIMED- Kraków. Jako termometr wzorcowy użyto termometru szklanego o dokładności wskazań $\pm 0,01$ °C. Wartości napięć termometrycznych mierzono za pomocą

woltomierzy cyfrowych typu V534 produkcji Mera- Tronik o dokładności wskazań $\pm 0,001$ mV (co odpowiadało $\pm 0,02$ °C);

- spadek temperatury czynnika mierzono za pomocą termometru termoelektrycznego typu J o średnicy przewodów 0,35 mm i długości około 3 m. Termoparę tą umieszczono jednym końcem w tulejce miedzianej zalanej olejem, wpuszczonej w rurociąg i zanurzonej w przepływającym płynie przed wymiennikiem. Drugi koniec termoelementu umieszczono w ten sam sposób ale na odcinku rurociągu za wymiennikiem. Termopara była wykonana jako podwójna (w celu zwiększenia dokładności pomiarów) i przed przystąpieniem do pomiarów była indywidualnie cechowana w ultratermostacie typu UTU-4 produkcji EQUIMED- Kraków. Termometrem wzorcowym był termometr szklany o dokładności wskazań $\pm 0,01$ °C. Pomiarów wartości napięć termometrycznych dokonywano za pomocą woltomierzy cyfrowych typu V534 produkcji Mera- Tronik o dokładności wskazań $\pm 0,001$ mV, co dla tej termopary odpowiadało wartości $\pm 0,01$ °C;
- temperaturę powietrza w szczelinie mierzono za pomocą termopary typu T, zaś temperaturę otoczenia termoparą typu J. Termoparę wykonano, przecechowano i obsługiwano w sposób jak termoelement do pomiaru temperatury początkowej czynnika. Wskazania miernika równe $\pm 0,001$ mV odpowiadały wartościom temperatury $\pm 0,025$ °C (dla termoelementu typu T) oraz $\pm 0,02$ °C (dla termoelementu typu J);
- prędkość powietrza w szczelinie powietrznej mierzono za pomocą czujnika termoanemometrycznego HPTT 96 [25], który wraz z przetwornikiem połączone były z komputerową kartę pomiarową. Czujnik termoanemometryczny posiadał dwa włókna, z których jedno przeznaczone było do pomiaru prędkości, a drugie do pomiaru temperatury. Włókno czujnika wykorzystywane do pomiaru prędkości posiadało średnicę 5 μ m oraz długość 1mm i wysunięte było poza obsadkę o średnicy 4 mm na 20 mm. Za tym włóknem (patrząc od strony napływu powietrza) umieszczone było drugie włókno o identycznych wymiarach- termometryczne- niezbędne

do kompensacji temperatury czynnika. Taka konstrukcja umożliwiała minimalizowanie zaburzenia pola prędkości w obszarze pomiarów przez sam czujnik oraz prawidłowy pomiar prędkości niezależnie od temperatury przepływającego powietrza [12]. Przetwornik spełniał funkcję elementu zmieniającego sygnał z włókien termooanemometru na sygnały napięciowe proporcjonalne do prędkości oraz temperatury badanego medium. Czujniki wraz z przetwornikiem wykonane były przez Instytut Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie, na zamówienie. Czujniki posiadały indywidualne charakterystyki i zostały wykonane na potrzeby niniejszej pracy. Uzyskiwany sygnał napięć w zakresie $5 \div 7$ V odpowiadał zakresowi prędkości $0 \div 1$ m/s. Czujnik wraz z przetwornikiem współpracował z komputerową kartą pomiarową PCL-8118HG firmy ADVANTECH o rozdzielczości 12 bitów z możliwością jednoczesnego podłączenia 16 kanałów zbierających sygnał w zakresie $0 - 10$ V [37]. Rozdzielczość 12 bitów odpowiada zdolności rozróżnienia napięć rzędu 2,5 mV co pozwala mierzyć prędkości z dokładnością do 12,5 mm/s. Wszystkie dane zbierane oraz obrabiane były za pomocą profesjonalnego oprogramowania do akwizycji danych.

Pomiarów parametrów powietrza w szczelinie można było dokonywać w różnych punktach wzdłuż jej szerokości. Specjalny układ na bazie śruby mikrometrycznej pozwalał na umieszczanie czujnika w różnej odległości od powierzchni czołowej wymiennika- y z dokładnością do 0,01 mm.

4.5. Wyniki badań

Po zmontowaniu stanowiska eksperymentalnego przystąpiono do pomiarów rozpoznawczych i sprawdzających. Celem badań wstępnych było między innymi: sprawdzenie stabilności parametrów w czasie, określenie możliwości regulacyjnych układu zasilania oraz określenie strat ciepła do otoczenia przez tylną zaizolowaną ścianę wymiennika (Załącznik nr 1).

4.5.1. Wyniki badań w zakresie intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła

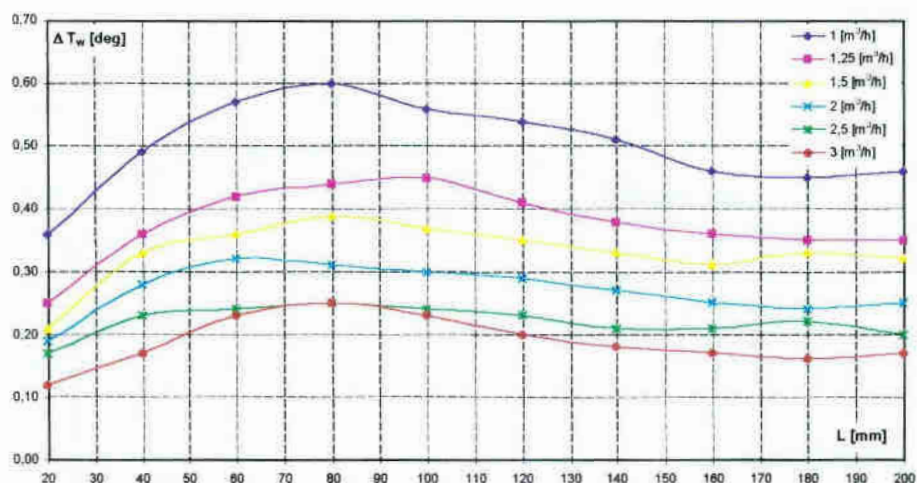
Wyniki badań przedstawione w tym rozdziale stanowią efekt I ETAPU badań, w którym sprawdzono możliwość intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła poprzez umieszczenie ekranu w odpowiedniej odległości przed powierzchnią czołową wymiennika. Podczas tego etapu badań zmieniano na stanowisku badawczym następujące parametry:

- odległość ekranu od powierzchni czołowej wymiennika w zakresie $L = 0 \div 200$ mm,
- masowe natężenie przepływu czynnika obiegowego $\dot{m}_w = 0,14 \div 0,83$ kg/s,
- temperaturę początkową czynnika obiegowego (wody)-stała- $T_1 = 55 \pm 0,1$ °C,
- temperaturę czynnika w obszarze niezaburzonym- stała $T_\infty = T_{ot} = 25 \pm 0,5$ °C.

Pomiary wykonywano w stanie ustalonym w sposób opisany w rozdziale 4.3.

Wyciąg z protokołu badań przedstawiono w załączniku (Załącznik nr 6).

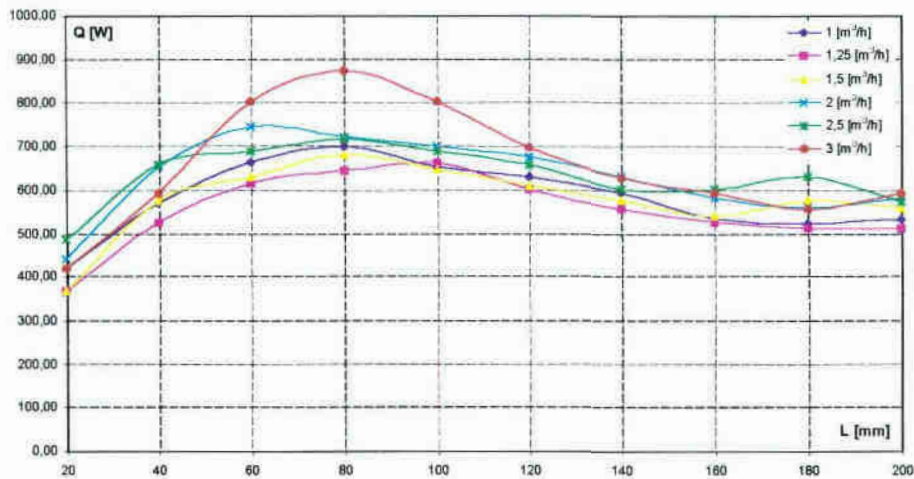
Wpływ odległości ekranu, od powierzchni czołowej wymiennika, na wartość spadku temperatury czynnika ΔT_w , przy różnych stałych wartościach jego natężenia przepływu \dot{m}_w przedstawiono na rysunku 4.4.



Rys. 4.4. Zależność spadku temperatury wody ΔT_w w wymienniku, w zależności od odległości ekranu od wymiennika (temperatura początkowa wody $T_1 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$)

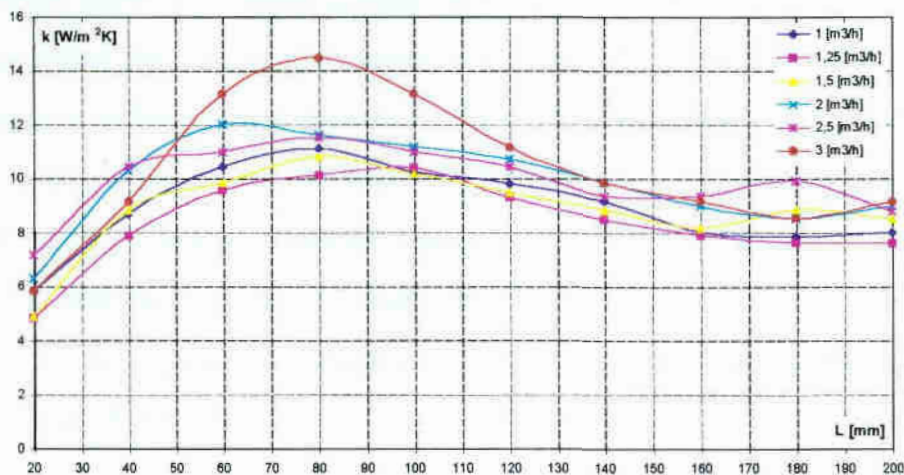
Zauważa się, że różnica temperatur wzrasta wraz, ze zbliżaniem ekranu do wymiennika. Istnieje odległość, dla której wartość spadku temperatury wody ΔT_w osiąga maksimum. Dalsze zbliżanie ekranu powoduje zmniejszenie tej różnicy. Widoczny jest również wpływ wartości masowego natężenia przepływu wody \dot{m}_w , na wartość spadku jej temperatury. Im większa wartość natężenia przepływu czynnika, tym uzyskana wartość spadku temperatury ΔT_w jest mniejsza dla analogicznych szerokości szczeliny L .

Znając spadek temperatury czynnika na wymienniku ΔT_w oraz jego masowe natężenie przepływu \dot{m}_w możliwe jest określenie ilości przekazywanego do otoczenia ciepła. Przykładowe zestawienie wartości przekazywanego ciepła w formie graficznej przedstawiono na rysunku 4.5. Obrazuje on wpływ odległości ekranu od powierzchni czołowej wymiennika L , na wartość przekazywanego ciepła, przy różnych stałych wartościach natężenia przepływu \dot{m}_w . Uzyskane przebiegi są analogiczne do przedstawionych na rysunku 4.4.



Rys. 4.5. Zależność wartości strumienia ciepła Q przekazywanego do otoczenia w funkcji odległości L ekranu od powierzchni czołowej wymiennika, przy różnych natężeniach przepływu wody \dot{m}_w

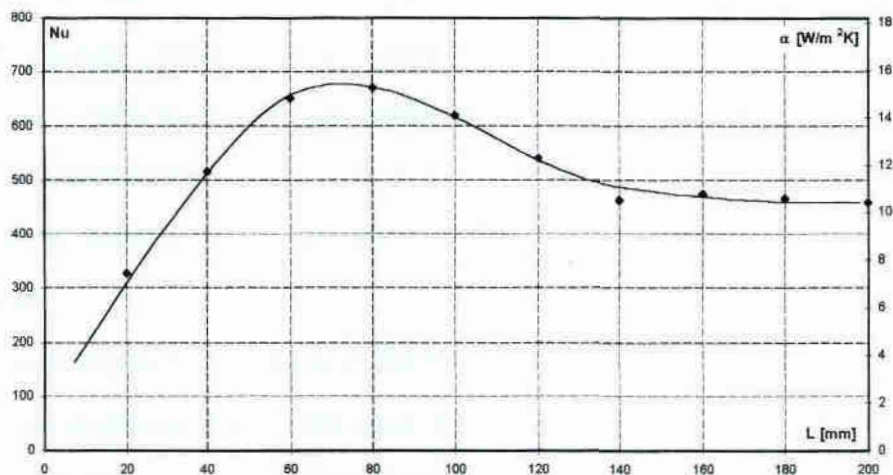
Przebieg charakterystyk $k = f(L)$, jako parametru charakteryzującego zdolność badanego wymiennika do przekazywania ciepła, pokazano na rysunku 4.6. Zauważa się wyraźnie, że w pewnym określonym zakresie wartości odległości ekranu od powierzchni czołowej wymiennika charakterystyka $k = f(L)$ osiąga maksimum, a więc istnieje możliwość ustalenia optymalnego rozstawu, przy którym efekt wymiany ciepła jest najskuteczniejszy.



Rys. 4.6. Zależność współczynnika przenikania ciepła k badanego wymiennika od szerokości szczeliny powietrznej L przy różnych wartościach natężenia przepływu wody \dot{m}_w

Wykorzystując powyższe informacje można obliczyć wartości średniego współczynnika przejmowania ciepła po stronie powietrza α . W tym celu posłużono się metodą Wilsona [29], którą opisano w załączniku Z.2. Zależność

średniego współczynnika przejmowania ciepła α oraz kryterialnej liczby Nusselta Nu w funkcji odległości ekranu od wymiennika przedstawiono na rysunku 4.7. Do obliczenia liczby Nusselta przyjęto $H = 1,18 \text{ m}$, $\lambda = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ [W/mK]}$.



Rys. 4.7. Zależność średniego współczynnika przejmowania ciepła α po stronie powietrza oraz liczby Nusselta Nu od szerokości szczeliny powietrznej L

Umieszczenie ekranu równoległe do powierzchni czołowej wymiennika, w odpowiedniej odległości, spowodowało wykorzystanie w procesie intensyfikacji wymiany ciepła „ciągu” konwekcyjnego. Powstał on na skutek różnicy gęstości dwóch słupów powietrza (wewnątrz i na zewnątrz szczeliny powietrznej) o jednakowej wysokości równej wysokości szczeliny. Niezależnie więc od pracy wymiennika w warunkach konwekcji swobodnej występował dodatkowy efekt ciągu konwekcyjnego, który dla określonej odległości L intensyfikował maksymalnie wymianę ciepła.

Istnienie tego zjawiska potwierdzają również na podstawie swoich badań autorzy prac [8, 9, 13, 15, 30].

4.5.2. Wyniki pomiaru parametrów w szczelinie powietrznej

Wyniki badań przedstawione w tym rozdziale stanowią efekt II ETAPU badań, w którym dokonywano pomiarów cieplnych i hydrodynamicznych przepływającego grawitacyjnie powietrza znajdującego się w szczelinie powietrznej. Podczas tego etapu badań na stanowisku laboratoryjnym zmieniano następujące parametry:

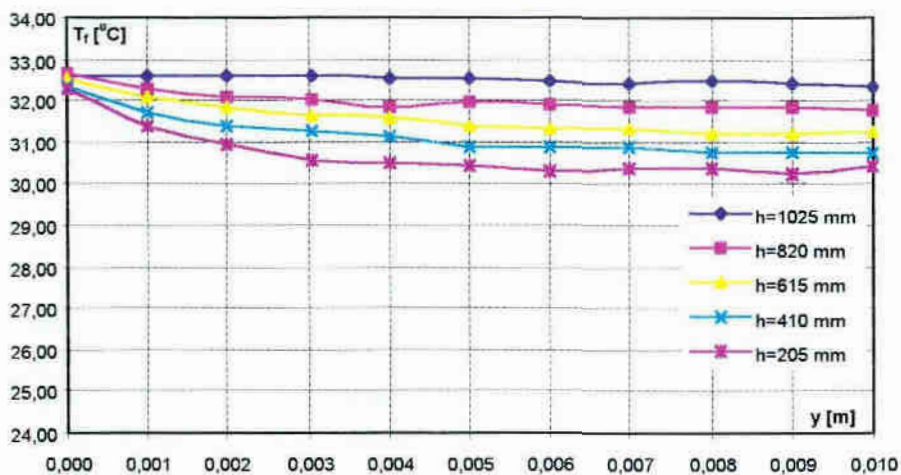
- odległość ekranu od powierzchni czołowej wymiennika w zakresie $L = 0 \div 200$ mm,
- temperaturę początkową czynnika obiegowego (wody) $T_l = 32 \div 75 \pm 0,1$ °C,
Na stałym poziomie utrzymywane były:
- natężenie przepływu czynnika obiegowego $\dot{m}_w = 3,1$ m³/h,
- temperatura czynnika w obszarze niezaburzonym $T_\infty = T_{ot} = 25 \pm 0,5$ °C.

Przy tak zachowanych parametrach dokonywano pomiarów temperatury powietrza oraz jego prędkości na pięciu różnych wysokościach (rozd. 4.2). Wszystkie pomiary wykonywano w stanie ustalonym układu.

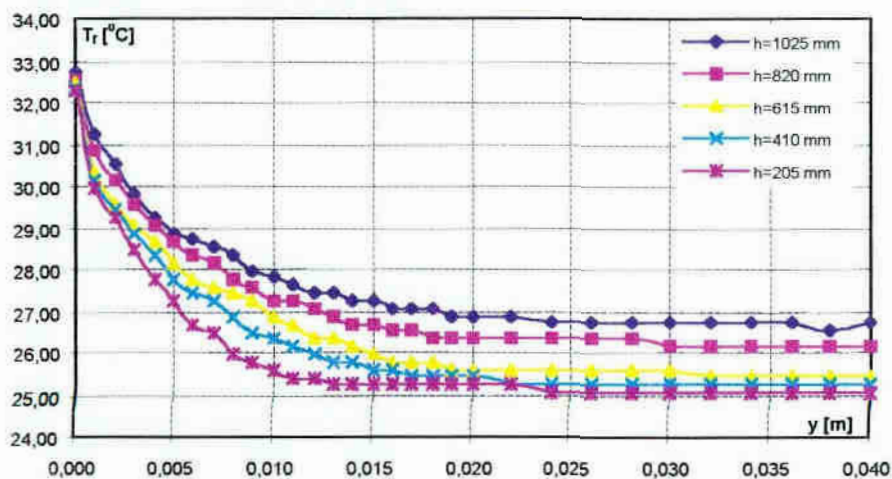
Wyciąg z protokołu badań przedstawiono w załączniku Z.7.

Na rysunkach 4.8, 4.9 i 4.10 przedstawiono przykładowe profile temperatur na różnych wysokościach od dolnej krawędzi wymiennika w szczelinie powietrznej o różnej szerokości. Wszystkich tych pomiarów dokonano dla jednej wartości temperatury ścianki wymiennika wynoszącej $T_w = 32,5$ °C.

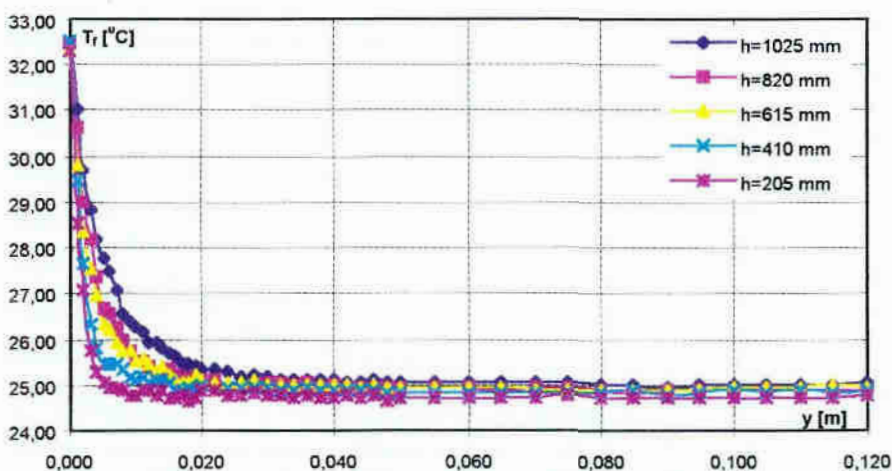
Rysunki 4.8 ÷ 4.10 zostały również, w celu łatwiejszego porównania, przedstawione tak, aby ukazywały na osi odciętych 40 mm (rys. 4.11 ÷ 4.13).



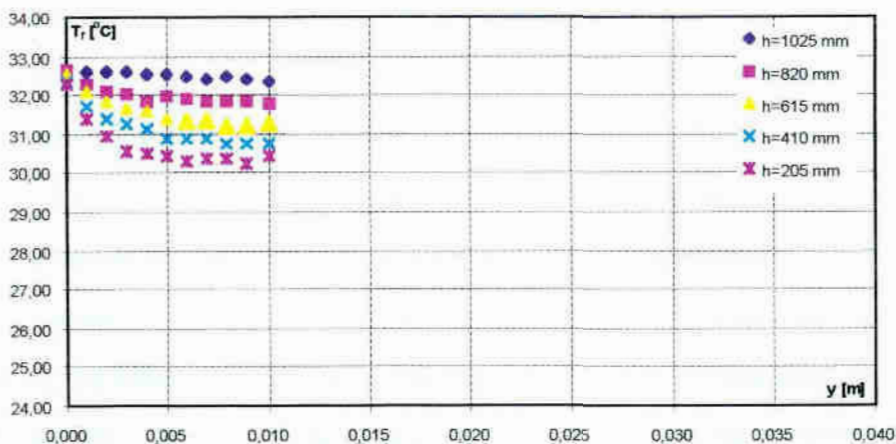
Rys. 4.8. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej na różnych wysokościach h ; szerokość szczeliny $L = 10$ mm; $T_w = 32,5$ °C



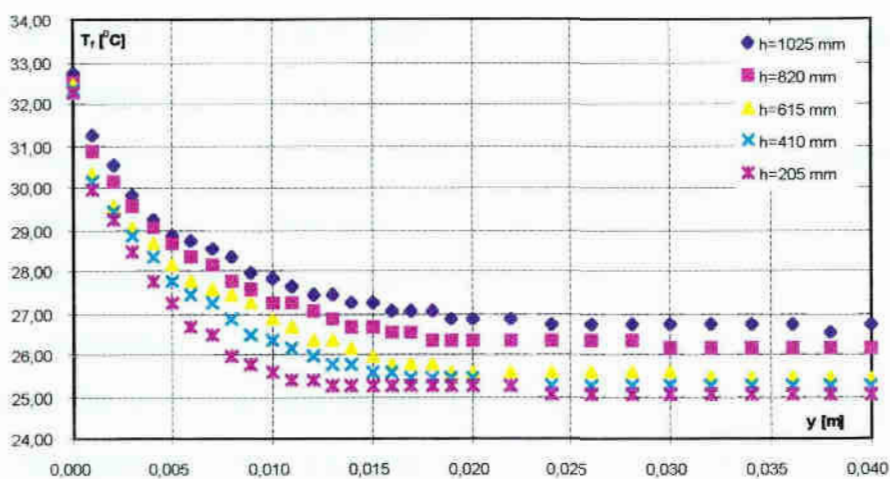
Rys. 4.9. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej na różnych wysokościach h ; szerokość szczeliny $L = 40$ mm; $T_w = 32,5$ °C



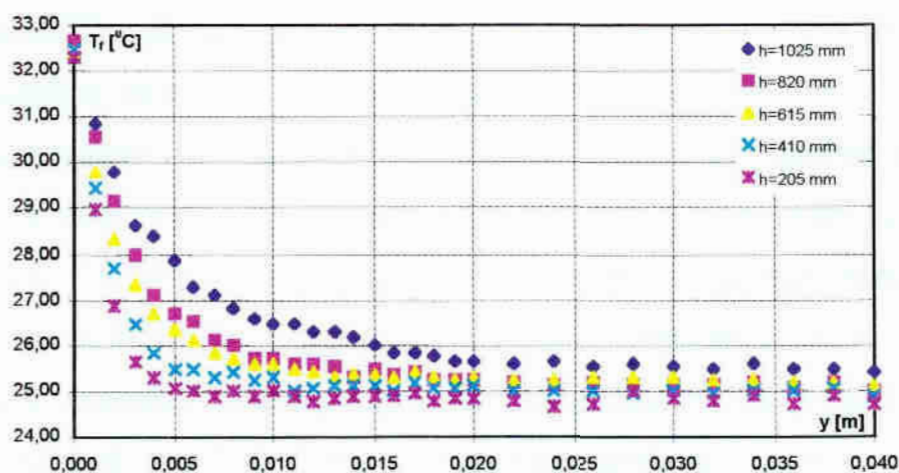
Rys. 4.10. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej na różnych wysokościach h ; szerokość szczeliny $L = 120$ mm; $T_w = 32,5$ °C



Rys. 4.11. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej na różnych wysokościach h ; szerokość szczeliny $L = 10$ mm; $T_w = 32$ °C (skala osi $x = 0 \div 40$ mm)



Rys. 4.12. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej na różnych wysokościach h ; szerokość szczeliny $L = 40$ mm; $T_w = 32$ °C (skala osi $x = 0 \div 40$ mm)

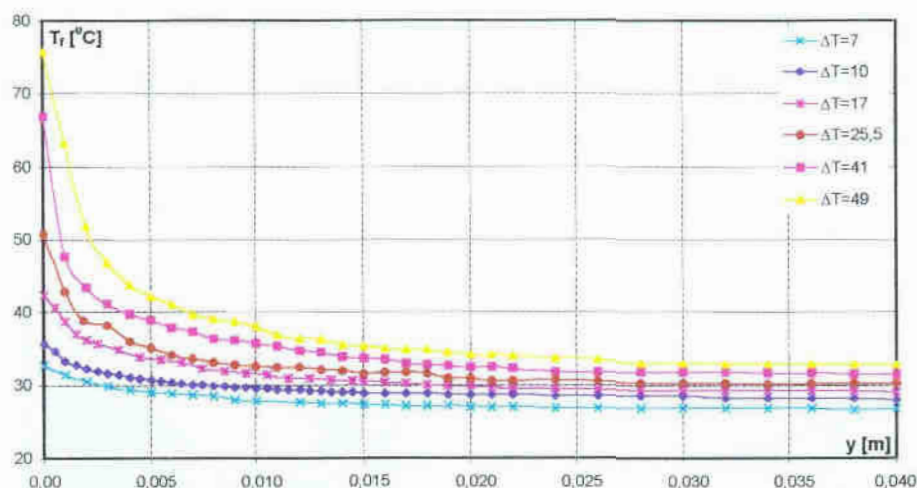


Rys. 4.13. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej na różnych wysokościach h ; szerokość szczeliny $L = 120$ mm; $T_w = 32$ °C (skala osi $x = 0 \div 40$ mm)

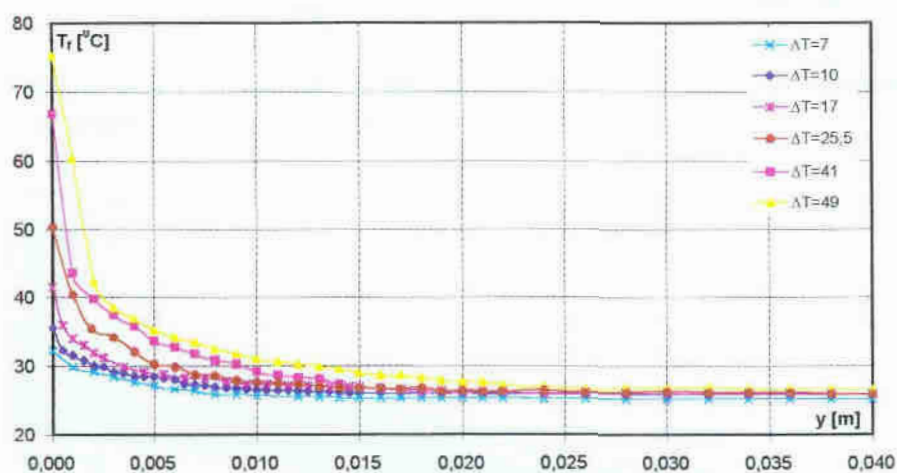
Na podstawie rysunków 4.11 ÷ 4.13 widzimy charakter zmian temperatury wzdłuż szerokości szczeliny. Jak widać, wartość zmian temperatury wyraźnie zależy od szerokości szczeliny. Dla szczelin wąskich tendencje spadkowe są niewielkie. Wynika to z faktu, iż nagrzane powietrze unosząc się do góry z jednej strony ogrzewa się coraz bardziej od płyty, z drugiej rozszerza wypełniając całą szczelinę. Sprawia to, że najwyższe temperatury uzyskuje się zawsze dla pomiarów na wysokości 1025 mm od dolnej krawędzi wymiennika, zaś najniższe na wysokości 205 mm od dolnej krawędzi wymiennika. Dla szczelin szerokich zachowana jest prawidłowość, że najwyższe temperatury uzyskuje się dla pomiarów na najwyższym poziomie, ale wraz z oddalaniem się od czoła wymiennika wartości temperatur dążą do osiągnięcia temperatury jednakowej i równej temperaturze otoczenia.

Z porównania rysunków 4.11 ÷ 4.13 wynika, że dla wybranej pozycji czujnika rozbieżności temperatur uzyskane z pomiarów na różnych wysokościach zależne są od szerokości szczelin.

Wpływ temperatury ścianki wymiennika na rozkład temperatury powietrza w szczelinie dla wybranej szerokości równej $L = 40$ mm na wysokości $h = 1025$ mm od dolnej krawędzi wymiennika oraz $h = 205$ mm od dolnej krawędzi wymiennika przedstawiają odpowiednio rysunki rys. 4.14 oraz rys. 4.15. Na podstawie tych wykresów można zaobserwować, charakter zmian temperatury wzdłuż szczeliny dla różnych wartości różnicy temperatur $\Delta T = T_w - T_{ot}$. Zaobserwowano również, że przy tej szerokości szczeliny wynoszącej $L = 40$ mm temperatury uzyskane na wysokości $h = 1025$ mm spadają dążąc do temperatury otoczenia. Osiągnięcie temperatury otoczenia przez powietrze w szczelinie $L = 40$ mm jest niemożliwe. Nawet przy najniższej temperaturze ścianki $T_w = 32,5$ °C ($\Delta T = 7$) najniższa osiągnięta temperatura jest większa niż temperatura otoczenia. Inaczej dzieje się dla pomiarów na wysokości $h = 205$ mm. W tym przypadku, mimo znacznych temperatur ścianki powietrze w szczelinie osiąga temperaturę równą temperaturze otoczenia.



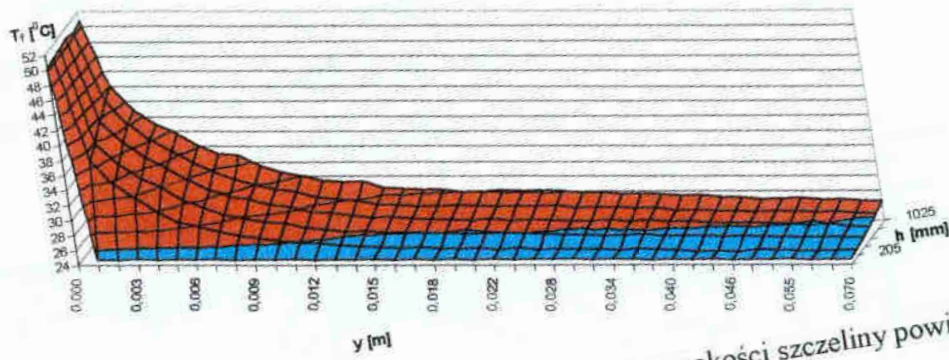
Rys. 4.14. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej o szerokości $L = 40$ mm na wysokości $h = 1025$ mm od dolnej krawędzi wymiennika przy różnych temperaturach jego ścianki



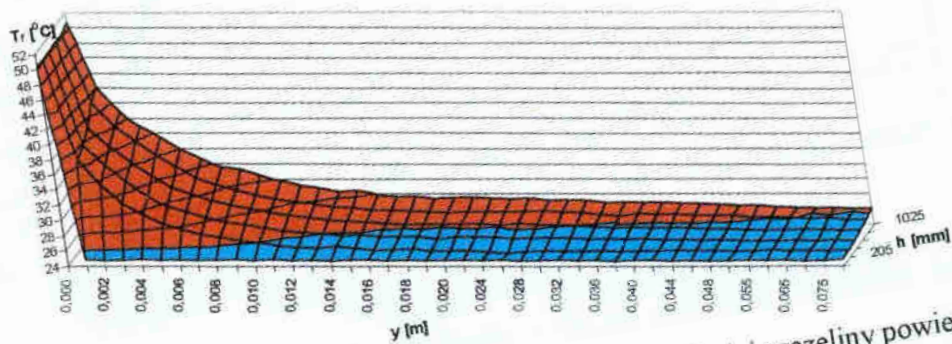
Rys. 4.15. Rozkład temperatur w szczelinie powietrznej o szerokości $L = 40$ mm na wysokości $h = 205$ mm od dolnej krawędzi wymiennika przy różnych temperaturach jego ścianki

Na rysunkach 4.16 ÷ 4.18 przedstawiono wpływ szerokości szczeliny na, wywołaną różnym przepływem powietrza, grubość termicznej warstwy przyściennej. Pomiaru te wykonano przy stałej temperaturze ścianki wynoszącej $T_w = 50,5$ °C. Grubość termicznej warstwy przyściennej przyjęto zgodnie z rysunkiem 3.1b. Jak widać na rysunku 4.16 grubość warstwy przyściennej uzyskana w górnych partiach wymiennika przy szerokości szczeliny $L = 70$ mm osiągnęła całą jej szerokość. Przy szerokości szczeliny $L = 80$ mm (rys. 4.17) prawdopodobnie zostanie to osiągnięte na pełnej wysokości wymiennika $H = 1,18$ m. Uzyskana z pomiarów grubość warstwy przyściennej przy szerokości szczeliny wynoszącej $L = 100$ mm, jest mniejsza niż we

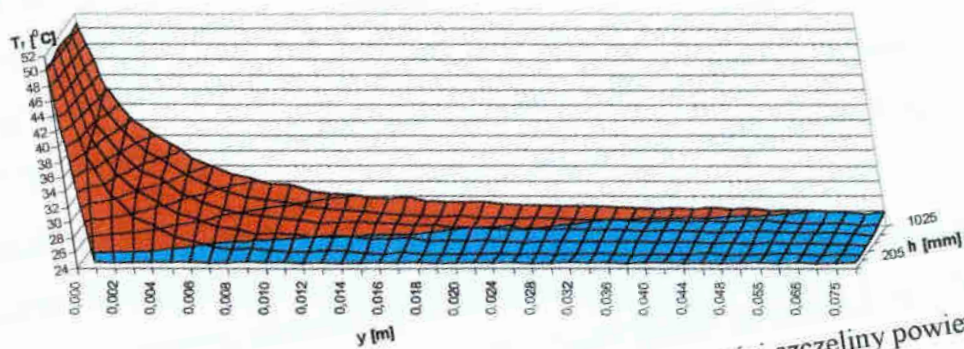
wcześniejszych przypadkach. Może to wynikać z oddziaływania powietrza o temperaturze otoczenia, które w tym przypadku ma możliwość, na skutek swojego chaotycznego ruchu, dostawać się również od góry przerywając efekt „ciągu kominowego”.



Rys. 4.16. Grubość termicznej warstwy przyściennej przy szerokości szczeliny powietrznej wynoszącej $L = 70$ mm, $T_w = 50,5$ °C

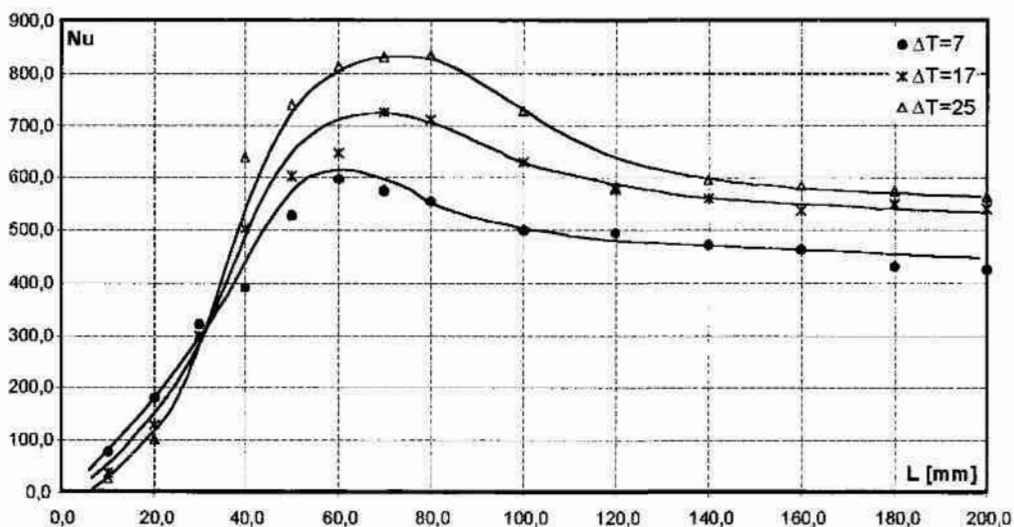


Rys. 4.17. Grubość termicznej warstwy przyściennej przy szerokości szczeliny powietrznej wynoszącej $L = 80$ mm, $T_w = 50,5$ °C



Rys. 4.18. Grubość termicznej warstwy przyściennej przy szerokości szczeliny powietrznej wynoszącej $L = 100$ mm (widoczne pierwsze 80mm), $T_w = 50,5$ °C

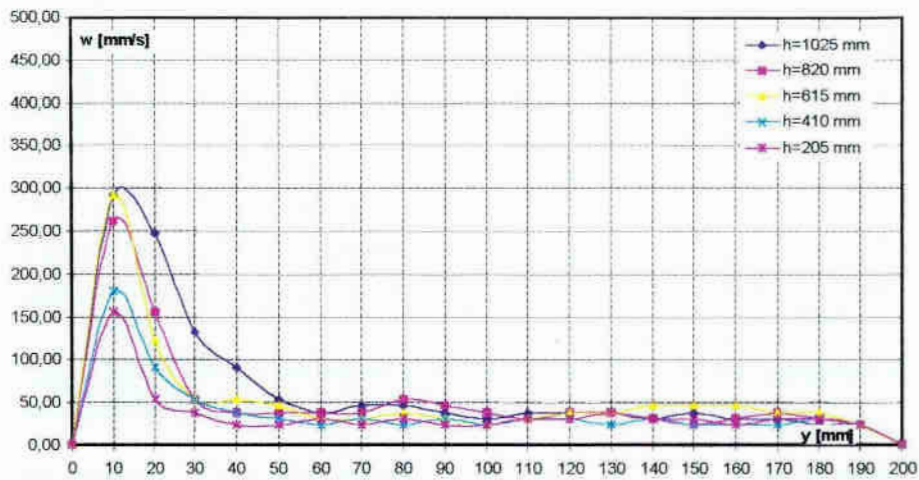
Znajomość lokalnej temperatury powietrza w szczelinie tuż przy ścianie wymiennika pozwala na określenie lokalnego współczynnika przejmowania ciepła α metodą pośrednią (Załącznik Z.3). Korzystając z metody opisanej w wyżej wymienionym załączniku można obliczyć wartość średniego współczynnika przejmowania ciepła przy ustalonej szerokości szczeliny, a następnie określić wartość średniej liczby Nusselta. Wpływ szerokości szczeliny na wartości średnich liczb Nusselta przy kilku różnych wartościach $\Delta T = T_w - T_\infty$ przedstawiono na rysunku 4. 19.



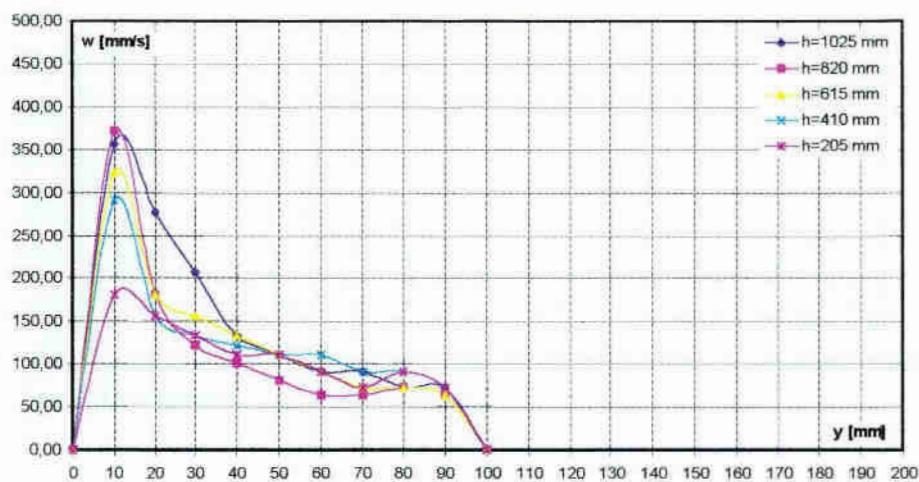
Rys. 4.19. Wpływ szerokości szczeliny na wartość średniej liczby Nusselta dla różnych wartości $\Delta T = T_w - T_\infty$

Na uwagę zasługują wyniki uzyskane podczas pomiaru prędkości lokalnych powietrza w szczelinie o różnej jej szerokości. Pomiarów prędkości dokonano tak samo jak i pomiarów temperatury na pięciu różnych wysokościach h od dolnej krawędzi. Przykładowe rozkłady prędkości lokalnych wzdłuż szerokości szczeliny $L = 200$ mm oraz $L = 100$ mm na wybranych wysokościach przy $\Delta T = 7$ K przedstawiają odpowiednio rysunki 4.20 i 4.21. Na rysunkach tych obserwuje się zmiany prędkości lokalnych zarówno w zależności od wysokości od dolnej krawędzi wymiennika h , co może być tłumaczone wynikającą z temperatury zmianą gęstości i przepływem czynnika z większą prędkością jak i w zależności od szerokości szczeliny. Największe prędkości uzyskuje się

wówczas, gdy grubość termicznej warstwy przysciennej na wylocie z kanału jest równa szerokości szczeliny.

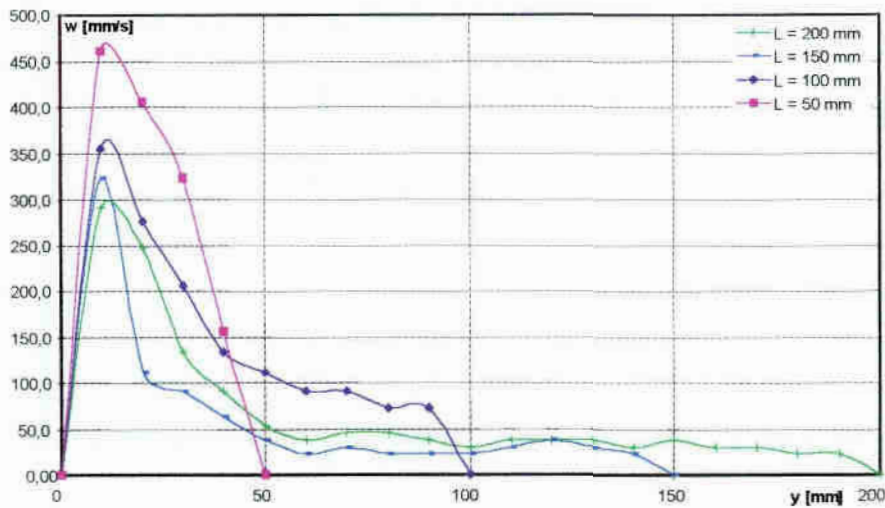


Rys. 4.20. Wartości lokalnych prędkości powietrza na różnych wysokościach od dolnej krawędzi wymiennika; szerokość szczeliny powietrznej $L = 200$ mm, $\Delta T = 7$

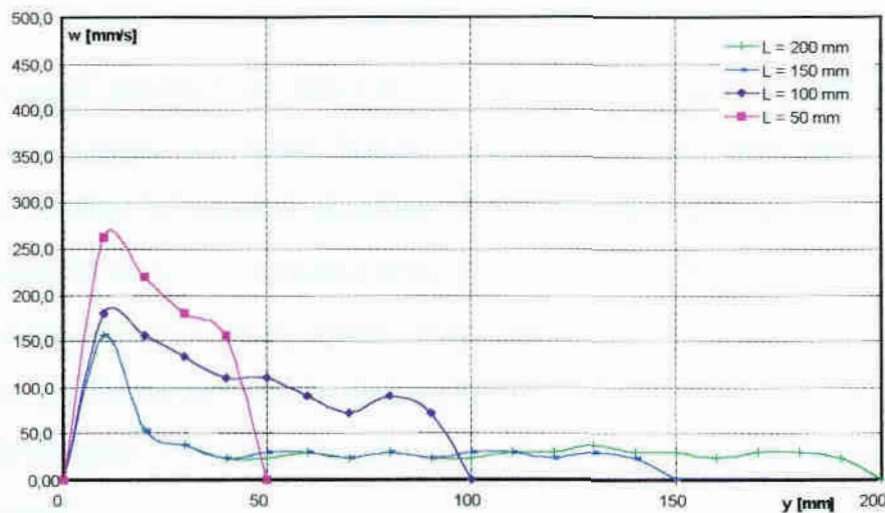


Rys. 4.21. Wartości lokalnych prędkości powietrza na różnych wysokościach od dolnej krawędzi wymiennika; szerokość szczeliny powietrznej $L = 100$ mm, $\Delta T = 7$

Wpływ wielkości szczeliny na wartości prędkości lokalnych wzdłuż jej szerokości uzyskanych z pomiarów na wysokości $h = 1025$ mm przedstawiono na rysunku 4. 22, zaś dla wysokości $h = 205$ mm przedstawiono na rysunku 4. 23.

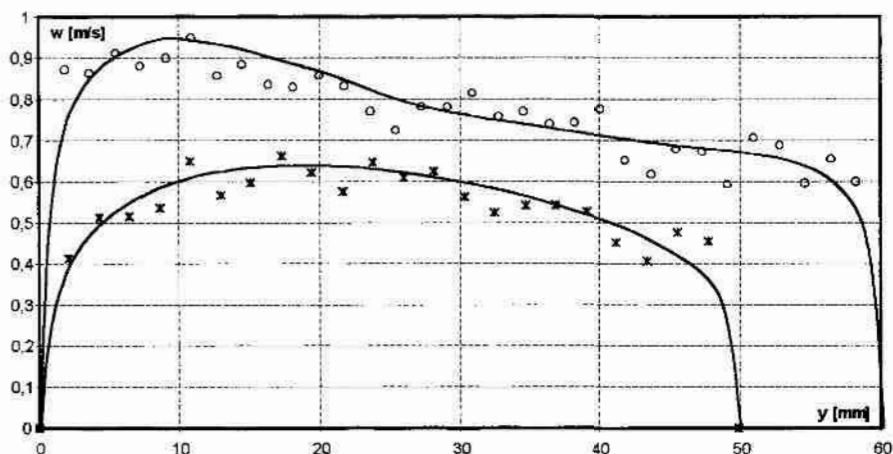


Rys. 4.22. Wpływ szerokości szczeliny na wartości lokalnych prędkości; odległość od dolnej krawędzi wymiennika $h = 1025$ mm; $\Delta T = 7$



Rys. 4.23. Wpływ szerokości szczeliny na wartości lokalnych prędkości; odległość od dolnej krawędzi wymiennika $h = 205$ mm; $\Delta T = 7$

Inny charakter profili prędkości lokalnych możemy zaobserwować, gdy różnica temperatur pomiędzy powierzchnią wymiennika a temperaturą otaczającego płynu jest większa. Przykładem jest poniższy rysunek (rys. 4. 24) obrazujący (dla dwóch wybranych szerokości szczeliny) wartości prędkości lokalnych zmierzony wzdłuż szerokości szczeliny na wysokości $h = 1025$ mm przy $\Delta T = 17$ deg. Widzimy, że zmierzone wartości fluktuują w pobliżu wartości maksymalnej prawie na całej szerokości. Świadczy to o turbulentnym przepływie czynnika w kanale ($Re \approx 3500$ dla $L = 50$ mm i $Re \approx 5200$ dla $L = 60$ mm). Wyraźny jest również wpływ szerokości szczeliny.



Rys. 4.24. Wartości lokalnych prędkości wzdłuż szerokości szczeliny ($L = 50$ oraz $L = 60$ mm); dla $h = 1025$ mm od dolnej krawędzi wymiennika; $\Delta T = 17$

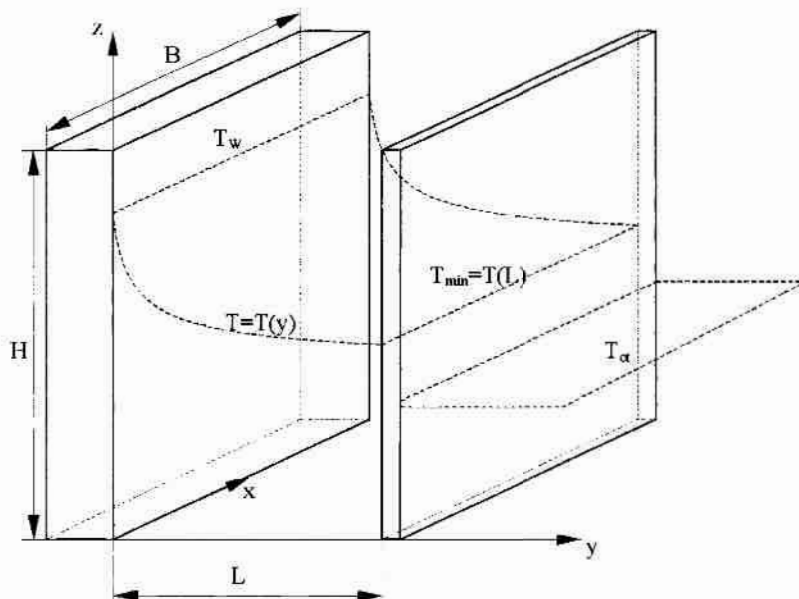
Znajomość parametrów powietrza w kanale zarówno na jego wlocie jak i wylocie pozwala na sprawdzenie zmian masowego natężenia przepływu powietrza wzdłuż wysokości szczeliny. W efekcie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, iż masowe natężenie przepływu powietrza na wylocie ze szczeliny jest większe nawet o 80% (przy optymalnej jej szerokości) od natężenia przepływu powietrza na wejściu do kanału. Świadczy to o „zasysaniu” powietrza niezabudowanymi bokami kanału na skutek powstania efektu „ciągu kominowego”.

5. TEORETYCZNY MODEL ZJAWISKA INTENSYFIKACJI KONWEKCYJNEJ WYMIANY CIEPŁA

Model układu „płaski wymiennik płytowy – ekran” można traktować dwojako. Po pierwsze, ekran nie wpływa na tworzącą się termiczną i hydrauliczną warstwę przyścienną; w tym przypadku ilość wymienionego ciepła oblicza się korzystając ze wzorów obowiązujących dla konwekcji swobodnej od płaskiej płyty w przestrzeni nieograniczonej.

W drugim przypadku- sąsiadujący ekran jest na tyle blisko płyty grzewczej, że odległość jest mniejsza od grubości warstwy przyściennej; wówczas zagadnienie rozpatruje się jako przepływ czynnika w kanale z obowiązującymi dla tego przypadku zależnościami.

Rozpatrzono ten właśnie przypadek według schematu, który przedstawiono na rysunku 5.1.



Rys. 5.1. Schemat modelu do określenia wymiany ciepła od płaskiej płyty do powietrza znajdującego się w kanale według wariantu drugiego

Założono, że profil temperatury powietrza w przekroju poprzecznym kanału opisuje równanie kwadratowe [26] o postaci

$$T = a + by + cy^2. \quad (5.1)$$

Współczynniki a , b , c wyznacza się na podstawie przyjętych warunków:

- temperatura na izotermicznej powierzchni ścianki płyty dla $y = 0$ wynosi T_w ,

$$y = 0 \quad \Rightarrow \quad T = T_w$$

- ekran jest adiabatyczny

$$y = L \quad \Rightarrow \quad dT/dy = 0$$

- najniższa temperatura w przestrzeni ograniczonej ekranem i płytą panuje na ściance ekranu a jej wartość zależy od szerokości szczeliny (zależy również od wysokości- z) i dla:

$$y = L \quad \Rightarrow \quad T = T_{min}$$

Po uwzględnieniu tych warunków otrzymuje się wielkości współczynników w równaniu (5.1) w postaci:

$$\begin{aligned} a &= T_w, \\ b &= -2 \frac{T_w - T_{min}}{L}, \\ c &= \frac{T_w - T_{min}}{L^2}, \end{aligned}$$

gdzie T_w jest temperaturą powierzchni izotermicznej ścianki.

Profil temperatury powietrza w kanale może być przybliżony równaniem o postaci:

$$T = T_w + 2 \frac{T_{min} - T_w}{L} \cdot y - \frac{T_{min} - T_w}{L^2} \cdot y^2. \quad (5.2)$$

Średnia temperatura czynnika na wybranej wysokości wyraża się zależnością:

$$\bar{T} = \frac{1}{L} \int_0^L T dy = \frac{1}{L} \int_0^L \left(T_w + 2 \frac{T_{min} - T_w}{L} y - \frac{T_{min} - T_w}{L^2} y^2 \right) dy = \frac{2T_{min} + T_w}{3}, \quad (5.3)$$

zaś średnia temperatura czynnika w całym kanale:

$$\bar{T}_{kan} = \frac{1}{H} \int_0^H \bar{T} dz = \frac{1}{H} \int_0^H \frac{2T_{min} + T_w}{3} dz \quad (5.4)$$

Ciepło oddawane przez ściankę wymiennika:

$$dQ = q \cdot dA = q \cdot B \cdot dz \quad (5.5)$$

przejmowane jest przez przepływające powietrze:

$$dQ = \dot{m} \cdot c_p \cdot d\bar{T} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot d\bar{T} = \rho \cdot w_{sr} \cdot B \cdot L \cdot c_p \cdot d\bar{T} . \quad (5.6)$$

gdzie:

- q – gęstość strumienia ciepła [W/m^2],
- A – powierzchnia wymiany ciepła [m^2],
- B – szerokość wymiennika [m],
- L – szerokość szczeliny [m],
- \dot{m} – masowe natężenie przepływu powietrza [kg/s],
- \dot{V} – objętościowe natężenie przepływu powietrza [m^3/s],
- ρ – gęstość powietrza,
- w_{sr} - średnia prędkość przepływu powietrza w szczelinie [m/s],
- c_p - ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu [J/kgK]

Po przyrównaniu wzorów (5.5) i (5.6) otrzymano:

$$q \cdot dz = \rho \cdot w_{sr} \cdot L \cdot c_p \cdot d\bar{T} . \quad (5.7)$$

Gęstość strumienia ciepła na ścianie q można wyznaczyć korzystając z prawa Fouriera:

$$q = -\lambda \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0} = -\lambda \left. \frac{d \left(T_w + 2 \frac{T_{\min} - T_w}{L} y - \frac{T_{\min} - T_w}{L^2} y^2 \right)}{dy} \right|_{y=0} , \quad (5.8)$$

z którego wynika, że

$$q = -2\lambda \frac{T_{\min} - T_w}{L} . \quad (5.9)$$

Strumień ciepły q bazuje na założonym teoretycznym profilu temperatury. Traktując przestrzeń wewnętrzną jako kanał należałoby ująć istotne zjawiska jak na przykład zjawisko rozbiegu termicznego. W tym celu do równania (5.9) wprowadzono współczynnik poprawkowy Ψ , którego wartość zostanie oszacowana na podstawie wyników badań.

Uwzględniając współczynnik poprawkowy gęstość strumienia ciepła opisano zależnością:

$$q = \frac{-2\lambda}{L\Psi} (T_{\min} - T_w). \quad (5.10)$$

Podstawiając równania (5.4) oraz (5.10) do równania (5.7) uzyskano:

$$\frac{2\lambda}{L\Psi} (T_{\min} - T_w) dz = \rho \cdot w_{sr} \cdot L \cdot c_p \cdot d \frac{2T_{\min} + T_w}{3} \quad (5.11)$$

przyjmując $T_w \approx \text{const}$

$$-\frac{2\lambda}{L\Psi} (T_{\min} - T_w) dz = \frac{2}{3} \rho \cdot w_{sr} \cdot L \cdot c_p \cdot dT_{\min} = \frac{2}{3} \rho \cdot w_{sr} \cdot L \cdot c_p \cdot d(T_w - T_{\min}) \quad (5.12)$$

Po wykonaniu następujących przekształceń:

$$-\frac{3\lambda}{\Psi \cdot \rho \cdot w_{sr} \cdot L^2 \cdot c_p} (T_w - T_{\min}) dz = d(T_w - T_{\min}) \quad (5.13)$$

$$\frac{3\lambda}{\Psi \cdot \rho \cdot w_{sr} \cdot L^2 \cdot c_p} \cdot H \cdot d\left(\frac{z}{H}\right) = -\frac{d(T_w - T_{\min})}{(T_w - T_{\min})} \quad (5.14)$$

otrzymano

$$c_1 d\left(\frac{z}{H}\right) = -\frac{d(T_w - T_{\min})}{(T_w - T_{\min})}, \quad (5.15)$$

gdzie:

$$c_1 = \frac{3\lambda \cdot H}{\Psi \cdot \rho \cdot w_{sr} \cdot L^2 \cdot c_p} \quad (5.16)$$

Z rozwiązania równania (5.15) wynika

$$c_1 \frac{z}{H} = -\ln(T_w - T_{\min}) + \text{const}. \quad (5.17)$$

Stałą c_1 można wyznaczyć przyjmując, że dla $z = 0$:

$$T_w - T_{\min} = T_w - T_{ot}. \quad (5.18)$$

Równanie (5.17) uzyskuje postać:

$$c_1 \frac{z}{H} = -\ln(T_w - T_{min}) + \ln(T_w - T_{ot}) = \ln \frac{(T_w - T_{ot})}{(T_w - T_{min})}. \quad (5.19)$$

Wyznaczając różnicę $(T_w - T_{min})$ z równania (5.19) uzyskano:

$$T_w - T_{min} = (T_w - T_{ot}) e^{-c_1 \frac{z}{H}} = \Delta T \cdot e^{-c_1 \frac{z}{H}} \quad (5.20)$$

Ilość ciepła przejmowanego przez powietrze od całej powierzchni płyty wymiennika obliczymy z zależności:

$$Q = \int_0^H q \cdot B dz = B \int_0^H q dz \quad (5.21)$$

Podstawiając w równaniu (5.21) zamiast q zależność (5.10), w której różnicę $(T_w - T_{min})$ zastąpiono wyrażeniem (5.20), wzór ten przyjmie postać:

$$Q = B \int_0^H \frac{2\lambda}{\Psi \cdot L} \Delta T \cdot e^{-c_1 \frac{z}{H}} dz = \frac{2\lambda B \Delta T}{\Psi \cdot L} \int_0^H e^{-c_1 \frac{z}{H}} dz. \quad (5.22)$$

Rozwiązaniem jest wyrażenie:

$$Q = \frac{2H \cdot B \cdot \lambda \cdot \Delta T}{\Psi \cdot L \cdot c_1} (1 - e^{-c_1}) \quad (5.23)$$

Wielkość średniego współczynnika przejmowania ciepła $\bar{\alpha}$ od płyty do powietrza można zapisać w postaci zależności:

$$\bar{\alpha} = \frac{Q}{B \cdot H \cdot \Delta T} = \frac{2\lambda}{\Psi \cdot L \cdot c_1} (1 - e^{-c_1}), \quad (5.24)$$

zaś wielkość średnia liczba kryterialnej Nusselta wynosi:

$$(Nu)_H = \frac{\alpha \cdot H}{\lambda} = \frac{2H}{\Psi \cdot L \cdot c_1} (1 - e^{-c_1}). \quad (5.25)$$

Do wyznaczenia współczynnika c_1 zdefiniowanego zależnością (5.16) potrzebna jest znajomość prędkości średniej powietrza w_{sp} . Jest ona wynikiem konwekcyjnych ruchów powietrza wynikających z różnicy gęstości czynnika

w szczelinie i poza nią. Przyjęto w uproszczeniu, że podczas ruchu powietrza siły wyporu są równoważone przez siły tarcia.

Gradient ciśnienia wynikający z różnicy gęstości powietrza może być wyrażony wzorem:

$$-\frac{dp}{dz} = g \cdot \rho \cdot \beta \cdot (\bar{T}_{kan} - T_{ot}). \quad (5.26)$$

Wielkość średniej temperatury powietrza w kanale można określić korzystając ze wzoru (5.4). Podstawiając w miejsce temperatury minimalnej, do zależności (5.4), wartość otrzymaną z przekształcenia wzoru (5.20) otrzymuje się:

$$\bar{T}_{kan} = \frac{1}{H} \int_0^H \bar{T} dz = \frac{1}{H} \int_0^H \frac{3T_w - 2\Delta T \cdot e^{-\frac{\alpha}{H}z}}{3} dz, \quad (5.27)$$

a stąd:

$$\bar{T}_{kan} = T_w - \frac{2}{3} \Delta T \left(\frac{1 - e^{-\alpha}}{c_1} \right). \quad (5.28)$$

Ponieważ współczynnik c_1 przyjmuje bardzo małe wartości, całość w nawiasie w powyższym równaniu dąży do 1 gdy $c_1 \rightarrow 0$. Wówczas równanie (5.26) można zapisać w przybliżeniu jako:

$$-\frac{dp}{dz} = g \cdot \rho \cdot \beta \cdot \left(\frac{T_w - T_{ot}}{3} \right) \cong \frac{\Delta p}{H} \quad (5.29)$$

Spadek ciśnienia spowodowany tarcie czynnika w kanale według formuły Darcy- Weisbacha:

$$\Delta p = \xi \frac{H}{4R_H} \frac{\rho \cdot w_{sr}^2}{2}, \quad (5.30)$$

należy uzupełnić współczynnikiem poprawkowym φ uwzględniającym dodatkowe opory w kanale (np.: opory wejścia czynnika do kanału, rozbieg hydrauliczny powietrza w kanale itp.). Zatem równanie (5.30) przyjmie postać:

$$\Delta p = \varphi \cdot \xi \frac{H}{4R_H} \frac{\rho \cdot w_{sr}^2}{2}. \quad (5.31)$$

Współczynnik strat liniowych ξ według wzoru Blasiusa dla ruchu turbulentnego wynosi:

$$\xi = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25}, \quad (5.32)$$

więc równanie (5.31) przyjmie postać:

$$\Delta p = \varphi \cdot 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25} \cdot \frac{H}{4R_H} \frac{\rho \cdot w_{sr}^2}{2}. \quad (5.33)$$

Promień hydrauliczny R_H zdefiniowano jako:

$$R_H = \frac{F}{O} = \frac{L \cdot B}{2B} = \frac{L}{2}, \quad (5.34)$$

gdzie: F - pole przekroju kanału, O - obwód zwilżenia.

Równanie (5.33) po podstawieniu zależności (5.34) przyjmuje postać:

$$\Delta p = \varphi \cdot 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25} \cdot H \frac{\rho \cdot w_{sr}^2}{4L}. \quad (5.35)$$

Wyliczony spadek ciśnienia po podstawieniu do równania (5.29) daje:

$$g \cdot \beta \cdot \Delta T = \varphi \cdot 0,2373 \cdot \text{Re}^{-0,25} \frac{w_{sr}^2}{L}. \quad (5.36)$$

Wprowadzono liczbę Reynoldsa w postaci:

$$\text{Re} = \frac{w_{sr} \cdot 4R_H}{\nu} = \frac{2 \cdot L \cdot w_{sr}}{\nu}. \quad (5.37)$$

Wykorzystując tę postać liczby Reynoldsa, równanie (5.36) można przedstawić jako:

$$g \cdot \beta \cdot \Delta T = \varphi \cdot 0,2373 \cdot \text{Re}^{1,75} \cdot \frac{\nu^2}{L^3}. \quad (5.38)$$

Wprowadzając liczbę Grashofa (3.2) uzyskano:

$$\text{Gr} \frac{L^3}{H^3} = \varphi \cdot 0,06 \cdot \text{Re}^{1,75} \quad (5.39)$$

gdzie:

$$\text{Gr} = \frac{g\beta H^3 \Delta T}{\nu^2}.$$

Stąd prędkość średnia:

$$w_{sr} = 2,5 \frac{\nu}{L} \left(\frac{Gr}{\varphi} \cdot \frac{L^3}{H^3} \right)^{\frac{1}{1,75}} \quad (5.40)$$

Ostatecznie zależność na średni współczynnik przejmowania ciepła oraz średnią liczbę Nusselta przyjmą postać:

$$\bar{\alpha} = \frac{2\lambda}{\Psi \cdot L \cdot c_1} (1 - e^{-c_1}), \quad (5.41a)$$

$$(Nu)_H = \frac{\alpha \cdot H}{\lambda} = \frac{2H}{\Psi \cdot L \cdot c_1} (1 - e^{-c_1}); \quad (5.41b)$$

gdzie:

$$c_1 = \frac{3 \cdot \lambda \cdot H}{\Psi \cdot \rho \cdot w_{sr} \cdot L^2 \cdot c_p} = \frac{3 \cdot H \cdot a}{\Psi \cdot w_{sr} \cdot L^2}; \quad (5.41c)$$

a- dyfuzyjność termiczna (współczynnik wyrównania temperatury)

zaś średnia prędkość

$$w_{sr} = 2,5 \frac{\nu}{L} \left(\frac{Gr}{\varphi} \cdot \frac{L^3}{H^3} \right)^{\frac{1}{1,75}} \quad (5.41d)$$

Oszacowania przyjętych współczynników φ , Ψ dokonano na podstawie własnych badań eksperymentalnych.

5.1. Wyznaczenie współczynników modelu teoretycznego

Współczynnik poprawkowy φ we wzorze (5.41d) wprowadzono na wstępie do zależności (5.31) uwzględniając dodatkowe opory mające miejsce podczas przebiegu zjawiska a pominięte w opisie teoretycznym. Należy tu wymienić przede wszystkim opory wejścia czynnika do kanału, rozbieg hydrauliczny powietrza w kanale itp. Wartość tego współczynnika wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów wykorzystując własne dane eksperymentalne przedstawione w rozdziale 4.5.2.

Wychodząc z równania (5.41d) można obliczyć wartość teoretyczną prędkości średniej w postaci

$$w_{sr} = \left(\frac{1}{\varphi} \right)^{\frac{1}{1,75}} w^* \quad (5.42)$$

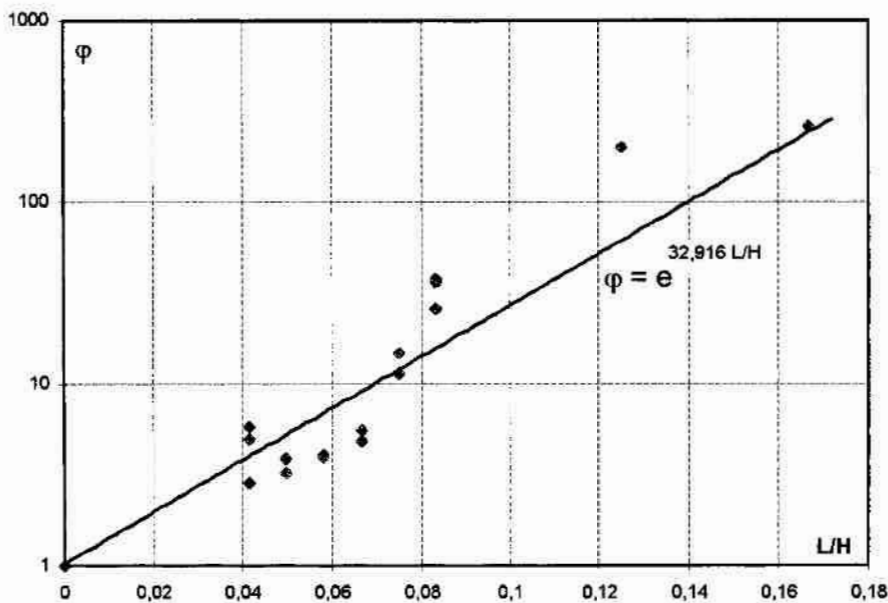
gdzie

$$w^* = 2,5 \frac{\nu}{L} \left(Gr \cdot \frac{L^3}{H^3} \right)^{\frac{1}{1,75}}. \quad (5.43)$$

Wartość w^* można wyznaczyć teoretycznie dla różnych wartości liczb Grashofa i dla dowolnej szerokości szczeliny L . Przekształcając równanie (5.42) oraz wstawiając do równania wartości średnich prędkości uzyskanych z pomiarów eksperymentalnych wyznacza się wartość współczynnika proporcjonalności φ według zależności:

$$\varphi = \left(\frac{w_{exp}}{w^*} \right)^{-1,75} \quad (5.44)$$

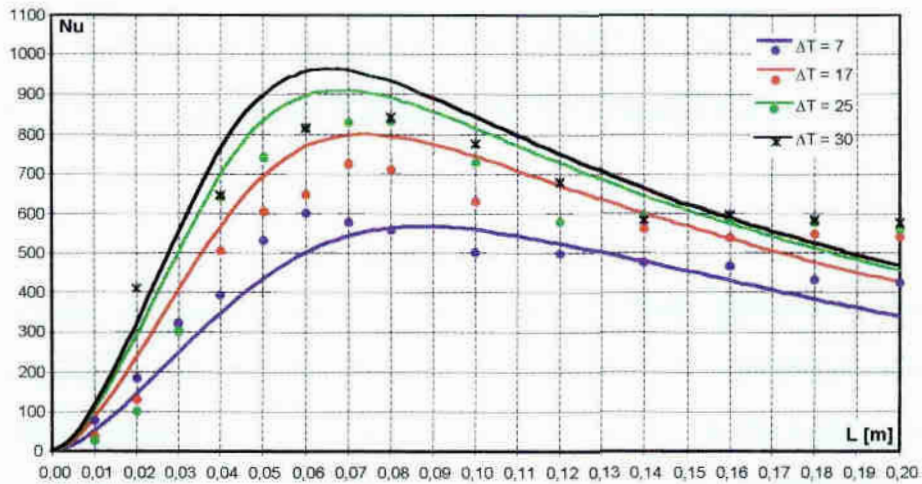
Interpretację graficzną współczynnika poprawkowego φ w funkcji bezwymiarowych wartości L/H wraz z uzyskaną korelacją przedstawia rysunek 5.2.



Rys. 5.2. Wykres do określania wartości współczynnika poprawkowego φ w równaniu (5.40) w zależności od L/H

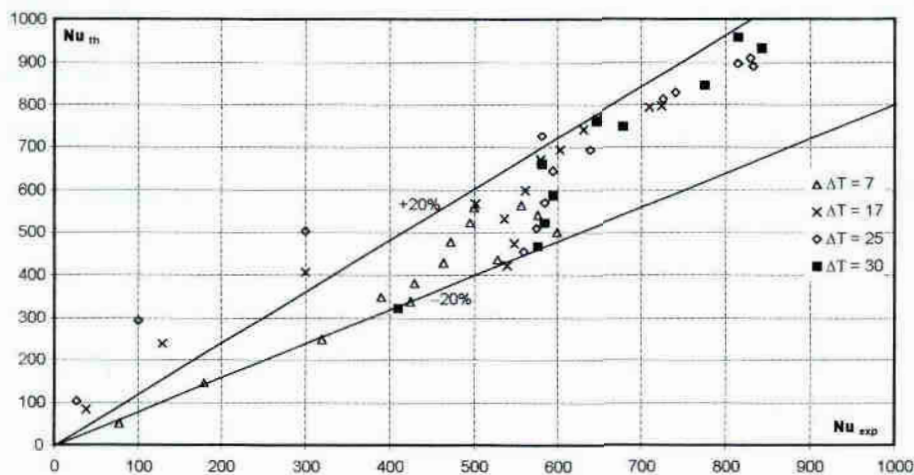
Po ustaleniu zależności współczynnika poprawkowego φ można wyznaczyć wartość kolejnego współczynnika ψ występującego w równaniach na wartość średniego współczynnika przejmowania ciepła α (5.24) oraz średnią liczbę Nusselta (5.25). Współczynnik ten uwzględnia fakt, że profil pola temperatur odbiega od teoretycznego ze względu na istniejący rozbieg termiczny, inne zachowanie powietrza na odcinku wejściowym i wyjściowym z kanału itp. Wartość współczynnika ψ została wyliczona dla każdego przypadku pomiarowego metodą najmniejszych kwadratów. Ponieważ wartości współczynnika, dla przebadanych różnic temperatur $\Delta T = T_w - T_{\infty}$, były nieznacznie odmienne, przyjęto wartość średnią ψ równą 0,019.

Wpływ szerokości szczeliny powietrznej na wartość średniej liczby Nusselta przy różnych wartościach ΔT , po uwzględnieniu powyższych współczynników modelu teoretycznego, w zestawieniu z wynikami badań eksperymentalnych przedstawiono na rysunku 5.3. Na rysunku tym linia ciągła obrazuje wyniki obliczeń według proponowanego modelu, zaś punkty stanowią wyniki badań eksperymentalnych.



Rys. 5.3. Wpływ szerokości szczeliny na wartość średniej liczby Nusselta- wyniki badań i obliczeń teoretycznych.

Rysunek 5.4. przedstawia porównanie wartości eksperymentalnych oraz uzyskanych w wyniku obliczeń na podstawie zaproponowanego modelu obliczeniowego.



Rys. 5.4. Porównanie wyników badań z zaproponowaną korelacją

Zaproponowany model teoretyczny dostatecznie dla praktyki inżynierskiej przybliży wyniki badań. Zauważa się jednak pojedyncze wyniki, których błąd znacznie przekracza 20%. Są to wyniki uzyskane przy najmniejszych szerokościach szczeliny.

6. UOGÓLNIONA KORELACJA EKSPERYMENTALNA WYMIANY CIEPŁA W SZCZELINIE POWIETRZNEJ

Poszukując ogólnego uproszczonego rozwiązania posłużono się teorią Elenbaasa [27] którego analiza choć bardzo uproszczona dokładnie pokryła się z wynikami żmudnych obliczeń Bodoia i Osterle [27]. Teoria Elenbaasa opiera się na założeniach zbieżnych z założeniami na podstawie których wyprowadzono, w poprzednim rozdziale, proponowany model teoretyczny. W efekcie autor ten poszukuje ogólnego rozwiązania w postaci:

$$Nu = const \cdot Ra \left(1 - e^{-c_1 Ra^{-c_2}} \right)^{c_3} \quad (6.1)$$

Uzyskane w wyniku analizy teoretycznej równania (5.41 a, b, c, d) zostaną wykorzystane do otrzymania korelacji uogólnionej zaproponowanej przez Elenbaasa (6.1).

Równanie na średnią wartość liczby Nusselta (5.41b) do którego podstawiono równanie określające wartość współczynnika c_1 (5.41c) przyjmuje postać:

$$Nu = \frac{2}{3} \frac{w_{sr} \cdot L \cdot Pr}{\nu} \left(1 - e^{-\frac{3H\nu}{\Psi w_{sr} L^2 Pr}} \right) \quad (6.2)$$

Wstawiając w miejsce prędkości średniej równanie (5.41d) po przekształceniach uzyskujemy ostateczną postać wzoru na średnią wartość liczby Nusselta:

$$Nu = 1,7 \frac{Pr^{0,43}}{\varphi^{0,57}} \cdot \left(\frac{L}{H} \right)^{1,71} \cdot Ra^{0,57} \left[1 - e^{-\frac{6}{5} \frac{\varphi^{0,57}}{\Psi Pr^{0,43}} \left(\frac{H}{L} \right)^{2,71} Ra^{-0,57}} \right] \quad (6.3)$$

Zależność ta może zostać uproszczona po przyjęciu $\psi = 0,019$, jak to wykazano w rozdziale 5.1, oraz po przyjęciu liczby Prandtla $Pr = 0,701$, co

obowiązuje dla powietrza w granicach temperatur występujących podczas eksperymentu. Równanie (6.3) przyjmie więc postać:

$$Nu = \frac{1,5}{\varphi^{0,57}} \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^{1,71} \cdot Ra^{0,57} \left[1 - e^{-73,6\varphi^{0,57} \left(\frac{H}{L}\right)^{2,71} Ra^{-0,57}} \right]. \quad (6.4)$$

Porównując równania (6.1) i (6.4) można zapisać proponowaną uogólnioną korelację do obliczania średniej wartości liczby Nusselta podczas wymiany ciepła w szczelinie powietrznej od izotermicznej pionowej ścianki płaskiej w postaci:

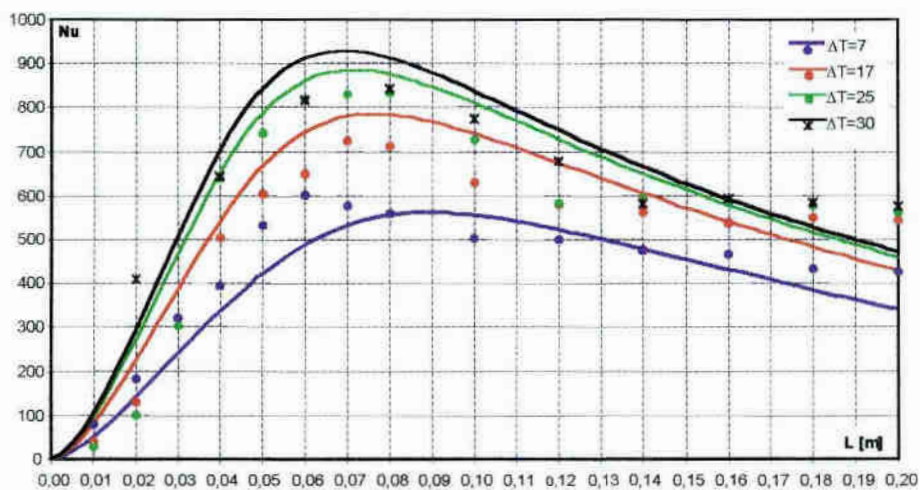
$$Nu = const \cdot Ra^{0,57} \left(1 - e^{-C_1 Ra^{-C_2}} \right)^{C_3} \quad (6.5)$$

gdzie: $const = 1,5\varphi^{0,57} \left(\frac{L}{H}\right)^{1,71};$

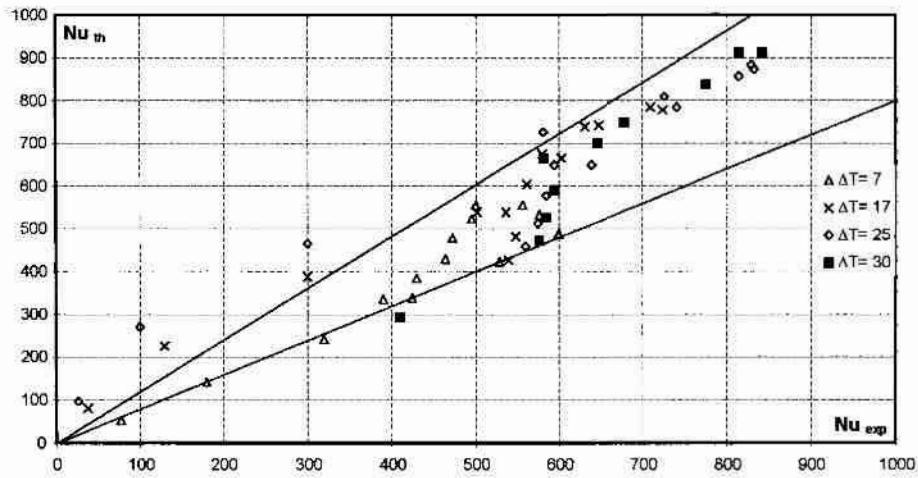
$$C_1 = 73,6\varphi^{0,57} \left(\frac{H}{L}\right)^{2,71};$$

$$C_2 = 0,57; \quad C_3 = 1.$$

Zestawienie wyników badań według zaproponowanej korelacji uogólnionej (6.5) i wyników badań przedstawiono na rysunku 6.1, zaś porównanie ich wartości na rysunku 6.2.



Rys. 6.1. Zestawienie wyników badań i wynikami obliczeń według proponowanej korelacji (6.5)



Rys. 6.2. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń według korelacji (6.5)

Na podstawie porównania przedstawionego na rysunku 6.2 można stwierdzić, że ponad 82% wyników mieści się w przedziale rozbieżności $\pm 20\%$. Można uznać więc, że proponowana korelacja jest poprawna i z dostateczną dokładnością oddaje charakter zjawiska.

7. WNIOSKI

1. Umieszczenie pionowego ekranu równoległe do pionowej powierzchni wymiennika o temperaturze wyższej od temperatury otoczenia ma wpływ na wartość wymienianego ciepła w warunkach konwekcji swobodnej, a przez to wszystkich związanych z tym procesem parametrów;
2. Potwierdzono w sposób eksperymentalny istnienie optymalnej szerokości szczeliny powietrznej, przy której wartość wymienianego ciepła pomiędzy zabudowanym wymiennikiem a otaczającym go powietrzem osiąga maksimum;
3. Stwierdzono eksperymentalnie, że dla optymalnej szerokości szczeliny prędkości średnie powietrza w kanale, zwłaszcza na wylocie z wymiennika uzyskują wartości maksymalne;
4. Wyznaczone metodą Wilsona oraz gradientową współczynniki przejmowania ciepła α (wartości liczby Nusselta) uzyskują wartości maksymalne przy optymalnych szerokościach szczeliny;
5. Grubość termicznej warstwy przyściennej na wylocie z wymiennika jest równa szerokości szczeliny powietrznej w warunkach maksymalnej wydajności cieplnej badanego wymiennika;
6. Zmiana temperatury powietrza jak i jego prędkości lokalne wzdłuż szerokości szczeliny zależą nie tylko od różnicy temperatur i wysokości od dolnej krawędzi wymiennika, ale również między innymi od szerokości szczeliny;
7. Zaproponowane, na podstawie własnej analizy, modele teoretyczne wyjaśniają jakościowo i ilościowo różnice w wartościach liczby Nusselta dla zjawisk intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła w pionowej szczelinie powietrznej w warunkach konwekcji swobodnej;
8. Przedstawione modele teoretyczne należy traktować jako propozycje rozwiązania tego problemu, a uzyskana w porównaniu z wynikami badań zgodność w ponad 82% może wskazywać na możliwości kontynuacji prac celem dalszego ich ulepszania.

ZAŁĄCZNIKI

Z.1. Określenie strat ciepłych do otoczenia

Straty ciepłne do otoczenia, przez tylną zaizolowaną ścianę wymiennika, szacowano kilkoma sposobami.

Metoda eksperymentalna. Po uprzednim zaizolowaniu całego wymiennika tak, jak jego ścianę tylną (rozd. 4.2), przepuszczając przez wymiennik wodę, dokonywano pomiaru spadku temperatury czynnika. Pomiaru wykonano, po uzyskaniu stanu równowagi cieplnej, dla kilku różnych temperatur początkowych wody. Zakładano, że całkowity spadek temperatury czynnika spowodowany jest wyłącznie przenikaniem ciepła przez zaizolowane powierzchnie wymiennika. Opisuje to zależność:

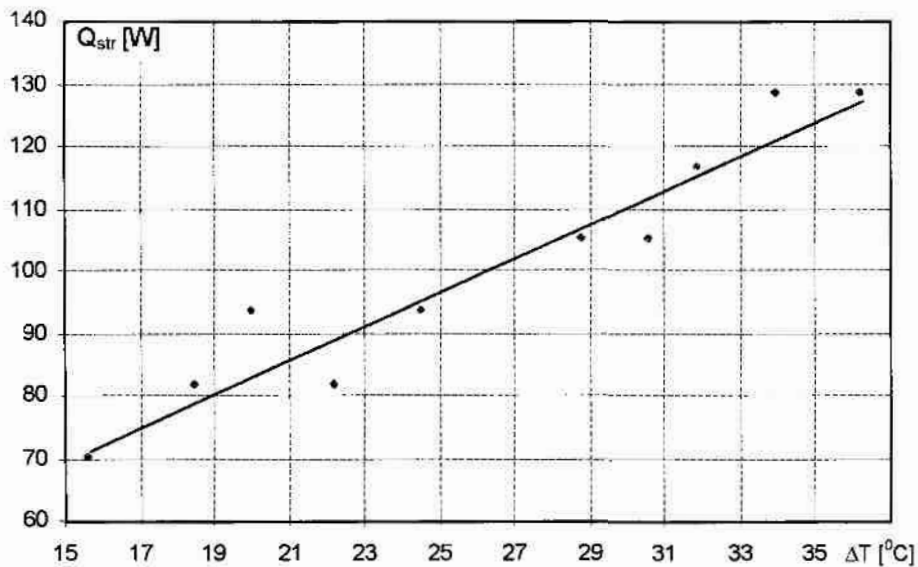
$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T_w = Q_{str}. \quad (Z.1.1)$$

Wyniki uzyskanych pomiarów przedstawiono w tabeli Z.1.1, zaś wpływ różnicy temperatur pomiędzy średnimi temperaturami czynników na wartości strat ciepłych przedstawiono graficznie na rysunku Z.1.1.

Tabela Z.1.1

Wyciąg z protokołu- pomiar strat ciepła do otoczenia metodą bilansową

	T_1 [$^{\circ}\text{C}$]	$T_1 - T_2$ [deg]	$T_{w\,sr}$ [$^{\circ}\text{C}$]	T_{ot} [$^{\circ}\text{C}$]	\dot{m} [kg/h]	Q_{str} [W]
1	38,3	0,06	38,27	22,6	1000	69,83
2	41,2	0,07	41,165	22,6	1000	81,47
3	42,7	0,08	42,66	22,6	1000	93,11
4	44,9	0,07	44,865	22,7	1000	81,47
5	47,2	0,08	47,16	22,6	1000	93,11
6	51,5	0,09	51,455	22,6	1000	104,75
7	53,3	0,09	53,255	22,7	1000	104,75
8	54,6	0,10	54,55	22,6	1000	116,38
9	56,7	0,11	56,645	22,6	1000	128,03
10	58,9	0,11	58,845	22,6	1000	128,03



Rys. Z.1.1. Zależność strat ciepłych Q_{str} od różnicy temperatur $\Delta T = T_w - T_\infty$

Metoda półempiryczna. W przypadku ustalonego przewodzenia ciepła $\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0\right)$ przez płaską ściankę bez wewnętrznych źródeł ciepła ($\dot{q}_v = 0$), o grubości znacznie mniejszej od pozostałych wymiarów gabarytowych, temperatura zmienia się tylko na grubości izolacji. Przy założeniu jednowymiarowego pola temperatur – $\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) = 0$ oraz $\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right) = 0$, różniczkowe równanie przewodzenia ciepła (równanie Fouriera- Kirchhoffa)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q}_v = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (Z.1.2)$$

można sprowadzić do postaci

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \quad (Z.1.3)$$

Po dwukrotnym całkowaniu i w oparciu o warunki brzegowe:

$$x=0 \Rightarrow T=T_w \quad \text{oraz} \quad x=\delta_{iz} \Rightarrow T=T_z$$

uzyskuje się równanie

$$q = \frac{\lambda}{\delta_{iz}} (T_w - T_z), \quad (Z.1.4)$$

gdzie:

q – gęstość strumienia ciepła przewodzonego przez przegrodę płaską [W/m^2],

δ_{iz} – grubość izolacji [m],

λ – współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacji [W/mK],

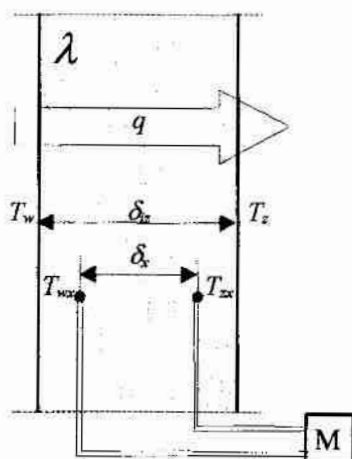
T_w – temperatura powierzchni wewnętrznej izolacji [K],

T_z – temperatura powierzchni zewnętrznej izolacji [K].

Ponieważ obowiązuje zależność

$$q_{str} = q = \frac{\lambda}{\delta_{iz}} (T_w - T_z) = \frac{\lambda}{\delta_x} (T_{wx} - T_{zx}), \quad (Z.1.5)$$

gdzie oznaczenie zmiennych jak na rysunku Z.1.2, pozwoliło to na wyznaczenie strat ciepła na drodze półempirycznej.



Rys. Z.1.2.
Schemat do obliczenia strat ciepła przez izolację metodą półempiryczną

W momencie ustalonego pola temperatur w izolacji przyjmowano, że ciepło dostarczane jest do powietrza tylko w wyniku przewodzona przez izolację. Korzystając z pary termopar umieszczonej w izolacji, której wskazania przeliczono na wartość temperatury, wyznaczono straty ciepła do otoczenia. Wyniki tych pomiarów zawiera tabela Z.1.2

Tabela Z.1.2

Wyciąg z protokołu- wyniki pomiarów strat ciepła do otoczenia na drodze przewodzenia przez izolację.

	$T_w - T_z$ [deg]	T_{wx} [$^{\circ}$ C]	T_{zx} [$^{\circ}$ C]	q_{str} [W/m ²]	Q_{str} [W]
1	56,2	71,3	40,4	6,18	64,34
2		71,5	40,6	6,18	
3		71,4	40,4	6,20	
4	51,3	66,8	38,9	5,58	58,24
5		67,0	39,0	5,60	
6		67,0	38,9	5,62	
7	43,3	60,1	36,7	4,68	48,81
8		60,1	36,6	4,70	
9		60,2	36,7	4,70	

$$\delta_x = 200 \text{ mm}, A_{sew} = 10,4 \text{ m}^2, \lambda = 0,04 \text{ W/mK [18]}$$

Wartości strat ciepła do otoczenia, uzyskane metodą empiryczną, przyjmują wartości większe (przy tej samej różnicy temperatur pomiędzy średnią temperaturą czynnika a temperaturą otoczenia), jak metodą półempiryczną. Przyczyną tych rozbieżności jest fakt, że metoda półempiryczna nie uwzględnia strat ciepła do otoczenia wynikłych na przykład z przewodzenia przez stalowe elementy konstrukcji, do której przymocowano wymiennik. Elementy te stanowią, ze względu na wymiary wymiennika, dość znaczne „mostki” termiczne. Z tego powodu, w dalszych obliczeniach, przyjęto wartości strat ciepłych wynikające z pomiarów metodą eksperymentalną.

Z.2. Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła α -metoda Wilsona

Metoda Wilsona [29] coraz powszechniej stosowana ze względu na prosty sposób wyznaczenia poszukiwanej wartości oraz wygodę pomiarów w praktyce sprowadza się do sporządzenia dokładnego bilansu energetycznego, polegającego na pomiarze natężeń przepływu czynników wymieniających ciepło oraz ich średnich temperatur, a następnie obróbce uzyskanych wartości.

Wychodząc z równania na odwrotność współczynnika przenikania ciepła dla pojedynczej przegrody jako:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (\text{Z.2.1})$$

gdzie

$$\frac{1}{k} = \frac{A \cdot \Delta T_{\log}}{Q} \quad (\text{Z.2.2})$$

zaś:

- α_1 – współczynnik przejmowania ciepła od strony wody,
- α_2 – poszukiwany współczynnik przejmowania ciepła od strony powietrza,
- δ – grubość ścianki wymiennika,
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału ścianki wymiennika,

można je przekształcić do postaci:

$$\frac{1}{k} - \frac{\delta}{\lambda} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (\text{Z.2.3})$$

Korzystając ze wzoru Dittusa Boeltera- przepływ wody w rurach wymiennika:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (\text{Z.2.4})$$

przekształcono go na postać

$$\alpha_1 = c_1 \cdot w^{0,8}, \quad (\text{Z.2.5})$$

a stąd

$$\frac{1}{\alpha_1} = c_1 \cdot w^{-0.8} \quad (Z.2.6)$$

Ostatecznie równanie Z.2.3 przyjmie postać

$$\frac{1}{k} - \frac{\delta}{\lambda} = c_1 \cdot w^{-0.8} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (Z.2.7)$$

co można zapisać

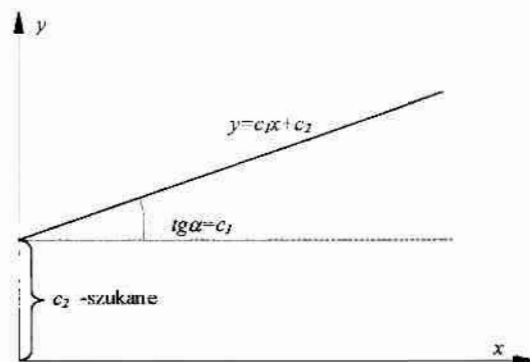
$$y = c_1 \cdot x + c_2 \quad (Z.2.8)$$

gdzie:

$$- y = \frac{1}{k} - \frac{\delta}{\lambda},$$

$$- x = w^{-0.8},$$

- $c_2 = \frac{1}{\alpha_2}$ i może być przedstawione na wykresie (rys.Z.2.1).



Rys. Z.2.1. Rysunek pomocniczy do metody Wilsona

Punkty o współrzędnych (x,y) obliczone na podstawie pomierzonych wartości, aproksymowane funkcją liniową pozwolą na uzyskanie wartości współczynnika przesunięcia linii c_2 , a przez to wyznaczenie wartości średniego współczynnika przejmowania ciepła po stronie powietrza α_2 .

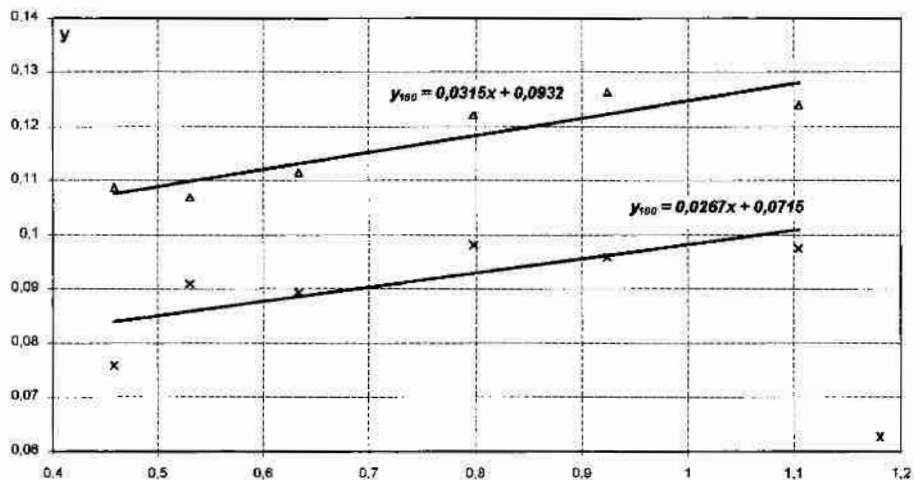
Trzymając się powyższego toku postępowania, wychodząc z danych zawartych w tabeli Z.2.1 oraz przyjmując do obliczeń $\delta = 0,002$ m, $\lambda_{Al} = 120$

W/mK, średnicę rurki z wodą $d = 0,02$ m, $T_l = 55$ °C, $T_{ot} = 23$ °C, $Q_{str} = 110$ W, $A = 1,7464$ m² uzyskano wielkości (tablica Z.2.1) na podstawie których określono średni współczynnik przejmowania ciepła po stronie powietrza α_l dla poszczególnych szerokości szczelin.

Tablica Z.2.1.

Obliczone wartości parametru y w zależności od parametru x dla różnych szerokości szczelin

L [mm]	$w^{-0,8} [m^{-0,8}/s^{-0,8}]$					
	1,103667	0,923231	0,797931	0,63389	0,530257	0,458291
200	0,123965	0,130657	0,117262	0,111349	0,113471	0,108685
180	0,127431	0,130657	0,112889	0,117106	0,101007	0,117126
160	0,123965	0,126093	0,121989	0,111349	0,106876	0,108685
140	0,109138	0,117863	0,112889	0,101385	0,106876	0,101381
120	0,101839	0,107359	0,105057	0,093063	0,095751	0,089374
100	0,097496	0,095969	0,098245	0,089395	0,091016	0,075901
80	0,08984	0,098583	0,092267	0,086007	0,086729	0,068974
60	0,095461	0,104264	0,101536	0,082867	0,091016	0,075901
40	0,114619	0,126093	0,112889	0,097045	0,095751	0,108685



Rys. Z.2.2. Przykładowe aproksymacje według tabeli Z.2.1 dla $L=100$ mm oraz $L=160$ mm.

Na podstawie powyższego rysunku uzyskano dla $L = 100$ mm wartość współczynnika $c_2 = 0,0715$ stąd $\alpha_2 = 13,98601$ [W/m²K], zaś dla $L = 160$ mm współczynnik $c_2 = 0,0932$ a stąd $\alpha_2 = 10,72961$ [W/m²K].

Z.3. Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła α metodą pośrednią

Współczynnik przejmowania ciepła α , który matematycznie stanowi współczynnik proporcjonalności w równaniu Newtona, fizycznie jest miarą intensywności wymiany ciepła podczas przejmowania. Wartość współczynnika może być zmienna na całej rozpatrywanej powierzchni. Należy więc rozróżnić lokalną (miejscową) wartość współczynnika α_{lok} oraz wartość średnią α . Wartość współczynnika przejmowania ciepła można eksperymentalnie wyznaczyć dwoma metodami: bezpośrednią i pośrednią [11, 16, 31]. Metoda pośrednia polega na wykorzystaniu równania Newtona (Z.3.1):

$$q = \alpha(T_w - T_F). \quad (Z.3.1)$$

Metodą tą wyznacza się najczęściej średnią wartość współczynnika przejmowania ciepła α , gdyż ze względów praktycznych najczęściej mierzy się całkowitą wartość strumienia ciepła doprowadzonego do powierzchni wymiany ciepła.

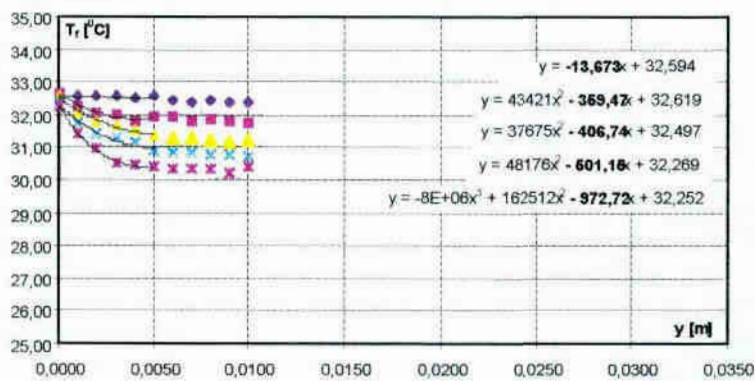
Metoda pośrednia do wyznaczenia współczynnika przejmowania ciepła α wykorzystuje znajomość wartości pola temperatur w objętości płynu przylegającego do ścianki, w której zachodzi wymiana ciepła. Oprócz prawa Newtona stosuje się dodatkowo prawo Fouriera (Z. 3.2), które w tym przypadku opisuje przewodzenie ciepła w warstwie przyściennej:

$$q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right). \quad (Z.3.2)$$

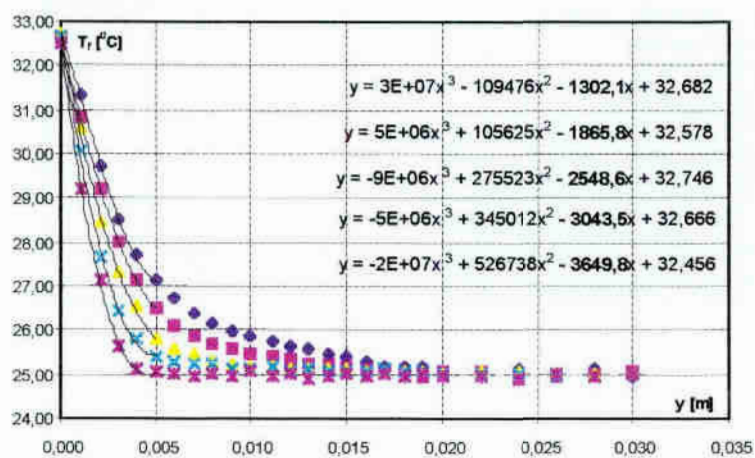
Z porównania równań (Z.3.1). i (Z.3.2) uzyskuje się zależność pozwalającą wyznaczyć lokalną wartość współczynnika przejmowania ciepła:

$$\alpha_{lok} = \frac{-\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_w}{T_w - T_F}. \quad (Z.3.3)$$

Na podstawie wyników pomiaru parametrów powietrza w szczelinie wzdłuż jej szerokości (Załącznik nr 7) sporządzono wykresy rozkładów temperatur w warstwie przysciennej (na kierunku normalnym do pionowej płyty, przy różnych wysokościach). Do sporządzenia wykresów wykorzystano wartości pola temperatur w pierwszych 5 mm objętości płynu licząc od powierzchni czołowej wymiennika. Aproxymując wyniki pomiaru temperatur wielomianem stopnia, który najbardziej odzwierciedlał charakter zmian temperatury, a następnie wyznaczając pochodną w punkcie (na ścianie) obliczono w efekcie wartość lokalną współczynnika przejmowania ciepła α_{lok} . Przykładowy rysunek do wyznaczenia gradientu temperatury na powierzchni wymiany ciepła przedstawiono na rysunkach Z. 3.1, zaś zestawienie uzyskanych w ten sposób wartości gradientu temperatur w tabeli Z. 3.1 a wartości lokalnego współczynnika przejmowania ciepła w tabeli Z. 3.2.



Rys. Z.3.1. Gradient temperatury na powierzchni wymiany ciepła, $T_w = 32,5$ °C, $T_f = 25$ °C, $L = 10$ mm



Rys. Z.3.2. Gradient temperatury na powierzchni wymiany ciepła, $T_w = 32,5$ °C, $T_f = 25$ °C, $L = 200$ mm

Tabela Z.3.1.

Zestawienie wartości gradientu temperatury uzyskanych na podstawie badań eksperymentalnych metodą pośrednią

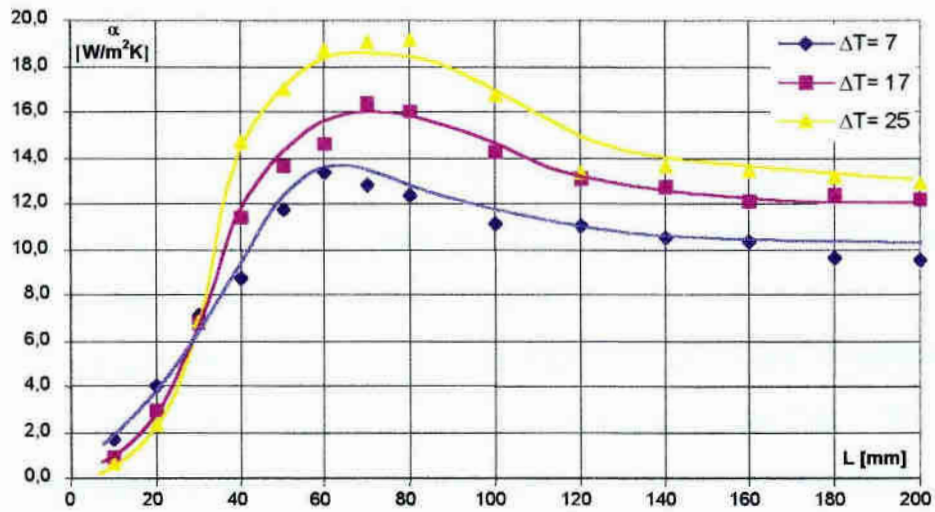
$\Delta T = T_W - T_F$ [K]	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
		1025,0	820,0	615,0	410,0	205,0
7	10,0	13,7	359,5	406,7	501,2	972,7
	20,0	508,4	660,5	959,9	1399,1	1739,0
	30,0	1204,1	1518,0	2100,4	2203,2	2326,8
	40,0	1566,4	1880,7	2674,6	2605,0	2668,0
	50,0	2100,0	2451,1	2826,1	3602,2	4449,2
	60,0	1900,4	2793,1	3556,3	4110,6	5124,9
	70,0	1744,3	2616,8	3523,4	4066,1	4857,2
	80,0	1709,4	2546,2	3547,1	3998,7	4420,6
	100,0	1603,5	2270,2	3068,0	3553,9	4094,5
	120,0	1551,7	2236,6	3010,2	3481,3	4183,0
	140,0	1514,6	2203,4	2967,5	3431,0	3664,7
	160,0	1498,6	2170,4	2899,3	3300,0	3668,9
	180,0	1449,1	2050,4	2660,2	3099,2	3309,8
200,0	1302,1	1865,8	2548,6	3043,5	3649,8	
17	10,0	5,5	295,9	389,6	612,2	1377,6
	20,0	60,9	739,4	1473,6	1967,7	4900,3
	30,0	1904,6	2296,8	3411,3	6487,3	7162,4
	40,0	4936,7	5282,6	6797,9	9136,5	9442,1
	50,0	6353,8	7145,5	8352,0	10183,0	10677,0
	60,0	6598,6	7677,1	8895,2	10841,0	11822,0
	70,0	6825,2	8524,3	9905,7	11975,0	14026,0
	80,0	6597,2	8508,1	9943,5	11736,0	13497,0
	100,0	5950,6	7415,1	8805,3	10733,0	11724,0
	120,0	5270,6	6382,5	8092,0	9921,0	11349,0
	140,0	5120,4	6168,6	7776,9	9579,0	11086,0
	160,0	4929,4	5984,3	7219,5	9048,4	10855,0
	180,0	5076,3	6072,8	7313,2	9283,0	11068,0
200,0	4980,1	6036,9	7267,1	9093,7	10941,0	
25	10,0	1,3	200,8	350,4	740,5	1431,9
	20,0	25,3	188,9	648,3	2351,3	7240,0
	30,0	575,9	2863,0	6753,1	9684,7	11369,0
	40,0	12504,0	11885,0	12466,0	15603,0	14157,0
	50,0	12670,0	13425,0	15734,0	17123,0	18129,0
	60,0	12762,0	13709,0	16789,0	19958,0	21687,0
	70,0	12753,0	13754,0	17392,0	20578,0	21959,0
	80,0	12730,0	13713,0	18366,0	20771,0	21136,0
	100,0	11688,0	12389,0	16121,0	17442,0	18172,0
	120,0	9253,9	9985,7	12454,0	13694,0	15140,0
	140,0	9314,4	10170,0	12605,0	14064,0	15720,0
	160,0	9195,6	10020,0	12462,0	13707,0	15439,0
	180,0	9175,4	9938,9	12391,0	13528,0	14870,0
200,0	8849,1	9739,7	12169,0	13347,0	14625,0	

Tabela Z.3.2.

Zestawienie wartości współczynnika przejmowania ciepła uzyskanych na podstawie badań eksperymentalnych metodą pośrednią

$\Delta T = T_w - T_F$ [K]	Szerokość szczeliny L [mm]	Lokalny współczynnik przejmowania ciepła α_{lok} przy h [mm]					α_{sr} [W/m ² K]
		1025,0	820,0	615,0	410,0	205,0	
7	10,0	0,1	1,4	1,6	1,9	3,7	1,7
	20,0	1,9	2,5	3,7	5,3	6,6	4,0
	30,0	4,6	5,8	8,0	8,4	8,9	7,1
	40,0	6,0	7,2	10,2	9,9	10,2	8,7
	50,0	8,0	9,3	10,8	13,7	17,0	11,8
	60,0	7,2	10,7	13,6	15,7	19,5	13,3
	70,0	6,7	10,0	13,4	15,5	18,5	12,8
	80,0	6,5	9,7	13,5	15,3	16,9	12,4
	100,0	6,1	8,7	11,7	13,6	15,6	11,1
	120,0	5,9	8,5	11,5	13,3	16,0	11,0
	140,0	5,8	8,4	11,3	13,1	14,0	10,5
	160,0	5,7	8,3	11,1	12,6	14,0	10,3
	180,0	5,5	7,8	10,1	11,8	12,6	9,6
200,0	5,0	7,1	9,7	11,6	13,9	9,5	
17	10,0	0,0	0,5	0,6	1,0	2,2	0,9
	20,0	0,1	1,2	2,3	3,1	7,8	2,9
	30,0	3,0	3,7	5,4	10,3	11,4	6,8
	40,0	7,9	8,4	10,8	14,6	15,1	11,3
	50,0	10,1	11,4	13,3	16,2	17,0	13,6
	60,0	10,5	12,2	14,2	17,3	18,8	14,6
	70,0	10,9	13,6	15,8	19,1	22,4	16,3
	80,0	10,5	13,6	15,9	18,7	21,5	16,0
	100,0	9,5	11,8	14,0	17,1	18,7	14,2
	120,0	8,4	10,2	12,9	15,8	18,1	13,1
	140,0	8,2	9,8	12,4	15,3	17,7	12,7
	160,0	7,9	9,5	11,5	14,4	17,3	12,1
	180,0	8,1	9,7	11,7	14,8	17,6	12,4
200,0	7,9	9,6	11,6	14,5	17,4	12,2	
25	10,0	0,0	0,2	0,4	0,8	1,6	0,6
	20,0	0,0	0,2	0,7	2,6	8,0	2,3
	30,0	0,6	3,1	7,4	10,7	12,5	6,9
	40,0	13,8	13,1	13,7	17,2	15,6	14,7
	50,0	13,9	14,8	17,3	18,8	19,9	17,0
	60,0	14,0	15,1	18,5	22,0	23,9	18,7
	70,0	14,0	15,1	19,1	22,6	24,2	19,0
	80,0	14,0	15,1	20,2	22,8	23,2	19,1
	100,0	12,9	13,6	17,7	19,2	20,0	16,7
	120,0	10,2	11,0	13,7	15,1	16,7	13,3
	140,0	10,2	11,2	13,9	15,5	17,3	13,6
	160,0	10,1	11,0	13,7	15,1	17,0	13,4
	180,0	10,1	10,9	13,6	14,9	16,4	13,2
200,0	9,7	10,7	13,4	14,7	16,1	12,9	

Uzyskane wartości lokalne współczynnika przejmowania ciepła pozwoliły na wyznaczenie wartości średniej. Wpływ szerokości szczeliny na wartość średniego współczynnika przejmowania ciepła dla różnych wartości $\Delta T = T_w - T_F$ przedstawiono na rysunku Z. 3.3.



Rys. Z.3.3. Wpływ szerokości szczeliny na wartość średniego współczynnika przejmowania ciepła α

Z.4. Promieniowanie

Przejmowanie ciepła, czyli proces zachodzący między ciałem a stykającym się z nim płynem oznacza faktycznie przekazywanie ciepła zarówno poprzez konwekcję, jak i promieniowanie termiczne [34].

Promieniowanie termiczne jest to emitowanie przez ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego fal elektromagnetycznych. W ujęciu fenomenologicznym polega to na przekształceniu energii wewnętrznej w fale elektromagnetyczne które przedostają się przez ośrodek całkowicie lub częściowo przezroczysty do drugiego ciała, gdzie energia promieniowania ulega ponownemu przekształceniu w energię wewnętrzną. Emisja energii odbywa się za pomocą fal o wszystkich długościach, lecz największe znaczenie ma promieniowanie świetlne ($\lambda = 0,365 \div 0,75 \mu\text{m}$) oraz podczerwone ($\lambda = 0,75 \div 400 \mu\text{m}$).

Ciepło przekazywane przez promieniowanie zależy od właściwości emisyjnych jak i zakresu temperatur ścianki i płynu. Dla tych samych właściwości emisyjnych w niskich temperaturach, uwzględnivszy konwekcję, można niekiedy pominąć wpływ promieniowania [17], czego nie można uczynić, gdy temperatury są wyższe. Jeśli właściwości emisyjne są małe, nieraz i w wyższych temperaturach wpływ promieniowania można pominąć.

W celu określenia udziału radiacyjnej wymiany ciepła w całym procesie przejmowania ciepła posłużono się prawem Newtona:

$$q = \alpha (T_w - T_\infty), \quad (\text{Z.4.1})$$

oraz prawem Stefana- Boltzmana dla dwóch nieprzezroczystych powierzchni równoległych:

$$q = \varepsilon_z \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_\infty}{100} \right)^4 \right], \quad (\text{Z.4.2})$$

gdzie: ε_z – zastępcza zdolność emisyjna układu wyrażona zależnością

$$\varepsilon_z = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} + 1} \quad (\text{Z.4.3})$$

w której $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – współczynniki emisyjności ciał; aluminiowy wymiennik ciepła- $\varepsilon_{Al} = 0,11 \div 0,19$ [11], pokryta farbą olejną płyta meblowa- $\varepsilon_{farby} = 0,92 \div 0,96$,

c_0 – współczynnik promieniowania ciała doskonale czarnego wynoszący $5,67 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.

T_w – temperatura wymiennika płytowego [K],

T_∞ – temperatura ekranu [K].

Przekształcając powyższe równanie można dojść do postaci:

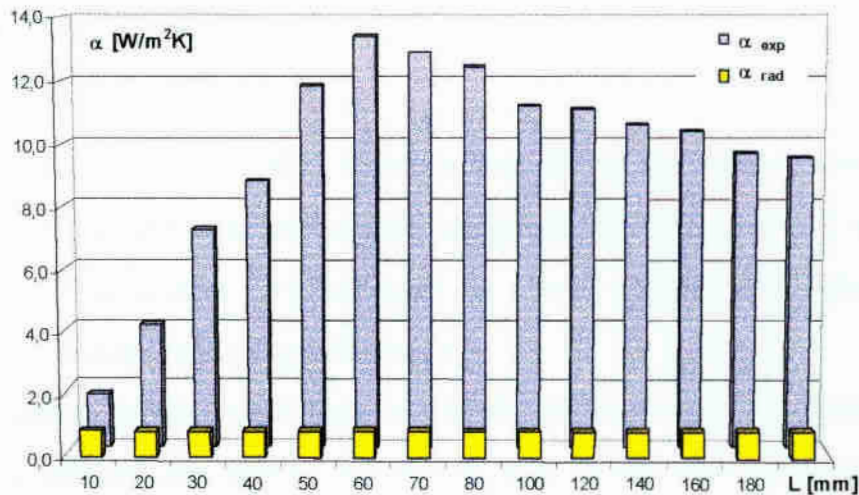
$$q = \frac{\varepsilon_z \cdot c_0}{100^4} (T_w + T_\infty) (T_w^2 + T_\infty^2) (T_w - T_\infty), \quad (\text{Z.4.4})$$

skąd otrzymujemy zależność na radiacyjny współczynnik przejmowania ciepła:

$$\alpha_r = \frac{\varepsilon_z \cdot c_0}{100^4} (T_w + T_\infty) (T_w^2 + T_\infty^2). \quad (\text{Z.4.5})$$

Wzór ten pozwala na porównanie wartości radiacyjnego współczynnika przejmowania ciepła względem wartości średniego, całkowitego współczynnika przejmowania ciepła uzyskanego eksperymentalnie (Tabela Z.3.2) i oszacowanie procentowego jego udziału w zachodzącym procesie.

Poniższy wykres (rys. Z.4.1) przedstawia porównanie średniego całkowitego współczynnika przejmowania ciepła (Tabela Z.3.2 dla $\Delta T = 7$) z radiacyjnym liczonym według wzoru (Z.4.5) w zależności od odległości pomiędzy powierzchniami wymiennika i ekranu. Temperatura ekranu równa jest temperaturze powietrza w obszarze niezaburzonym. Zaznaczyć trzeba, że wielkości tabelaryczne podstawiane do wzoru (Z.4.5) zostały dobrane w taki sposób, aby wartości radiacyjnego współczynnika przejmowania ciepła były jak największe.



Rys. Z. 4.1. Porównanie wartości współczynników przyjmowania ciepła: całkowitego i radiacyjnego; $T_w = 32$ °C, $T_\infty = 25$ °C

Porównanie przedstawione na rysunku pozwala stwierdzić, że mimo wyżej wspomnianego założenia procentowy udział radiacji w procesie przyjmowania jest istotny dla bardzo małych odległości. Dla szerokości szczeliny równej 30mm udział współczynnika przyjmowania ciepła przez radiację w całym procesie stanowi już jedynie 12%, zaś dla 40mm 9%. Jest to więc wartość, która pozwala pominąć aspekt promieniowania w dalszych rozważaniach, gdyż obserwowane zjawiska intensyfikacji procesu zachodzą przy większych szerokościach szczeliny. Problem promieniowania można pominąć także z innego względu. Jeżeli powietrze można traktować jako ośrodek przezroczysty dla fal elektromagnetycznych, zmiana położenia ekranu z odległości $L = 70$ mm na przykład do $L = 80$ mm, dla wymiany ciepła poprzez promieniowanie jest bez znaczenia. Należałoby uwzględnić ten proces wówczas, gdy czynnik zawarty w szczelinie byłby gazem absorbującym (np.: dymy, sadza itp.)

Z.5. Ocena błędów pomiaru

Uzyskane z pomiarów lokalne wartości współczynnika przejmowania ciepła α , obarczone są błędem systematycznym i błędem przypadkowym. Z uwagi na niewielką ilość pomiarów wykonanych w tych samych warunkach, nie zajmowano się oceną błędu przypadkowego.

Błąd systematyczny wynikający z metod pomiarów lub obliczeń można oszacować, ponieważ nie zależy on od ich ilości. Obliczono jako najbardziej prawdopodobny błąd średni kwadratowy, a następnie błąd maksymalny [42].

W ogólnej postaci średni błąd kwadratowy zmiennej zależnej

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (Z.5.1)$$

wynosi

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (Z.5.2)$$

Współczynnik przejmowania ciepła α_{lok} wyliczany był na podstawie wzoru (Z.3.3):

$$\alpha_{lok} = \frac{-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_w}{T_w - T_F}.$$

Z powyższego wynika, że lokalny współczynnik przejmowania ciepła α_{lok} jest funkcją liczbową zmiennych:

$$\alpha_{lok} = \alpha_{lok} \left(\lambda, \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_w, T_w, T_F \right). \quad (Z.5.3)$$

Stąd na podstawie (Z.5.2) średni błąd kwadratowy współczynnika przejmowania ciepła określa wzór:

$$\Delta\alpha_{lok} = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial\lambda}\Delta\lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w}\Delta\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial T_w}\Delta T_w\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial T_f}\Delta T_f\right)^2} \quad (Z.5.4)$$

Odpowiednie składniki w/w równania wynoszą:

$$a) \quad \frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial\lambda} = -\frac{\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w}{T_w - T_f},$$

$$b) \quad \frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w} = -\frac{\lambda}{T_w - T_f},$$

$$c) \quad \frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial T_w} = -\frac{\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w}{(T_w - T_f)^2},$$

$$d) \quad \frac{\partial\alpha_{lok}}{\partial T_f} = \frac{\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w}{(T_w - T_f)^2}.$$

Wartości błędów wielkości wchodzących w skład wzoru (Z.5.3) wynoszą odpowiednio:

- $\Delta\lambda$ - jako własność termodynamiczna odczytywana z tabel wynosi 1% jej wartości [42], czyli $\Delta\lambda = 0,01 \cdot \lambda = 2,6 \cdot 10^{-4} [\text{W/mK}]$,
- $\Delta\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w$ - składa się zarówno z błędów pomiaru temperatury, przesunięcia, jak i wyznaczenia korelacji aproksymującej wyniki pomiarów- przyjęto 2% wartości gradientu temperatury,
- $\Delta T_w = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C}$,
- $\Delta T_f = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Wykorzystując powyższe zależności oraz dane zawarte w tablicach Z.3.1 i Z.3.2 obliczono wartości błędów systematycznych lokalnego współczynnika przejmowania ciepła α_{lok} . Wartości te zestawiono w tabeli Z.5.1.

Tablica Z.5.1

Zestawienie wartości błędów wyznaczenia lokalnego współczynnika przejmowania ciepła

$\Delta T = T_W - T_F$	Szerokość szczeliny L [mm]	Błąd (%) określenia α_{lok}				
		1025,0	820,0	615,0	410,0	205,0
7	10,0	0,1	2,4	2,7	3,4	6,5
	20,0	3,4	4,4	6,4	9,4	11,6
	30,0	8,1	10,1	14,0	14,7	15,6
	40,0	10,5	12,6	17,9	17,4	17,8
	50,0	14,0	16,4	18,9	24,1	29,7
	60,0	12,7	18,7	23,8	27,5	34,3
	70,0	11,7	17,5	23,6	27,2	32,5
	80,0	11,4	17,0	23,7	26,7	29,6
	100,0	10,7	15,2	20,5	23,8	27,4
	120,0	10,4	15,0	20,1	23,3	28,0
	140,0	10,1	14,7	19,8	22,9	24,5
	160,0	10,0	14,5	19,4	22,1	24,5
	180,0	9,7	13,7	17,8	20,7	22,1
	200,0	8,7	12,5	17,0	20,4	24,4
17	10,0	0,0	0,8	1,0	1,6	3,7
	20,0	0,2	2,0	3,9	5,3	13,1
	30,0	5,1	6,1	9,1	17,3	19,1
	40,0	13,2	14,1	18,1	24,4	25,2
	50,0	17,0	19,1	22,3	27,2	28,5
	60,0	17,6	20,5	23,7	28,9	31,5
	70,0	18,2	22,7	26,4	32,0	37,4
	80,0	17,6	22,7	26,5	31,3	36,0
	100,0	15,9	19,8	23,5	28,6	31,3
	120,0	14,1	17,0	21,6	26,5	30,3
	140,0	13,7	16,5	20,8	25,6	29,6
	160,0	13,2	16,0	19,3	24,1	29,0
	180,0	13,5	16,2	19,5	24,8	29,5
	200,0	13,3	16,1	19,4	24,3	29,2
25	10,0	0,0	0,4	0,6	1,3	2,6
	20,0	0,0	0,3	1,2	4,3	13,1
	30,0	1,0	5,2	12,2	17,5	20,6
	40,0	22,6	21,5	22,5	28,2	25,6
	50,0	22,9	24,3	28,5	31,0	32,8
	60,0	23,1	24,8	30,4	36,1	39,2
	70,0	23,1	24,9	31,5	37,2	39,7
	80,0	23,0	24,8	33,2	37,6	38,2
	100,0	21,1	22,4	29,2	31,5	32,9
	120,0	16,7	18,1	22,5	24,8	27,4
	140,0	16,8	18,4	22,8	25,4	28,4
	160,0	16,6	18,1	22,5	24,8	27,9
	180,0	16,6	18,0	22,4	24,5	26,9
	200,0	16,0	17,6	22,0	24,1	26,4

Błąd wyznaczenia lokalnej wartości współczynnika przejmowania ciepła nie przekracza 40%, zaś większość wyników (88%) obarczonych jest błędem nie przekraczającym 30%.

Z.6. Wyciąg z protokołu badań – ETAP I

W załączniku przedstawiono wyciąg z protokołu badań – Etap I. Uzyskane wyniki wykorzystano do weryfikacji możliwości intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła oraz jej intensywności na zbudowanym w laboratorium Katedry Techniki Ciepłej i Chłodnictwa Politechniki Koszalińskiej stanowisku badawczym (rozdz. 4.5.1).

Tablica Z.6.1

Wyniki pomiaru parametrów wykorzystanych do określenia możliwości intensyfikacji konwekcyjnej wymiany ciepła – wyciąg z protokołu badań

L.p.	\dot{m}_w [m ³ /h]	L [mm]	E [mV]	ΔT [deg]	Q [W]
1	1	200	0,046	0,46	425,82
2		180	0,045	0,45	414,17
3		160	0,046	0,46	425,82
4		140	0,051	0,51	484,06
5		120	0,054	0,54	519,00
6		100	0,056	0,56	542,30
7		80	0,060	0,60	588,89
8		60	0,057	0,57	553,95
9		40	0,049	0,49	460,76
10		20	0,036	0,36	309,34
11	1,25	200	0,035	0,35	403,28
12		180	0,035	0,35	403,28
13		160	0,036	0,36	417,94
14		140	0,038	0,38	447,27
15		120	0,041	0,41	491,27
16		100	0,045	0,45	549,93
17		80	0,044	0,44	535,26
18		60	0,042	0,42	505,93
19		40	0,036	0,36	417,94
20		20	0,025	0,25	256,63
21	1,5	200	0,032	0,32	449,11
22		180	0,033	0,33	466,59
23		160	0,031	0,31	431,64
24		140	0,033	0,33	466,59
25		120	0,035	0,35	501,53
26		100	0,037	0,37	536,48
27		80	0,039	0,39	571,42
28		60	0,036	0,36	519,00
29		40	0,033	0,33	466,59
30		20	0,021	0,21	256,92

Tabela Z.6.1 (c.d)

<i>L.p.</i>	\dot{m}_w [m^3/h]	<i>L</i> [mm]	<i>E</i> [mV]	ΔT [deg]	<i>Q</i> [W]
31	2,0	200	0,025	0,25	472,41
32		180	0,024	0,24	449,11
33		160	0,025	0,25	472,41
34		140	0,027	0,27	519,00
35		120	0,029	0,29	565,60
36		100	0,030	0,30	588,89
37		80	0,031	0,31	612,19
38		60	0,032	0,32	635,48
39		40	0,028	0,28	542,30
40		20	0,019	0,19	332,63
41	2,5	200	0,020	0,20	463,19
42		180	0,022	0,22	520,51
43		160	0,021	0,21	491,85
44		140	0,021	0,21	491,85
45		120	0,023	0,23	549,17
46		100	0,024	0,24	577,83
47		80	0,025	0,25	606,49
48		60	0,024	0,24	577,83
49		40	0,023	0,23	549,17
50		20	0,017	0,17	377,21
51	3,0	200	0,017	0,17	483,35
52		180	0,016	0,16	448,44
53		160	0,017	0,17	483,35
54		140	0,018	0,18	518,25
55		120	0,020	0,20	588,05
56		100	0,023	0,23	692,76
57		80	0,025	0,25	762,57
58		60	0,023	0,23	692,76
59		40	0,017	0,17	483,35
60		20	0,012	0,12	308,83

(temperatura wody na wejściu do wymiennika- $T_l=55\text{ }^\circ\text{C}$,
 temperatura otoczenia- $T_{ot}=25\text{ }^\circ\text{C}$,
 straty ciepła- $Q_{str}=110\text{ W}$)

Z.7. Wyciąg z protokołu badań – ETAP II

Z.7.1. Pomiary temperatury powietrza w szczelinie

Tablica Z.7.1

Wybrane wyniki pomiaru temperatury powietrza w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Temperatura powietrza T_f [$^{\circ}\text{C}$] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	100	0,000	32,30	32,65	32,40	32,50	32,30
2	100	0,001	30,84	30,52	29,78	29,46	28,94
3	100	0,002	29,80	29,15	28,30	27,67	26,89
4	100	0,003	28,62	27,95	27,35	26,43	25,62
5	100	0,004	28,37	27,10	26,68	25,80	25,28
6	100	0,005	27,88	26,68	26,36	25,48	25,06
7	100	0,006	27,28	26,50	26,12	25,48	25,02
8	100	0,007	27,10	26,12	25,80	25,27	24,88
9	100	0,008	26,80	25,97	25,69	25,40	25,00
10	100	0,009	26,60	25,69	25,55	25,23	24,85
11	100	0,010	26,47	25,69	25,55	25,27	25,02
12	100	0,011	26,47	25,55	25,45	25,02	24,88
13	100	0,012	26,29	25,60	25,38	25,06	24,78
14	100	0,013	26,26	25,52	25,27	25,09	24,80
15	100	0,014	26,15	25,30	25,34	25,13	24,85
16	100	0,015	25,97	25,45	25,34	25,09	24,88
17	100	0,016	25,80	25,34	25,27	25,02	24,85
18	100	0,017	25,83	25,38	25,38	25,16	24,92
19	100	0,018	25,76	25,20	25,27	25,06	24,74
20	100	0,019	25,66	25,20	25,23	25,06	24,80
21	100	0,020	25,62	25,20	25,30	25,09	24,80
22	100	0,022	25,55	25,16	25,20	25,02	24,74
23	100	0,024	25,62	25,13	25,20	25,00	24,67
24	100	0,026	25,50	25,16	25,30	25,02	24,71
25	100	0,028	25,59	25,09	25,27	24,92	25,00
26	100	0,030	25,54	25,09	25,27	25,00	24,80
27	100	0,032	25,49	25,12	25,22	24,96	24,74
28	100	0,034	25,56	25,15	25,20	25,01	24,86
29	100	0,036	25,46	25,05	25,19	25,00	24,68
30	100	0,038	25,44	25,14	25,18	25,03	24,90
31	100	0,040	25,42	24,97	25,13	24,88	24,72
32	100	0,042	25,44	25,09	25,24	25,00	24,74
33	100	0,044	25,42	25,09	25,08	24,91	24,73
34	100	0,046	25,53	25,05	25,19	25,03	24,73
35	100	0,048	25,42	25,13	25,10	24,99	24,88
36	100	0,050	25,46	25,04	25,08	24,91	24,76
37	100	0,055	25,36	25,18	25,00	25,10	24,77
38	100	0,060	25,46	25,19	25,10	24,97	24,80
39	100	0,065	25,36	25,18	25,10	24,97	24,78
40	100	0,070	25,32	25,14	25,01	24,87	24,88

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Temperatura powietrza T_f [°C] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
41	100	0,075	25,35	24,92	25,15	25,01	24,76
42	100	0,080	25,27	25,14	25,09	24,94	24,80
43	100	0,085	25,42	25,05	25,15	24,96	24,78
44	100	0,090	25,32	25,24	25,04	25,01	24,85
45	100	0,095	25,32	25,14	25,04	25,17	24,78
46	100	0,100	25,41	25,19	25,15	24,94	25,04
47	80	0,000	32,60	32,55	32,40	32,40	32,30
48	80	0,001	31,24	30,34	29,28	29,00	28,72
49	80	0,002	29,83	29,10	28,17	27,40	26,72
50	80	0,003	29,14	28,00	27,20	26,10	25,52
51	80	0,004	28,52	27,45	26,60	25,76	25,28
52	80	0,005	28,03	26,86	26,36	25,48	25,06
53	80	0,006	27,55	26,63	26,03	25,24	24,97
54	80	0,007	27,20	26,46	25,86	25,10	25,03
55	80	0,008	27,04	26,32	25,67	24,97	24,90
56	80	0,009	26,87	26,22	25,60	24,97	24,90
57	80	0,010	26,80	26,15	25,50	24,93	24,97
58	80	0,011	26,70	26,00	25,43	25,00	24,90
59	80	0,012	26,60	25,91	25,48	25,03	25,03
60	80	0,013	26,52	26,00	25,48	25,03	25,03
61	80	0,014	26,40	25,90	25,40	24,97	25,07
62	80	0,015	26,28	25,83	25,31	25,03	25,10
63	80	0,016	26,31	25,76	25,28	25,10	25,00
64	80	0,017	26,28	25,72	25,31	24,90	25,00
65	80	0,018	26,20	25,76	25,24	24,97	24,90
66	80	0,019	26,10	25,72	25,28	25,00	24,86
67	80	0,020	26,03	25,60	25,31	25,20	25,03
68	80	0,022	26,07	25,55	25,17	25,03	24,97
69	80	0,024	26,07	25,60	25,28	24,94	25,07
70	80	0,026	26,03	25,55	25,27	24,94	25,03
71	80	0,028	25,93	25,45	25,28	25,20	25,00
72	80	0,030	25,93	25,52	25,17	24,97	25,00
73	80	0,032	25,98	25,55	25,28	25,04	24,94
74	80	0,034	25,79	25,45	25,30	24,95	25,15
75	80	0,036	25,88	25,45	25,14	25,13	24,98
76	80	0,038	25,78	25,34	25,24	25,12	25,00
77	80	0,040	25,76	25,52	25,25	25,12	24,92
78	80	0,042	25,76	25,43	25,27	24,88	25,13
79	80	0,044	25,84	25,48	25,27	25,14	25,00
80	80	0,046	25,73	25,42	25,25	25,12	24,98
81	80	0,048	25,78	25,52	25,19	24,95	25,05
82	80	0,050	25,80	25,49	25,30	25,14	24,97
83	80	0,055	25,76	25,49	25,10	25,08	24,90
84	80	0,060	25,78	25,44	25,24	25,05	25,09
85	80	0,065	25,79	25,48	25,24	25,12	24,95
86	80	0,070	25,78	25,60	25,30	25,15	25,05
87	80	0,075	25,73	25,43	25,24	25,13	24,99
88	80	0,080	25,78	25,52	25,33	25,22	25,08
89	70	0,000	32,60	32,55	32,40	32,40	32,48
90	70	0,001	31,24	30,25	29,28	29,00	28,37
91	70	0,002	29,94	29,17	28,24	27,31	26,70
92	70	0,003	29,23	28,29	27,31	26,46	25,71
93	70	0,004	28,65	27,52	26,63	25,72	25,09

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Temperatura powietrza T_f [°C] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
94	70	0,005	27,96	26,97	26,36	25,55	25,06
95	70	0,006	27,55	26,63	26,03	25,24	24,97
96	70	0,007	27,20	26,46	25,86	25,10	25,03
97	70	0,008	27,04	26,32	25,67	24,97	24,90
98	70	0,009	26,87	26,22	25,60	24,97	24,90
99	70	0,010	26,80	26,15	25,50	24,93	24,97
100	70	0,011	26,70	26,00	25,43	25,00	24,90
101	70	0,012	26,60	25,91	25,48	25,03	25,03
102	70	0,013	26,49	25,97	25,45	25,03	25,03
103	70	0,014	26,40	25,91	25,40	25,03	25,07
104	70	0,015	26,36	25,80	25,45	25,10	24,81
105	70	0,016	26,29	25,80	25,52	24,97	25,10
106	70	0,017	26,20	25,71	25,31	24,97	25,07
107	70	0,018	26,15	25,60	25,24	24,97	25,07
108	70	0,019	26,12	25,54	25,28	24,93	25,00
109	70	0,020	26,05	25,57	25,38	24,97	25,14
110	70	0,022	26,05	25,57	25,28	25,03	25,14
111	70	0,024	25,91	25,50	25,20	24,97	25,03
112	70	0,026	25,95	25,50	25,31	24,93	25,07
113	70	0,028	25,95	25,52	25,24	24,93	25,03
114	70	0,030	25,95	25,52	25,24	25,03	25,14
115	70	0,032	25,88	25,52	25,28	25,07	24,96
116	70	0,034	25,99	25,47	25,35	24,94	25,07
117	70	0,036	25,83	25,63	25,24	25,06	24,88
118	70	0,038	25,90	25,40	25,22	25,04	24,91
119	70	0,040	25,85	25,52	25,27	25,04	24,89
120	70	0,042	25,85	25,44	25,24	25,04	25,04
121	70	0,044	25,90	25,49	25,22	24,86	25,04
122	70	0,046	25,76	25,39	25,25	24,93	25,03
123	70	0,048	25,85	25,47	25,17	25,04	24,94
124	70	0,050	25,78	25,44	25,25	25,06	24,92
125	70	0,055	25,78	25,42	25,18	24,89	25,03
126	70	0,060	25,76	25,54	25,20	25,07	24,98
127	70	0,065	25,79	25,35	25,19	24,88	25,06
128	70	0,070	25,64	25,35	25,22	24,94	24,88
129	60	0,000	32,60	32,55	32,40	32,40	32,48
130	60	0,001	30,93	30,03	29,28	29,00	28,38
131	60	0,002	29,97	29,17	28,20	27,20	26,48
132	60	0,003	29,23	28,29	27,31	26,07	25,62
133	60	0,004	28,60	27,52	26,62	25,72	25,24
134	60	0,005	28,14	27,03	26,34	25,55	25,07
135	60	0,006	27,83	26,90	26,03	25,24	24,97
136	60	0,007	27,60	26,66	25,86	25,10	25,03
137	60	0,008	27,40	26,48	25,93	24,97	24,90
138	60	0,009	27,20	26,40	25,69	24,97	24,90
139	60	0,010	27,28	26,31	25,66	24,93	24,97
140	60	0,011	26,93	26,20	25,55	25,00	24,90
141	60	0,012	26,76	26,17	25,48	25,03	25,03
142	60	0,013	26,72	25,97	25,45	25,03	24,90
143	60	0,014	26,69	26,17	25,40	25,03	24,90
144	60	0,015	26,55	26,03	25,45	25,10	24,83
145	60	0,016	26,48	26,00	25,52	24,97	24,98
146	60	0,017	26,38	25,93	25,31	24,97	25,07

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Temperatura powietrza T_f [°C] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
147	60	0,018	26,31	25,86	25,24	24,97	25,07
148	60	0,019	26,20	25,76	25,28	24,93	25,00
149	60	0,020	26,20	25,69	25,38	24,97	24,95
150	60	0,022	26,20	25,76	25,28	25,03	24,92
151	60	0,024	26,14	25,69	25,20	24,97	25,03
152	60	0,026	26,17	25,62	25,31	24,93	25,07
153	60	0,028	26,07	25,52	25,24	24,93	25,03
154	60	0,030	26,07	25,52	25,24	25,03	25,14
155	60	0,032	25,89	25,58	25,27	25,07	24,95
156	60	0,034	26,08	25,58	25,24	25,05	24,95
157	60	0,036	25,80	25,42	25,20	25,00	24,79
158	60	0,038	25,82	25,44	25,28	25,07	24,94
159	60	0,040	25,98	25,53	25,22	24,90	24,98
160	60	0,042	25,79	25,42	25,24	25,02	24,82
161	60	0,044	25,80	25,40	25,19	24,89	25,00
162	60	0,046	25,79	25,44	25,23	24,93	25,00
163	60	0,048	25,67	25,43	25,23	24,93	25,03
164	60	0,050	25,79	25,29	25,35	24,99	24,90
165	60	0,055	25,79	25,44	25,27	24,95	25,07
166	60	0,060	25,73	25,42	25,29	25,04	25,14
167	50	0,000	32,62	32,46	32,52	32,27	32,62
168	50	0,001	30,83	30,42	30,08	29,33	29,00
169	50	0,002	29,98	29,17	28,92	27,95	27,20
170	50	0,003	29,23	28,45	28,10	27,26	26,34
171	50	0,004	28,89	27,85	27,48	26,69	25,66
172	50	0,005	28,48	27,45	27,16	26,35	25,31
173	50	0,006	28,20	27,32	26,82	26,07	25,20
174	50	0,007	27,98	26,97	26,63	25,83	25,03
175	50	0,008	27,76	26,76	26,47	25,69	25,00
176	50	0,009	27,57	26,66	26,32	25,60	25,16
177	50	0,010	27,40	26,50	26,22	25,66	25,00
178	50	0,011	27,32	26,40	26,10	25,60	25,13
179	50	0,012	27,16	26,35	26,00	25,52	25,10
180	50	0,013	27,13	26,25	25,91	25,52	25,20
181	50	0,014	27,10	26,22	25,85	25,38	25,03
182	50	0,015	26,98	26,07	25,80	25,48	25,24
183	50	0,016	26,90	26,13	25,85	25,34	25,07
184	50	0,017	26,88	26,00	25,75	25,31	25,25
185	50	0,018	27,00	25,94	25,53	25,20	25,16
186	50	0,019	27,00	25,80	25,60	25,28	25,07
187	50	0,020	26,97	25,80	25,63	25,28	25,03
188	50	0,022	26,94	25,66	25,38	25,20	25,03
189	50	0,024	26,91	25,69	25,47	25,14	24,90
190	50	0,026	26,94	25,60	25,38	25,10	24,93
191	50	0,028	26,91	25,53	25,34	25,28	25,03
192	50	0,030	26,88	25,60	25,38	25,17	25,00
193	50	0,032	26,81	25,69	25,43	25,23	25,02
194	50	0,034	26,68	25,55	25,29	25,14	24,94
195	50	0,036	26,61	25,55	25,35	24,99	25,09
196	50	0,038	26,60	25,54	25,39	25,12	24,93
197	50	0,040	26,81	25,67	25,33	25,10	24,94
198	50	0,042	26,58	25,52	25,35	25,14	25,08
199	50	0,044	26,53	25,57	25,39	25,10	24,98

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Temperatura powietrza T_f [°C] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
200	50	0,046	26,56	25,53	25,28	25,22	25,07
201	50	0,048	26,58	25,69	25,29	25,17	25,05
202	50	0,050	26,78	25,58	25,35	25,12	24,99
203	40	0,000	32,68	32,48	32,48	32,29	32,29
204	40	0,001	31,23	30,85	30,30	30,12	29,93
205	40	0,002	30,50	30,12	29,57	29,39	29,20
206	40	0,003	29,77	29,58	29,03	28,84	28,47
207	40	0,004	29,23	29,03	28,66	28,30	27,74
208	40	0,005	28,87	28,67	28,12	27,75	27,20
209	40	0,006	28,68	28,30	27,76	27,39	26,65
210	40	0,007	28,50	28,12	27,57	27,21	26,47
211	40	0,008	28,32	27,76	27,39	26,85	25,93
212	40	0,009	27,96	27,58	27,21	26,48	25,75
213	40	0,010	27,77	27,21	26,85	26,30	25,56
214	40	0,011	27,59	27,21	26,67	26,12	25,38
215	40	0,012	27,41	27,03	26,30	25,94	25,38
216	40	0,013	27,41	26,85	26,30	25,76	25,20
217	40	0,014	27,23	26,67	26,12	25,76	25,20
218	40	0,015	27,23	26,67	25,94	25,58	25,20
219	40	0,016	27,05	26,48	25,76	25,58	25,20
220	40	0,017	27,05	26,48	25,76	25,39	25,20
221	40	0,018	27,05	26,30	25,76	25,39	25,20
222	40	0,019	26,87	26,30	25,58	25,39	25,20
223	40	0,020	26,87	26,30	25,58	25,39	25,20
224	40	0,022	26,87	26,30	25,58	25,21	25,20
225	40	0,024	26,68	26,30	25,58	25,21	25,02
226	40	0,026	26,68	26,30	25,58	25,21	25,02
227	40	0,028	26,68	26,30	25,58	25,21	25,02
228	40	0,030	26,68	26,12	25,58	25,21	25,02
229	40	0,032	26,68	26,12	25,40	25,21	25,02
230	40	0,034	26,68	26,12	25,40	25,21	25,02
231	40	0,036	26,68	26,12	25,40	25,21	25,02
232	40	0,038	26,50	26,12	25,40	25,21	25,02
233	40	0,040	26,68	26,12	25,40	25,21	25,02
234	30	0,000	32,43	32,40	32,34	32,12	32,02
235	30	0,001	30,86	30,74	30,00	29,42	29,45
236	30	0,002	30,45	30,09	29,04	28,35	28,13
237	30	0,003	30,05	29,11	28,20	27,80	27,26
238	30	0,004	29,60	28,73	27,70	27,32	26,60
239	30	0,005	29,55	28,57	27,70	26,97	26,25
240	30	0,006	29,48	28,42	27,48	26,76	26,03
242	30	0,007	29,33	28,35	27,35	26,63	25,75
241	30	0,008	29,29	28,29	27,23	26,44	25,60
243	30	0,009	29,20	28,17	27,13	26,25	25,50
244	30	0,010	29,23	28,07	27,20	26,22	25,44
245	30	0,011	29,08	28,00	27,00	26,22	25,38
246	30	0,012	29,05	27,98	27,04	26,10	25,28
247	30	0,013	28,95	28,00	26,94	26,10	25,22
248	30	0,014	28,92	27,94	26,91	26,07	25,09
249	30	0,015	28,86	27,82	26,94	26,00	25,16
250	30	0,016	28,80	27,80	26,91	26,03	25,20
251	30	0,017	28,82	27,76	26,94	25,88	25,13
252	30	0,018	28,76	27,63	27,03	26,10	24,91

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Temperatura powietrza T_f [°C] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
253	30	0,019	28,67	27,58	27,03	26,10	25,06
254	30	0,020	28,64	27,58	26,85	26,16	25,31
255	30	0,022	28,54	27,57	26,85	26,07	25,20
256	30	0,024	28,48	27,48	26,85	26,03	25,13
257	30	0,026	28,51	27,48	26,85	26,10	25,16
258	30	0,028	28,45	27,45	26,85	26,00	25,13
259	30	0,030	28,40	27,38	26,85	26,13	25,13
260	20	0,000	32,49	32,34	32,27	32,00	32,15
261	20	0,001	31,96	31,46	31,02	30,60	29,89
262	20	0,002	31,68	31,05	30,58	29,58	29,11
263	20	0,003	31,49	30,96	30,45	29,20	28,29
264	20	0,004	31,43	30,89	30,30	28,92	28,20
265	20	0,005	31,40	30,52	30,14	28,64	27,38
266	20	0,006	31,40	30,49	29,89	28,64	27,38
267	20	0,007	31,24	30,42	29,76	28,40	27,13
268	20	0,008	31,30	30,14	29,86	28,42	26,97
269	20	0,009	31,20	30,33	29,76	28,40	26,94
270	20	0,010	31,30	30,20	29,60	28,32	26,85
271	20	0,011	31,24	30,24	29,58	28,13	26,91
272	20	0,012	31,14	29,95	29,58	28,13	26,82
273	20	0,013	31,30	29,98	29,64	28,07	26,57
274	20	0,014	31,02	29,95	29,42	28,07	26,69
275	20	0,015	31,00	29,86	29,26	28,07	26,54
276	20	0,016	31,02	29,98	29,40	27,95	26,63
277	20	0,017	31,11	29,80	29,33	27,88	26,54
278	20	0,018	30,89	29,95	29,36	28,07	26,44
279	20	0,019	31,00	30,11	29,42	27,82	26,50
280	20	0,020	31,05	29,95	29,40	27,92	26,40
281	10	0,000	32,60	32,64	32,54	32,35	32,26
282	10	0,001	32,57	32,26	32,07	31,70	31,40
283	10	0,002	32,57	32,07	31,80	31,40	30,95
284	10	0,003	32,57	32,00	31,64	31,26	30,51
285	10	0,004	32,51	31,82	31,54	31,14	30,45
286	10	0,005	32,54	31,92	31,36	30,89	30,40
287	10	0,006	32,45	31,90	31,30	30,83	30,30
288	10	0,007	32,38	31,82	31,30	30,83	30,33
289	10	0,008	32,45	31,85	31,20	30,76	30,33
290	10	0,009	32,40	31,80	31,17	30,76	30,20
291	10	0,010	32,35	31,73	31,23	30,73	30,40

Tablica Z.7.2

Wybrane wyniki pomiaru temperatur powietrza w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 42^{\circ}\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	100	0,000	41,74	41,56	42,32	42,12	41,92
2	100	0,001	36,48	35,33	35,17	34,03	32,10
3	100	0,002	33,68	31,83	30,37	28,97	27,00
4	100	0,003	31,31	29,33	28,20	27,71	26,20
5	100	0,004	30,11	28,55	27,77	27,24	25,96
6	100	0,005	29,85	28,50	27,40	26,83	25,83
7	100	0,006	29,36	28,00	27,25	26,65	25,67
8	100	0,007	28,94	27,73	27,16	26,40	25,58
9	100	0,008	28,53	27,54	26,77	26,26	25,49
10	100	0,009	28,46	27,32	26,71	26,23	25,40
11	100	0,010	28,14	27,12	26,60	26,10	25,40
12	100	0,011	28,00	27,06	26,42	26,04	25,24
13	100	0,012	27,70	26,87	26,33	25,98	25,28
14	100	0,013	27,67	26,90	26,30	25,98	25,56
15	100	0,014	27,48	26,80	26,17	25,91	25,24
16	100	0,015	27,32	26,68	26,20	25,80	25,15
17	100	0,016	27,22	26,52	26,10	25,82	25,18
18	100	0,017	27,22	26,58	26,00	25,66	25,12
19	100	0,018	27,09	26,46	25,91	25,66	25,38
20	100	0,019	27,12	26,40	25,91	25,69	25,38
21	100	0,020	27,09	26,30	25,85	25,66	25,08
22	100	0,022	27,00	26,20	25,75	25,50	25,02
23	100	0,024	27,00	26,10	25,80	25,43	24,92
24	100	0,026	26,93	26,07	25,56	25,18	25,20
25	100	0,028	26,90	26,00	25,60	25,28	25,02
26	100	0,030	26,70	26,04	25,56	25,28	25,02
27	100	0,032	26,52	26,02	25,79	25,33	25,02
28	100	0,034	26,59	25,97	25,60	25,33	25,02
29	100	0,036	26,45	25,90	25,58	25,39	25,02
30	100	0,038	26,56	25,97	25,67	25,24	25,02
31	100	0,040	26,43	25,85	25,67	25,37	25,02
32	100	0,042	26,43	26,00	25,67	25,39	24,84
33	100	0,044	26,38	25,88	25,53	25,31	25,02
34	100	0,046	26,40	25,90	25,65	25,33	25,02
35	100	0,048	26,40	25,92	25,53	25,39	25,02
36	100	0,050	26,31	25,76	25,49	25,21	24,84
37	100	0,055	26,27	25,88	25,49	25,21	24,84
38	100	0,060	26,34	26,00	25,56	25,21	24,84
39	100	0,065	26,38	25,83	25,40	25,03	24,84
40	100	0,070	26,36	25,90	25,42	25,03	24,84
41	100	0,075	26,38	25,79	25,58	25,03	24,85
42	100	0,080	26,54	25,95	25,56	25,21	24,85
43	100	0,085	26,40	25,90	25,49	25,21	24,85
44	100	0,090	26,61	26,00	25,49	25,15	24,73
45	100	0,095	26,43	25,95	25,51	25,12	24,94
46	100	0,100	26,56	26,00	25,49	25,17	24,78
47	80	0,000	41,92	41,74	41,56	42,12	42,12
48	80	0,001	36,33	34,89	33,97	33,05	31,90

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
49	80	0,002	33,68	31,60	30,17	28,96	27,60
50	80	0,003	31,60	29,76	28,55	27,75	26,71
51	80	0,004	30,80	29,20	28,15	27,11	26,48
52	80	0,005	30,22	28,73	27,86	27,17	26,40
53	80	0,006	29,90	28,61	27,86	27,00	26,40
54	80	0,007	29,73	28,40	27,80	26,94	26,29
55	80	0,008	29,50	28,40	27,66	26,80	26,23
56	80	0,009	29,24	28,21	27,66	26,97	26,21
57	80	0,010	29,07	28,09	27,60	26,94	26,07
58	80	0,011	28,90	27,92	27,40	26,80	26,00
59	80	0,012	28,73	28,00	27,34	26,65	26,07
60	80	0,013	28,67	27,92	27,17	26,54	25,90
61	80	0,014	28,44	27,80	27,17	26,59	25,73
62	80	0,015	28,40	27,75	27,05	26,40	25,93
63	80	0,016	28,27	27,40	27,11	26,40	25,75
64	80	0,017	28,09	27,17	26,77	26,31	25,56
65	80	0,018	28,09	27,34	27,00	26,36	25,56
66	80	0,019	28,03	27,00	26,71	26,31	25,56
67	80	0,020	27,92	27,17	26,65	26,19	25,56
68	80	0,022	27,86	27,11	26,65	26,25	25,56
69	80	0,024	27,80	26,88	26,59	26,13	25,56
70	80	0,026	27,69	26,80	26,59	26,13	25,56
71	80	0,028	27,60	26,80	26,48	26,19	25,38
72	80	0,030	27,46	26,77	26,48	25,94	25,56
73	80	0,032	27,43	26,85	26,48	25,94	25,56
74	80	0,034	27,37	26,73	26,36	25,76	25,38
75	80	0,036	27,31	26,73	26,48	25,94	25,38
76	80	0,038	27,22	26,67	26,48	25,76	25,38
77	80	0,040	27,13	26,73	26,30	25,76	25,20
78	80	0,042	27,10	26,54	26,30	25,76	25,20
79	80	0,044	27,28	26,45	26,30	25,76	25,20
80	80	0,046	27,00	26,57	26,12	25,58	25,20
81	80	0,048	26,91	26,40	26,12	25,58	25,20
82	80	0,050	27,05	26,45	25,94	25,58	25,38
83	80	0,055	26,91	26,33	25,94	25,58	25,20
84	80	0,060	26,87	26,48	26,12	25,58	25,20
85	80	0,065	26,87	26,30	26,11	25,66	25,38
86	80	0,070	26,87	26,30	26,30	25,53	25,32
87	80	0,075	26,87	26,11	26,30	25,62	25,35
88	80	0,080	26,87	26,30	26,30	25,69	25,38
89	70	0,000	42,12	41,92	41,74	41,56	41,56
90	70	0,001	36,40	35,00	33,57	33,11	31,97
91	70	0,002	33,68	32,00	30,70	29,10	28,18
92	70	0,003	31,68	30,48	28,87	28,24	27,38
93	70	0,004	30,99	29,73	28,40	27,60	26,92
94	70	0,005	30,48	29,44	28,24	27,50	26,52
95	70	0,006	29,90	28,99	28,07	27,43	26,40
96	70	0,007	29,73	28,70	28,00	27,20	26,29
97	70	0,008	29,50	28,40	27,66	27,14	26,23
98	70	0,009	29,39	28,30	27,66	26,97	26,21
99	70	0,010	29,33	28,18	27,60	26,98	26,23
100	70	0,011	29,27	28,30	27,72	26,98	26,12
101	70	0,012	29,20	28,18	27,44	27,03	26,12

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
102	70	0,013	29,10	28,00	27,44	27,03	26,06
103	70	0,014	29,04	28,07	27,50	27,03	26,00
104	70	0,015	28,93	28,00	27,38	26,85	25,93
105	70	0,016	28,87	27,78	27,15	26,85	25,75
106	70	0,017	28,76	27,78	26,98	26,66	25,56
107	70	0,018	28,76	27,55	26,98	26,46	25,56
108	70	0,019	28,53	27,55	26,92	26,66	25,56
109	70	0,020	28,53	27,50	26,75	26,48	25,56
110	70	0,022	28,36	27,38	26,75	26,48	25,56
111	70	0,024	28,30	27,44	26,58	26,30	25,56
112	70	0,026	28,30	27,44	26,64	26,30	25,56
113	70	0,028	28,32	27,58	26,52	26,30	25,38
114	70	0,030	28,14	27,39	26,46	25,94	25,56
115	70	0,032	28,14	27,39	26,48	25,94	25,56
116	70	0,034	27,96	27,21	26,67	25,76	25,38
117	70	0,036	27,96	27,21	26,48	25,94	25,38
118	70	0,038	27,77	27,03	26,48	25,76	25,38
119	70	0,040	27,59	27,03	26,30	25,76	25,20
120	70	0,042	27,59	27,03	26,30	25,76	25,20
121	70	0,044	27,59	26,85	26,30	25,76	25,20
122	70	0,046	27,41	26,85	26,12	25,58	25,20
123	70	0,048	27,23	26,67	26,12	25,58	25,20
124	70	0,050	27,05	26,67	25,94	25,58	25,38
125	70	0,055	27,05	26,67	25,94	25,58	25,20
126	70	0,060	26,87	26,48	26,12	25,58	25,20
127	70	0,065	26,87	26,67	26,67	26,30	25,38
128	70	0,070	26,87	26,67	26,30	26,12	25,37
129	60	0,000	42,00	41,95	41,92	41,74	41,80
130	60	0,001	36,75	35,94	34,72	33,24	32,64
131	60	0,002	33,68	32,52	31,33	29,51	28,64
132	60	0,003	32,06	30,90	29,86	28,35	27,36
133	60	0,004	31,25	30,32	28,70	27,60	26,96
134	60	0,005	30,55	29,74	28,40	27,42	26,72
135	60	0,006	30,40	29,64	28,30	27,43	26,67
136	60	0,007	30,14	29,35	28,00	27,20	26,56
137	60	0,008	29,80	29,12	27,66	27,14	26,44
138	60	0,009	29,60	29,00	27,66	26,97	26,21
139	60	0,010	29,60	28,93	27,65	27,07	26,26
140	60	0,011	29,45	28,80	27,65	26,96	26,20
141	60	0,012	29,28	28,58	27,48	26,84	25,97
142	60	0,013	29,28	28,64	27,54	26,72	25,93
143	60	0,014	29,28	28,35	27,48	26,84	25,93
144	60	0,015	29,04	28,35	27,42	26,80	25,93
145	60	0,016	29,04	28,35	27,36	26,84	25,93
146	60	0,017	29,04	28,12	27,25	26,55	25,93
147	60	0,018	28,99	27,94	27,30	26,66	25,93
148	60	0,019	28,87	27,94	27,25	26,48	25,56
149	60	0,020	28,80	27,88	27,30	26,66	25,56
150	60	0,022	28,70	27,83	27,20	26,66	25,75
151	60	0,024	28,58	27,48	27,13	26,66	25,56
152	60	0,026	28,46	27,65	27,21	26,48	25,56
153	60	0,028	28,35	27,54	27,21	26,66	25,75
154	60	0,030	28,29	27,60	26,85	26,30	25,38

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
155	60	0,032	28,44	27,52	26,85	26,48	25,56
156	60	0,034	28,14	27,60	26,85	26,48	25,56
157	60	0,036	27,96	27,58	26,85	26,30	25,38
158	60	0,038	27,96	27,58	26,85	26,12	25,38
159	60	0,040	27,77	27,39	26,67	26,12	25,56
160	60	0,042	27,77	27,39	26,67	26,12	25,56
161	60	0,044	27,59	27,21	26,48	25,94	25,38
162	60	0,046	27,77	27,21	26,48	25,94	25,38
163	60	0,048	27,59	27,03	26,48	25,94	25,38
164	60	0,050	27,41	26,85	26,48	25,94	25,38
165	60	0,055	27,23	27,03	26,67	26,30	25,38
166	60	0,060	27,23	27,03	26,48	26,30	25,38
167	50	0,000	42,15	42,25	41,92	41,74	42,00
168	50	0,001	37,12	36,66	35,45	33,94	33,65
169	50	0,002	34,12	33,28	31,68	30,19	29,39
170	50	0,003	32,72	31,74	30,40	29,16	27,78
171	50	0,004	32,08	31,16	29,73	28,47	27,20
172	50	0,005	31,60	30,59	29,50	27,95	26,98
173	50	0,006	31,09	29,96	29,16	27,90	26,87
174	50	0,007	30,80	29,79	29,10	27,72	26,75
175	50	0,008	30,40	29,56	28,64	27,60	26,69
176	50	0,009	30,25	29,56	28,58	27,50	26,58
177	50	0,010	30,00	29,27	28,58	27,60	26,33
178	50	0,011	29,76	29,16	28,36	27,32	26,27
179	50	0,012	29,67	28,99	28,30	27,20	26,40
180	50	0,013	29,60	28,93	28,24	27,20	26,33
181	50	0,014	29,50	28,80	28,07	27,09	26,33
182	50	0,015	29,56	28,87	28,13	27,09	26,29
183	50	0,016	29,39	28,80	27,84	26,98	26,11
184	50	0,017	29,39	28,70	27,78	26,92	25,93
185	50	0,018	29,27	28,48	27,55	26,85	25,93
186	50	0,019	29,20	28,48	27,60	26,80	26,11
187	50	0,020	29,05	28,48	27,38	26,80	25,93
188	50	0,022	28,93	28,24	27,27	26,73	25,95
189	50	0,024	29,05	28,19	27,20	26,56	25,74
190	50	0,026	28,77	27,94	26,92	26,46	25,60
191	50	0,028	28,65	27,94	26,87	26,40	25,56
192	50	0,030	28,71	27,76	26,75	26,12	25,38
193	50	0,032	28,14	27,76	27,03	26,48	25,56
194	50	0,034	28,32	27,76	27,03	26,66	25,75
195	50	0,036	28,00	27,58	27,21	26,66	25,75
196	50	0,038	28,11	27,39	27,21	26,12	25,56
197	50	0,040	27,77	27,50	27,03	26,30	25,75
198	50	0,042	27,77	27,39	27,03	26,30	25,56
199	50	0,044	27,59	27,39	27,03	26,30	25,56
200	50	0,046	27,80	27,35	27,03	26,36	25,60
201	50	0,048	27,95	27,21	26,85	26,51	25,52
202	50	0,050	27,80	26,85	26,48	26,30	25,52
203	40	0,0000	42,32	42,12	41,92	41,74	41,56
204	40	0,0005	40,54	39,39	38,47	37,56	35,89
205	40	0,0010	38,62	37,94	36,66	34,84	33,92
206	40	0,0015	37,05	36,49	35,34	33,57	33,01
207	40	0,0020	36,14	35,39	34,48	32,84	31,92

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
208	40	0,0025	35,59	34,85	33,57	32,48	31,20
209	40	0,0035	34,68	33,58	33,02	31,75	29,93
210	40	0,0045	33,77	32,85	32,30	31,02	29,15
211	40	0,0055	33,41	32,48	31,57	30,48	28,80
212	40	0,0065	33,05	31,76	30,48	29,93	28,29
213	40	0,0075	32,14	31,39	30,12	29,57	28,29
214	40	0,0085	31,77	31,21	29,94	29,03	27,74
215	40	0,0095	31,41	30,85	29,57	28,66	27,38
216	40	0,0105	31,23	30,48	29,57	28,30	27,38
217	40	0,0115	30,87	30,12	29,21	28,12	27,20
218	40	0,0125	30,87	29,94	29,03	27,94	27,20
219	40	0,0135	30,68	29,76	28,85	27,94	27,02
220	40	0,0145	30,50	29,58	28,48	27,75	27,02
221	40	0,0150	30,50	29,39	28,48	27,75	27,02
222	40	0,0160	30,32	29,39	28,48	27,75	26,65
223	40	0,0170	30,14	29,21	28,30	27,57	26,65
224	40	0,0180	29,96	28,85	28,30	27,57	26,47
225	40	0,0190	29,77	28,67	28,12	27,39	26,47
226	40	0,0200	29,77	28,48	27,94	27,21	26,29
227	40	0,0210	29,59	28,48	27,94	27,03	26,29
228	40	0,0220	29,41	28,48	27,94	27,21	26,29
229	40	0,0240	29,41	28,48	27,94	26,85	25,93
230	40	0,0260	29,23	28,30	27,57	26,66	25,93
231	40	0,0280	29,05	28,30	27,21	26,66	25,93
232	40	0,0300	29,05	28,12	27,21	26,66	25,93
233	40	0,0320	29,05	28,12	27,21	26,48	25,93
234	40	0,0340	29,05	28,12	27,21	26,48	25,93
235	40	0,0360	29,05	27,94	27,21	26,48	25,93
236	40	0,0380	29,05	27,94	27,21	26,48	25,93
237	40	0,0400	28,87	27,94	27,21	26,48	25,93
238	30	0,000	41,56	41,80	42,00	41,74	41,74
239	30	0,001	39,68	39,60	38,70	37,11	35,93
240	30	0,002	38,34	38,00	36,13	34,90	32,33
242	30	0,003	37,06	36,54	34,90	33,72	30,80
241	30	0,004	36,44	35,72	34,40	32,89	30,07
243	30	0,005	36,29	35,36	33,87	32,48	29,66
244	30	0,006	35,72	34,59	33,31	32,00	29,30
245	30	0,007	35,52	34,28	33,10	31,71	28,83
246	30	0,008	35,26	34,18	32,80	31,51	28,63
247	30	0,009	35,05	34,13	32,69	31,30	28,40
248	30	0,010	35,16	33,92	32,48	31,20	28,32
249	30	0,011	34,54	33,67	32,33	31,04	28,40
250	30	0,012	34,90	33,72	32,12	30,99	28,11
251	30	0,013	34,49	33,51	32,12	30,99	28,32
252	30	0,014	34,49	33,72	31,97	30,94	28,16
253	30	0,015	34,54	33,56	31,92	30,63	28,11
254	30	0,016	34,40	33,60	31,76	30,89	28,22
255	30	0,017	34,33	33,36	31,76	30,74	28,06
256	30	0,018	34,40	33,41	31,66	30,68	28,27
257	30	0,019	34,13	33,36	31,81	30,84	28,16
258	30	0,020	34,33	33,36	31,66	30,63	28,27
259	30	0,022	34,23	33,20	31,60	30,63	28,06
260	30	0,024	34,13	33,15	31,66	30,68	28,00

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
261	30	0,026	34,23	33,10	31,56	30,58	28,22
262	30	0,028	34,40	33,20	31,60	30,48	27,96
263	30	0,030	34,13	33,10	31,56	30,43	28,00
264	20	0,000	41,68	41,56	41,92	42,12	41,56
265	20	0,001	41,64	40,99	40,19	39,24	37,38
266	20	0,002	41,39	40,29	39,04	38,29	34,83
267	20	0,003	41,60	39,74	38,64	37,43	33,17
268	20	0,004	41,20	39,24	37,68	36,33	31,87
269	20	0,005	41,20	39,04	37,13	35,28	30,80
270	20	0,006	41,14	38,84	36,98	35,08	30,40
271	20	0,007	41,24	38,64	36,63	34,80	29,76
272	20	0,008	41,09	38,59	36,43	34,58	29,56
273	20	0,009	41,04	38,29	36,28	34,58	28,96
274	20	0,010	41,14	38,44	36,23	34,43	28,86
275	20	0,011	41,04	38,34	36,13	34,33	28,76
276	20	0,012	41,04	38,24	36,13	34,33	28,91
277	20	0,013	40,80	38,29	36,03	34,23	28,36
278	20	0,014	40,94	38,19	35,93	34,18	28,56
279	20	0,015	41,04	38,14	36,03	34,08	28,46
280	20	0,016	40,84	38,09	35,83	34,28	28,56
281	20	0,017	41,04	38,09	36,03	34,18	28,36
282	20	0,018	40,89	38,09	35,53	34,28	28,27
283	20	0,019	40,84	37,88	35,93	34,18	28,36
284	20	0,020	40,80	38,09	35,83	34,28	28,36
285	10	0,000	42,12	42,12	42,10	41,90	41,90
286	10	0,001	41,79	41,69	41,60	40,94	40,54
287	10	0,002	41,84	41,60	41,24	40,40	39,44
288	10	0,003	42,00	41,39	40,80	40,09	38,49
289	10	0,004	41,79	41,14	40,34	39,29	38,00
290	10	0,005	42,05	41,04	39,79	38,49	37,20
291	10	0,006	42,00	40,99	39,74	38,29	36,83
292	10	0,007	41,84	40,94	39,54	38,14	36,43
293	10	0,008	42,00	40,89	39,44	37,93	36,28
294	10	0,009	41,94	40,89	39,44	37,83	36,23
295	10	0,010	41,84	40,84	39,44	37,63	36,13

Tablica Z.7.3

Wybrane wyniki pomiaru temperatur powietrza w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 50,5 \text{ }^\circ\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	100	0,000	50,68	50,31	50,71	50,68	50,23
2	100	0,001	42,27	41,33	39,60	38,80	37,46
3	100	0,002	38,35	37,40	35,95	34,37	32,67
4	100	0,003	36,40	34,95	33,40	32,00	29,67
5	100	0,004	34,89	33,57	32,35	30,46	28,46
6	100	0,005	33,05	31,90	30,40	28,90	26,92
7	100	0,006	31,90	30,57	29,36	28,15	26,36
8	100	0,007	30,92	29,53	28,50	27,29	25,73
9	100	0,008	30,34	28,96	27,86	26,80	25,40
10	100	0,009	29,53	28,55	27,60	26,36	25,50
11	100	0,010	29,48	28,27	27,11	26,40	25,27
12	100	0,011	28,55	27,75	27,00	26,25	25,15
13	100	0,012	28,32	27,46	26,65	25,96	25,04
14	100	0,013	28,15	27,29	26,77	25,90	25,26
15	100	0,014	27,80	27,05	26,77	26,00	25,15
16	100	0,015	27,69	26,88	26,65	25,73	24,86
17	100	0,016	27,86	26,65	26,54	25,84	24,80
18	100	0,017	27,40	26,54	26,31	25,80	25,00
19	100	0,018	27,20	26,48	26,36	25,50	24,80
20	100	0,019	27,20	26,40	26,13	25,56	24,86
21	100	0,020	27,17	26,25	26,00	25,40	24,80
22	100	0,022	26,95	26,31	25,96	25,40	24,75
23	100	0,024	26,80	26,22	25,90	25,33	24,86
24	100	0,026	26,72	26,26	26,07	25,33	24,77
25	100	0,028	26,64	26,15	25,90	25,40	24,77
26	100	0,030	26,68	26,13	25,90	25,33	24,77
27	100	0,032	26,56	26,03	25,84	25,31	24,77
28	100	0,034	26,56	26,00	25,88	25,31	24,80
29	100	0,036	26,45	25,92	25,73	25,27	24,77
30	100	0,038	26,37	25,88	25,73	25,31	24,73
31	100	0,040	26,46	25,84	25,76	25,20	24,73
32	100	0,042	26,30	25,88	25,69	25,23	24,85
33	100	0,044	26,45	25,92	25,53	25,15	24,69
34	100	0,046	26,22	25,80	25,50	25,15	24,92
35	100	0,048	26,26	25,80	25,50	25,11	24,66
36	100	0,050	26,11	25,84	25,57	25,08	24,77
37	100	0,055	26,11	25,60	25,42	25,15	24,77
38	100	0,060	26,07	25,57	25,38	25,00	24,85
39	100	0,065	25,88	25,50	25,38	25,11	24,73
40	100	0,070	25,92	25,46	25,34	25,08	24,77
41	100	0,075	25,65	25,31	25,20	24,96	24,77
42	100	0,080	25,76	25,34	25,04	24,89	24,69
43	100	0,085	25,65	25,23	25,20	24,92	24,73
44	100	0,090	25,57	25,15	25,08	25,00	24,66
45	100	0,095	25,34	25,15	25,04	24,62	24,73
46	100	0,100	25,42	25,11	24,96	24,85	24,62
47	80	0,000	50,68	50,23	50,42	50,23	50,23
48	80	0,001	42,00	41,23	39,07	37,72	36,89
49	80	0,002	38,84	38,00	36,49	35,06	33,60

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
50	80	0,003	36,84	36,00	34,32	33,00	31,15
51	80	0,004	35,52	34,14	32,54	30,93	29,62
52	80	0,005	33,97	32,71	31,00	29,67	28,47
53	80	0,006	32,54	31,28	30,30	29,04	27,67
54	80	0,007	31,56	30,36	29,40	28,24	27,09
55	80	0,008	31,20	29,56	28,80	27,72	26,64
56	80	0,009	30,48	29,04	28,30	27,20	26,23
57	80	0,010	29,73	28,53	27,84	26,87	25,95
58	80	0,011	29,20	28,07	27,32	26,46	25,60
59	80	0,012	28,80	27,80	27,15	26,23	25,43
60	80	0,013	28,36	27,44	26,69	26,00	25,26
61	80	0,014	28,36	27,32	26,64	25,89	25,43
62	80	0,015	27,90	27,09	26,60	25,83	25,15
63	80	0,016	27,60	26,87	26,35	25,60	25,00
64	80	0,017	27,60	26,87	26,20	25,66	25,09
65	80	0,018	27,44	26,75	26,23	25,66	25,03
66	80	0,019	27,50	26,69	26,20	25,40	24,92
67	80	0,020	27,44	26,69	26,20	25,55	24,92
68	80	0,022	27,35	26,75	26,23	25,60	25,00
69	80	0,024	27,30	26,69	26,06	25,49	24,69
70	80	0,026	27,35	26,75	26,29	25,49	24,69
71	80	0,028	27,20	26,75	26,20	25,55	24,92
72	80	0,030	27,25	26,75	26,06	25,55	24,86
73	80	0,032	27,07	26,57	26,00	25,48	24,88
74	80	0,034	26,89	26,43	25,89	25,38	24,80
75	80	0,036	26,94	26,25	25,84	25,38	24,93
76	80	0,038	26,84	26,52	25,79	25,38	24,93
77	80	0,040	26,80	26,43	25,79	25,38	24,97
78	80	0,042	26,75	26,43	25,84	25,38	24,93
79	80	0,044	26,71	26,34	25,79	25,38	25,06
80	80	0,046	26,66	26,30	25,66	25,34	24,93
81	80	0,048	26,52	26,30	25,66	25,34	25,02
82	80	0,050	26,52	26,11	25,60	25,25	24,97
83	80	0,055	26,34	26,07	25,43	25,11	24,97
84	80	0,060	26,21	26,07	25,52	25,16	25,02
85	80	0,065	26,07	25,89	25,57	25,25	25,02
86	80	0,070	26,16	25,93	25,48	25,11	24,97
87	80	0,075	26,07	25,79	25,48	25,25	24,97
88	80	0,080	26,11	25,89	25,52	25,20	24,93
89	70	0,000	50,68	50,31	50,68	50,68	50,31
90	70	0,001	42,00	41,23	39,62	37,85	36,89
91	70	0,002	38,93	38,13	36,89	35,20	33,65
92	70	0,003	36,93	36,16	34,88	33,20	31,80
93	70	0,004	35,68	34,54	33,56	32,00	29,82
94	70	0,005	34,14	33,00	31,92	30,32	28,55
95	70	0,006	33,12	31,86	30,60	29,36	27,93
96	70	0,007	32,80	30,84	29,75	28,44	27,30
97	70	0,008	31,46	30,00	29,24	27,80	26,80
98	70	0,009	30,55	29,47	28,50	27,53	26,51
99	70	0,010	30,04	29,07	28,33	27,20	26,17
100	70	0,011	29,53	28,33	27,60	26,68	25,94
101	70	0,012	29,24	28,16	27,53	26,51	25,77
102	70	0,013	29,30	27,87	27,13	26,20	25,60

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
103	70	0,014	28,40	27,48	26,85	26,20	25,31
104	70	0,015	28,33	27,48	26,91	26,05	25,31
105	70	0,016	28,27	27,25	26,68	26,05	25,20
106	70	0,017	28,16	27,30	26,60	26,00	25,31
107	70	0,018	27,93	27,36	26,60	26,00	25,00
108	70	0,019	28,05	27,20	26,51	25,80	25,14
109	70	0,020	28,10	27,13	26,68	25,94	25,20
110	70	0,022	28,05	27,20	26,56	26,00	25,00
111	70	0,024	28,10	27,13	26,60	26,00	25,14
112	70	0,026	28,05	27,20	26,45	25,94	24,91
113	70	0,028	27,80	27,00	26,34	25,77	25,08
114	70	0,030	27,82	27,08	26,40	25,65	25,00
115	70	0,032	27,60	26,97	26,60	25,60	24,97
116	70	0,034	27,71	26,92	26,40	25,76	24,80
117	70	0,036	27,60	26,97	26,55	25,76	24,97
118	70	0,038	27,40	26,71	26,29	25,60	24,97
119	70	0,040	27,55	26,71	26,40	25,60	24,91
120	70	0,042	27,24	26,60	26,18	25,65	24,70
121	70	0,044	27,24	26,60	26,18	25,49	24,80
122	70	0,046	26,97	26,50	26,18	25,60	24,65
123	70	0,048	26,97	26,50	26,08	25,55	24,86
124	70	0,050	27,03	26,50	26,08	25,49	24,80
125	70	0,055	26,80	26,45	25,76	25,39	24,75
126	70	0,060	26,87	26,45	26,00	25,39	24,70
127	70	0,065	26,66	26,23	25,65	25,34	24,80
128	70	0,070	26,66	26,18	25,60	25,28	24,75
129	60	0,000	50,42	50,42	50,42	50,68	50,42
130	60	0,001	42,00	41,23	39,80	38,40	37,00
131	60	0,002	39,50	38,29	37,14	35,87	34,55
132	60	0,003	37,26	36,28	35,20	33,97	32,07
133	60	0,004	35,80	34,89	33,68	32,40	30,60
134	60	0,005	34,60	33,28	32,30	30,92	29,13
135	60	0,006	33,57	32,30	31,20	29,88	28,32
136	60	0,007	32,80	31,44	30,40	29,20	27,86
137	60	0,008	32,24	30,92	29,76	28,60	27,34
138	60	0,009	31,49	30,20	29,24	28,27	27,17
139	60	0,010	31,00	29,53	28,73	27,86	26,88
140	60	0,011	30,60	29,30	28,44	27,63	26,60
141	60	0,012	30,05	29,13	28,15	27,46	26,36
142	60	0,013	29,71	28,73	27,92	27,29	26,20
143	60	0,014	29,36	28,27	27,69	27,05	25,96
144	60	0,015	29,07	28,15	27,52	26,88	26,25
145	60	0,016	28,84	28,00	27,40	26,71	25,96
146	60	0,017	28,60	27,75	27,11	26,60	25,73
147	60	0,018	28,44	27,46	27,05	26,54	25,84
148	60	0,019	28,44	27,52	26,94	26,54	25,73
149	60	0,020	28,44	27,52	26,94	26,48	25,67
150	60	0,022	28,50	27,40	27,00	26,40	25,56
151	60	0,024	28,55	27,60	26,77	26,31	25,27
152	60	0,026	28,30	27,52	26,71	26,25	25,20
153	60	0,028	28,30	27,20	26,65	26,07	25,10
154	60	0,030	28,20	27,20	26,60	26,07	25,15
155	60	0,032	28,20	27,10	26,60	26,00	25,04

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
156	60	0,034	28,34	27,51	26,87	25,95	25,13
157	60	0,036	28,06	27,33	26,50	25,86	25,13
158	60	0,038	28,15	27,20	26,40	25,60	25,13
159	60	0,040	27,80	27,20	26,50	25,68	25,04
160	60	0,042	27,88	27,15	26,50	25,68	25,04
161	60	0,044	28,00	26,80	26,50	25,68	25,04
162	60	0,046	27,79	27,20	26,32	25,68	25,13
163	60	0,048	27,79	26,80	26,40	25,60	24,95
164	60	0,050	27,88	26,80	26,23	25,50	24,85
165	60	0,055	27,69	26,60	26,32	25,60	24,95
166	60	0,060	27,69	26,87	26,23	25,50	24,85
167	50	0,000	50,68	51,10	51,10	50,68	50,68
168	50	0,001	42,60	42,12	41,00	39,87	38,54
169	50	0,002	40,06	38,45	37,77	36,53	35,38
170	50	0,003	37,77	36,71	35,70	34,46	32,20
171	50	0,004	36,07	35,06	34,00	32,66	31,44
172	50	0,005	35,15	33,80	32,72	31,75	29,80
173	50	0,006	34,14	32,94	31,91	30,65	28,93
174	50	0,007	33,40	32,08	31,16	29,96	28,40
175	50	0,008	32,80	31,60	30,80	29,44	28,07
176	50	0,009	32,54	31,20	30,48	29,10	27,55
177	50	0,010	31,79	30,88	30,00	28,64	27,32
178	50	0,011	31,34	30,59	29,44	28,24	27,20
179	50	0,012	31,16	30,07	28,99	27,90	26,92
180	50	0,013	30,99	29,79	28,76	27,84	26,64
181	50	0,014	30,65	29,56	28,36	27,55	26,40
182	50	0,015	30,40	29,44	28,07	27,20	26,23
183	50	0,016	30,19	29,27	28,07	27,15	26,40
184	50	0,017	30,25	28,93	27,84	27,09	26,06
185	50	0,018	30,13	28,80	27,84	26,98	26,29
186	50	0,019	30,07	29,16	27,72	26,92	25,95
187	50	0,020	29,96	28,93	27,84	26,98	25,95
188	50	0,022	29,96	28,80	27,78	26,80	25,78
189	50	0,024	29,79	28,80	27,60	26,64	25,60
190	50	0,026	30,19	28,70	27,60	26,75	25,43
191	50	0,028	29,96	28,64	27,50	26,46	25,32
192	50	0,030	29,76	28,70	27,44	26,58	25,49
193	50	0,032	29,49	28,49	27,60	26,48	25,38
194	50	0,034	29,49	28,30	27,20	26,11	25,29
195	50	0,036	29,31	28,21	27,48	26,40	25,20
196	50	0,038	29,31	28,40	27,30	26,30	25,20
197	50	0,040	29,40	28,40	27,39	26,40	25,11
198	50	0,042	29,40	28,40	27,48	26,40	25,29
199	50	0,044	29,31	28,40	27,48	26,30	25,11
200	50	0,046	29,31	28,30	27,30	26,30	25,20
201	50	0,048	29,13	28,40	27,48	26,30	25,29
202	50	0,050	28,85	28,00	27,39	26,30	25,48
203	40	0,000	50,68	50,31	50,42	50,68	50,23
204	40	0,001	42,78	42,35	42,01	40,11	40,45
205	40	0,002	38,91	38,49	37,56	35,20	35,38
206	40	0,003	38,22	37,21	36,11	34,57	34,13
207	40	0,004	35,91	35,26	33,95	33,13	32,00
208	40	0,005	35,12	34,30	33,57	31,82	30,29

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
209	40	0,006	34,14	33,21	32,30	31,02	29,93
210	40	0,007	33,59	32,85	31,75	30,48	28,83
211	40	0,008	33,05	32,12	31,57	30,30	28,65
212	40	0,009	32,68	31,76	31,03	29,93	27,93
213	40	0,010	32,50	31,58	30,48	29,21	27,74
214	40	0,011	32,32	31,39	30,30	29,03	27,56
215	40	0,012	32,32	31,21	30,12	28,48	27,38
216	40	0,013	31,96	30,85	29,94	28,48	27,02
217	40	0,014	31,77	30,67	29,39	27,94	26,84
218	40	0,015	31,41	30,67	29,21	27,75	26,84
219	40	0,016	31,59	30,67	29,39	27,94	26,84
220	40	0,017	31,59	30,48	29,39	27,75	26,65
221	40	0,018	31,41	30,30	29,03	27,75	26,84
222	40	0,019	30,87	30,30	29,21	27,57	26,29
223	40	0,020	30,87	30,12	28,85	27,57	26,47
224	40	0,021	30,50	29,94	28,85	27,57	26,29
225	40	0,022	30,50	29,76	28,85	27,57	26,29
226	40	0,024	30,68	29,39	28,85	27,57	26,47
227	40	0,026	30,50	29,39	28,66	27,21	26,11
228	40	0,028	30,14	29,21	28,48	27,21	26,11
229	40	0,030	30,14	29,21	28,30	27,21	26,29
230	40	0,032	30,14	29,03	28,12	26,85	26,11
231	40	0,034	29,96	29,03	27,94	26,85	26,11
232	40	0,036	30,14	29,03	27,39	26,85	26,11
233	40	0,038	30,14	29,03	27,39	26,66	25,93
234	40	0,040	30,14	29,03	27,39	26,66	25,93
235	30	0,000	50,68	50,31	50,42	50,68	50,23
236	30	0,001	50,00	47,60	44,22	42,45	40,45
237	30	0,002	48,95	46,14	42,13	38,92	36,80
238	30	0,003	47,60	44,54	40,13	36,76	33,79
239	30	0,004	47,27	43,50	38,28	35,07	32,37
240	30	0,005	46,70	42,53	37,40	34,27	31,20
242	30	0,006	46,14	41,60	36,60	33,55	30,74
241	30	0,007	45,66	41,09	36,28	33,20	30,26
243	30	0,008	45,50	40,40	35,55	32,74	29,94
244	30	0,009	45,20	40,05	35,39	32,10	29,86
245	30	0,010	44,94	39,72	35,07	32,18	29,54
246	30	0,011	45,10	39,60	34,80	31,86	29,20
247	30	0,012	44,54	39,48	34,67	31,60	29,54
248	30	0,013	44,62	39,08	34,40	31,78	29,60
249	30	0,014	44,70	38,84	34,35	31,60	29,46
250	30	0,015	44,40	38,92	34,19	31,46	29,30
251	30	0,016	44,54	38,60	34,11	31,60	29,13
252	30	0,017	44,06	38,92	34,11	31,54	29,13
253	30	0,018	44,00	38,68	34,00	31,60	28,97
254	30	0,019	44,14	38,52	34,00	31,46	28,97
255	30	0,020	44,30	38,60	33,79	31,38	28,97
256	30	0,022	43,82	38,60	33,95	31,30	28,73
257	30	0,024	44,00	38,60	33,79	31,38	28,73
258	30	0,026	43,82	38,52	33,87	31,20	28,40
259	30	0,028	43,90	38,44	33,95	31,46	28,40
260	30	0,030	43,60	38,00	33,79	31,30	28,33
261	20	0,000	51,06	50,95	50,86	50,74	51,13

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
262	20	0,001	51,01	50,65	50,09	48,65	45,02
263	20	0,002	50,92	50,60	49,68	47,67	42,13
264	20	0,003	50,95	50,49	49,37	46,89	40,85
265	20	0,004	50,90	50,40	49,11	46,12	39,60
266	20	0,005	50,76	50,28	48,80	45,40	39,00
267	20	0,006	50,72	50,09	48,75	45,42	38,52
268	20	0,007	50,72	50,09	48,54	45,02	37,96
269	20	0,008	50,69	50,09	48,44	44,70	37,60
270	20	0,009	50,67	49,89	48,34	44,46	37,20
271	20	0,010	50,67	50,04	48,34	44,46	37,00
272	20	0,011	50,58	49,89	48,29	44,40	36,80
273	20	0,012	50,58	49,89	48,08	44,22	36,60
274	20	0,013	50,67	49,83	48,13	44,22	36,52
275	20	0,014	50,60	49,94	48,08	44,40	36,52
276	20	0,015	50,65	49,83	48,00	44,14	36,28
277	20	0,016	50,65	49,94	47,93	44,00	36,19
278	20	0,017	50,58	49,78	48,00	43,90	36,11
279	20	0,018	50,40	49,83	47,82	43,82	36,11
280	20	0,019	50,45	49,83	47,93	44,06	36,11
281	20	0,020	50,45	49,78	47,83	43,82	35,71
282	10	0,000	51,21	51,13	50,96	51,21	51,13
283	10	0,001	51,19	51,05	50,46	50,34	49,52
284	10	0,002	51,19	50,76	50,09	49,85	48,65
285	10	0,003	51,18	50,67	49,71	49,35	47,51
286	10	0,004	51,18	50,34	49,46	48,96	46,46
287	10	0,005	51,22	50,18	49,21	48,56	45,97
288	10	0,006	51,16	50,28	49,08	48,45	45,71
289	10	0,007	51,17	50,04	48,92	48,28	45,45
290	10	0,008	51,22	50,13	48,76	48,20	45,09
291	10	0,009	51,16	49,97	48,57	48,00	44,93
292	10	0,010	51,18	50,04	48,58	47,87	44,88

Tablica Z.7.5

Wybrane wyniki pomiaru temperatur powietrza w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w=35,5^{\circ}\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	40	0,0	35,59	35,58	35,57	35,38	35,56
2	40	0,5	34,50	33,94	33,57	32,84	32,29
3	40	1,0	33,23	33,03	32,84	31,75	31,56
4	40	1,5	32,68	32,30	31,75	31,39	30,83
5	40	2,0	32,14	31,76	31,39	30,48	30,11
6	40	2,5	31,77	31,58	31,39	30,12	29,93
7	40	3,0	31,41	31,21	31,03	29,93	29,20
8	40	3,5	31,23	30,85	30,66	29,39	29,02
9	40	4,0	31,05	30,67	30,12	29,21	28,65
10	40	4,5	30,87	30,48	29,94	29,21	28,47
11	40	5,0	30,68	30,30	29,94	29,03	28,47
12	40	5,5	30,50	30,12	29,75	28,84	28,29
13	40	6,0	30,32	29,94	29,39	28,66	28,11
14	40	6,5	30,14	29,76	29,39	28,48	27,38
15	40	7,0	29,96	29,58	29,21	28,12	27,38
16	40	7,5	29,96	29,58	29,03	27,94	27,20
17	40	8,0	29,77	29,39	28,85	27,94	27,02
18	40	8,5	29,77	29,39	28,66	27,75	26,84
19	40	9,0	29,59	29,21	28,48	27,57	26,84
20	40	9,5	29,59	29,21	28,48	27,57	26,65
21	40	10,0	29,41	29,03	28,30	27,39	26,65
22	40	10,5	29,41	29,03	28,48	27,39	26,47
23	40	11,0	29,23	28,85	28,12	27,39	26,47
24	40	11,5	29,23	28,85	28,12	27,21	26,47
25	40	12,0	29,23	28,67	27,94	27,21	26,47
26	40	12,5	29,05	28,67	27,76	27,21	26,29
27	40	13,0	29,05	28,67	27,76	27,03	26,29
28	40	13,5	28,87	28,48	27,94	27,03	26,29
29	40	14,0	28,87	28,48	27,76	27,03	26,11
30	40	14,5	28,87	28,48	27,76	26,85	26,11
31	40	15,0	28,68	28,30	27,76	26,66	26,11
32	40	16,0	28,68	28,30	27,57	26,85	26,11
33	40	17,0	28,68	28,30	27,57	26,66	25,93
34	40	18,0	28,68	28,12	27,57	26,66	26,11
35	40	19,0	28,50	28,12	27,39	26,66	25,93
36	40	20,0	28,50	28,12	27,39	26,66	26,11
37	40	21,0	28,50	28,12	27,21	26,66	25,93
38	40	22,0	28,50	27,94	27,21	26,48	25,93
39	40	24,0	28,32	27,94	27,21	26,66	26,11
40	40	26,0	28,32	27,94	27,03	26,66	26,11
41	40	28,0	28,32	27,58	27,03	26,48	25,93
42	40	30,0	28,32	27,76	26,85	26,30	25,93
43	40	32,0	28,14	27,76	26,85	26,30	25,93
44	40	34,0	28,14	27,58	26,85	26,48	26,11
45	40	36,0	28,14	27,58	26,85	26,30	25,93
46	40	38,0	28,14	27,58	26,67	26,12	25,93
47	40	40,0	27,96	27,39	26,85	26,12	25,93

Tablica Z.7.6

Wybrane wyniki pomiaru temperatur powietrza w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 66,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	40	0,000	66,84	67,22	66,71	66,23	66,73
2	40	0,001	47,59	46,85	46,64	44,10	43,55
3	40	0,002	43,23	42,67	42,29	41,56	39,74
4	40	0,003	41,05	40,49	40,11	39,01	37,38
5	40	0,004	39,77	39,21	38,47	37,56	35,74
6	40	0,005	38,87	38,30	37,20	35,93	33,56
7	40	0,006	37,77	37,21	36,29	33,93	32,65
8	40	0,007	37,23	36,30	35,02	32,84	31,74
9	40	0,008	36,32	35,58	34,29	31,93	30,83
10	40	0,009	36,14	35,03	33,75	31,39	30,29
11	40	0,010	35,59	34,67	32,84	30,84	29,20
12	40	0,011	35,23	33,94	32,66	30,48	28,65
13	40	0,012	34,50	33,39	32,12	30,12	28,29
14	40	0,013	34,32	32,85	31,93	29,21	28,11
15	40	0,014	33,77	32,67	31,03	29,21	27,38
16	40	0,015	33,59	32,48	31,03	29,03	26,84
17	40	0,016	33,41	32,12	30,48	29,03	26,84
18	40	0,017	32,87	31,94	30,48	28,48	26,47
19	40	0,018	32,68	31,94	30,12	28,30	26,11
20	40	0,019	32,50	31,76	30,12	28,30	26,11
21	40	0,020	32,32	31,58	29,94	28,12	26,11
22	40	0,021	32,32	31,58	29,94	27,94	26,11
23	40	0,022	32,14	31,39	29,21	27,94	26,11
24	40	0,024	31,59	31,03	29,21	27,75	26,11
25	40	0,026	31,59	30,85	29,21	27,94	26,11
26	40	0,028	31,59	30,48	29,21	27,94	26,11
27	40	0,030	31,59	30,48	29,03	27,75	25,93
28	40	0,032	31,59	30,30	29,03	27,39	25,93
29	40	0,034	31,41	30,30	28,85	27,39	25,93
30	40	0,036	31,41	30,12	28,85	27,39	25,93
31	40	0,038	31,23	29,94	28,85	27,39	25,93
32	40	0,040	31,23	29,94	29,03	27,21	25,93

Tablica Z.7.7

Wyniki pomiaru temperatur powietrza w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny l [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [m]	Odległość od dolnej krawędzi wymiennika h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	40	0,000	75,77	75,40	75,16	75,15	75,18
2	40	0,001	63,23	62,31	61,72	61,17	60,27
3	40	0,002	51,77	47,76	45,92	43,74	42,28
4	40	0,003	46,68	45,40	42,10	40,47	38,47
5	40	0,004	43,59	42,67	40,29	38,11	36,83
6	40	0,005	42,14	41,58	39,02	36,65	35,20
7	40	0,006	41,05	40,12	38,11	35,75	34,10
8	40	0,007	39,77	38,85	37,02	34,47	33,38
9	40	0,008	39,05	37,94	36,47	34,11	32,47
10	40	0,009	38,68	37,39	35,38	33,20	31,74
11	40	0,010	37,96	36,49	34,66	32,66	31,02
12	40	0,011	36,87	35,94	33,93	32,29	30,65
13	40	0,012	36,32	35,39	33,57	31,93	30,29
14	40	0,013	36,14	34,67	33,39	31,21	29,93
15	40	0,014	35,41	34,30	32,48	30,84	29,56
16	40	0,015	35,23	33,76	32,30	30,66	29,02
17	40	0,016	34,87	33,39	32,30	30,12	28,65
18	40	0,017	34,68	33,21	32,12	30,30	28,65
19	40	0,018	34,68	33,03	31,75	30,30	28,29
20	40	0,019	34,32	32,85	31,57	29,75	27,93
21	40	0,020	34,14	32,67	31,21	29,75	27,74
22	40	0,021	34,14	32,67	31,21	29,57	27,74
23	40	0,022	33,96	32,48	31,03	29,21	27,20
24	40	0,024	33,59	32,30	30,84	29,03	27,02
25	40	0,026	33,41	31,94	30,30	28,66	26,65
26	40	0,028	32,87	31,94	30,30	28,66	26,84
27	40	0,030	32,87	31,58	30,30	28,66	26,84
28	40	0,032	32,68	31,58	30,30	28,48	26,84
29	40	0,034	32,68	31,39	29,57	28,48	26,65
30	40	0,036	32,68	31,39	29,57	28,48	26,65
31	40	0,038	32,68	31,39	29,57	28,48	26,65
32	40	0,040	32,68	31,39	29,57	28,48	26,65

Z.7.2. Pomiary prędkości powietrza w szczelinie

Tablica Z.7.8

Wyniki pomiaru prędkości powietrza w [mm/s] w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 32,5$ °C – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [mm/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	200	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	200	10	291,13	261,36	291,13	180,12	155,72
3	200	20	246,99	155,72	121,64	90,57	53,84
4	200	30	132,67	53,84	53,84	53,84	37,49
5	200	40	90,57	37,49	53,84	37,49	22,48
6	200	50	53,84	37,49	45,50	29,82	22,48
7	200	60	37,49	37,49	29,82	22,48	29,82
8	200	70	45,50	37,49	29,82	29,82	22,48
9	200	80	45,50	53,84	37,49	22,48	29,82
10	200	90	37,49	45,50	29,82	29,82	22,48
11	200	100	29,82	37,49	22,48	22,48	22,48
12	200	110	37,49	29,82	29,82	29,82	29,82
13	200	120	37,49	37,49	37,49	29,82	29,82
14	200	130	37,49	37,49	37,49	22,48	37,49
15	200	140	29,82	29,82	45,50	29,82	29,82
16	200	150	37,49	22,48	45,50	22,48	29,82
17	200	160	29,82	29,82	45,50	22,48	22,48
18	200	170	29,82	37,49	37,49	22,48	29,82
19	200	180	22,48	29,82	37,49	29,82	29,82
20	200	190	22,48	22,48	22,48	22,48	22,48
21	200	200	0	0	0	0	0
22	150	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	150	10	322,23	246,99	261,36	261,36	155,72
24	150	20	110,95	90,57	110,95	110,95	53,84
25	150	30	90,57	71,54	53,84	37,49	37,49
26	150	40	62,52	53,84	37,49	37,49	22,48
27	150	50	37,49	37,49	29,82	45,50	29,82
28	150	60	22,48	45,50	22,48	53,84	29,82
29	150	70	29,82	37,49	29,82	45,50	22,48
30	150	80	22,48	29,82	22,48	37,49	29,82
31	150	90	22,48	22,48	29,82	29,82	22,48
32	150	100	22,48	29,82	37,49	29,82	29,82
33	150	110	29,82	22,48	22,48	22,48	29,82
34	150	120	37,49	29,82	29,82	29,82	22,48
35	150	130	29,82	22,48	29,82	29,82	29,82
36	150	140	22,48	37,49	22,48	22,48	22,48
37	150	150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	100	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	100	10	354,67	371,40	322,23	291,13	180,12
40	100	20	276,08	180,12	180,12	155,72	155,72
41	100	30	205,86	121,64	155,72	132,67	132,67

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [mm/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
42	100	40	132,67	100,59	132,67	121,64	110,95
43	100	50	110,95	80,89	110,95	110,95	110,95
44	100	60	90,57	62,52	90,57	110,95	90,57
45	100	70	90,57	62,52	71,54	90,57	71,54
46	100	80	71,54	71,54	71,54	90,57	90,57
47	100	90	71,54	62,52	62,52	71,54	71,54
48	100	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	50	10	460,05	388,46	388,46	322,23	261,36
51	50	20	405,85	354,67	232,94	291,13	219,24
53	50	30	322,23	322,23	205,86	261,36	180,12
54	50	40	155,72	180,12	180,12	205,86	155,72
55	50	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablica Z.7.9

Wyniki pomiaru prędkości powietrza w [m/s] w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 42 \text{ }^\circ\text{C}$ – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	50	2,170	0,413	0,294	0,317	0,290	0,249
3	50	4,340	0,512	0,357	0,393	0,326	0,317
4	50	6,510	0,516	0,442	0,402	0,342	0,445
5	50	8,680	0,536	0,497	0,450	0,378	0,424
6	50	10,850	0,647	0,469	0,501	0,392	0,446
7	50	13,020	0,566	0,482	0,463	0,457	0,367
8	50	15,190	0,596	0,503	0,465	0,445	0,342
9	50	17,360	0,660	0,548	0,488	0,460	0,335
10	50	19,530	0,621	0,546	0,506	0,450	0,424
11	50	21,700	0,575	0,519	0,478	0,452	0,333
12	50	23,870	0,647	0,552	0,488	0,444	0,350
13	50	26,040	0,608	0,512	0,506	0,475	0,363
14	50	28,210	0,623	0,478	0,445	0,459	0,304
15	50	30,380	0,565	0,500	0,420	0,485	0,289
16	50	32,550	0,523	0,456	0,413	0,459	0,312
17	50	34,720	0,541	0,421	0,412	0,458	0,353
18	50	36,890	0,542	0,430	0,463	0,449	0,365
19	50	39,060	0,527	0,425	0,445	0,346	0,277
20	50	41,230	0,451	0,425	0,450	0,400	0,267
21	50	43,400	0,408	0,458	0,402	0,416	0,294
22	50	45,570	0,476	0,450	0,393	0,416	0,259
23	50	47,740	0,454	0,369	0,317	0,387	0,260
24	50	50,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	60	1,820	0,873	0,573	0,273	0,452	0,450
27	60	3,640	0,864	0,701	0,502	0,491	0,482

L.p.	Szerokość szczeliny l [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
28	60	5,460	0,913	0,723	0,663	0,609	0,548
29	60	7,280	0,882	0,792	0,644	0,671	0,610
30	60	9,100	0,901	0,774	0,709	0,672	0,587
31	60	10,920	0,947	0,694	0,691	0,695	0,601
32	60	12,740	0,859	0,650	0,724	0,656	0,579
33	60	14,560	0,884	0,754	0,815	0,633	0,616
34	60	16,380	0,836	0,756	0,676	0,572	0,557
35	60	18,200	0,830	0,681	0,616	0,580	0,540
36	60	20,020	0,858	0,671	0,632	0,581	0,578
37	60	21,840	0,833	0,603	0,618	0,588	0,556
38	60	23,660	0,770	0,720	0,621	0,528	0,517
39	60	25,480	0,725	0,650	0,600	0,560	0,498
40	60	27,300	0,781	0,654	0,729	0,562	0,517
41	60	29,120	0,781	0,637	0,655	0,539	0,498
42	60	30,940	0,817	0,686	0,602	0,510	0,539
43	60	32,760	0,759	0,635	0,657	0,557	0,491
44	60	34,580	0,770	0,609	0,542	0,532	0,517
45	60	36,400	0,738	0,620	0,565	0,579	0,465
46	60	38,220	0,741	0,626	0,557	0,579	0,524
47	60	40,040	0,776	0,680	0,620	0,528	0,538
48	60	41,860	0,653	0,672	0,488	0,527	0,555
49	60	43,680	0,618	0,646	0,565	0,483	0,483
50	60	45,500	0,680	0,657	0,560	0,478	0,531
51	60	47,320	0,673	0,613	0,580	0,481	0,491
53	60	49,140	0,594	0,633	0,557	0,492	0,497
54	60	50,960	0,705	0,624	0,452	0,470	0,444
55	60	52,780	0,687	0,637	0,498	0,470	0,470
56	60	54,600	0,596	0,609	0,430	0,430	0,430
57	60	56,420	0,655	0,572	0,427	0,427	0,427
58	60	58,240	0,600	0,540	0,427	0,427	0,427
59	60	60,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
60	70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
61	70	2,000	0,807	0,532	0,517	0,481	0,404
62	70	4,000	0,800	0,571	0,626	0,516	0,415
63	70	6,000	0,812	0,672	0,640	0,593	0,496
64	70	8,000	0,861	0,721	0,691	0,644	0,521
65	70	10,000	0,928	0,686	0,747	0,643	0,573
66	70	12,000	0,930	0,780	0,635	0,585	0,602
67	70	14,000	0,928	0,775	0,715	0,569	0,600
68	70	16,000	1,027	0,764	0,632	0,524	0,612
69	70	18,000	0,929	0,736	0,670	0,532	0,567
70	70	20,000	0,965	0,703	0,663	0,490	0,520
71	70	22,000	0,847	0,740	0,576	0,527	0,520
72	70	24,000	0,775	0,660	0,625	0,531	0,565
73	70	26,000	0,792	0,635	0,604	0,520	0,562
74	70	28,000	0,764	0,652	0,594	0,551	0,561
75	70	30,000	0,806	0,605	0,608	0,498	0,540
76	70	32,000	0,887	0,640	0,583	0,536	0,529
77	70	34,000	0,762	0,645	0,573	0,529	0,508
78	70	36,000	0,813	0,592	0,556	0,517	0,546
79	70	38,000	0,754	0,619	0,587	0,556	0,504
80	70	40,000	0,717	0,674	0,618	0,566	0,525
81	70	42,000	0,781	0,684	0,620	0,552	0,496

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
82	70	44,000	0,715	0,611	0,573	0,510	0,492
83	70	46,000	0,675	0,601	0,580	0,517	0,524
84	70	48,000	0,705	0,613	0,576	0,453	0,475
85	70	50,000	0,747	0,613	0,580	0,459	0,472
86	70	52,000	0,691	0,648	0,580	0,575	0,475
87	70	54,000	0,743	0,642	0,554	0,493	0,483
88	70	56,000	0,720	0,650	0,571	0,464	0,507
89	70	58,000	0,650	0,656	0,567	0,518	0,478
90	70	60,000	0,736	0,660	0,579	0,444	0,475
91	70	62,000	0,621	0,625	0,546	0,459	0,437
92	70	64,000	0,615	0,573	0,520	0,465	0,484
93	70	66,000	0,635	0,552	0,533	0,465	0,433
94	70	68,000	0,475	0,549	0,525	0,483	0,400
95	70	70,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
96	80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
97	80	2,220	0,501	0,610	0,615	0,568	0,419
98	80	4,440	0,564	0,636	0,661	0,638	0,505
99	80	6,660	0,669	0,661	0,661	0,627	0,558
100	80	8,880	0,783	0,732	0,645	0,618	0,600
101	80	11,100	0,754	0,667	0,659	0,580	0,549
102	80	13,320	0,786	0,680	0,647	0,621	0,529
103	80	15,540	0,763	0,722	0,574	0,545	0,525
104	80	17,760	0,793	0,688	0,527	0,584	0,549
105	80	19,980	0,770	0,614	0,496	0,513	0,523
106	80	22,200	0,765	0,666	0,543	0,559	0,479
107	80	24,420	0,788	0,642	0,504	0,465	0,473
108	80	26,640	0,728	0,749	0,553	0,479	0,473
109	80	28,860	0,726	0,626	0,526	0,484	0,490
110	80	31,080	0,746	0,638	0,496	0,456	0,528
111	80	33,300	0,720	0,656	0,499	0,483	0,535
112	80	35,520	0,676	0,515	0,516	0,418	0,523
113	80	37,740	0,729	0,571	0,582	0,417	0,593
114	80	39,960	0,717	0,598	0,459	0,418	0,565
115	80	42,180	0,717	0,603	0,454	0,449	0,565
116	80	44,400	0,696	0,510	0,456	0,474	0,539
117	80	46,620	0,652	0,559	0,436	0,491	0,512
118	80	48,840	0,753	0,571	0,503	0,475	0,492
119	80	51,060	0,718	0,600	0,450	0,483	0,515
120	80	53,280	0,721	0,572	0,453	0,479	0,525
121	80	55,500	0,671	0,557	0,520	0,481	0,480
122	80	57,720	0,627	0,539	0,435	0,387	0,535
123	80	59,940	0,625	0,549	0,494	0,391	0,529
124	80	62,160	0,586	0,565	0,541	0,384	0,485
125	80	64,380	0,546	0,562	0,508	0,400	0,509
126	80	66,600	0,567	0,577	0,451	0,375	0,525
127	80	68,820	0,596	0,535	0,460	0,371	0,502
128	80	71,040	0,541	0,569	0,500	0,426	0,457
129	80	73,260	0,511	0,582	0,465	0,426	0,503
130	80	75,480	0,467	0,525	0,396	0,450	0,427
131	80	77,700	0,405	0,440	0,519	0,374	0,495
132	80	80,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
133	90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
134	90	2,000	0,499	0,146	0,195	0,248	0,108

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
135	90	4,000	0,522	0,194	0,358	0,370	0,262
136	90	6,000	0,502	0,276	0,380	0,375	0,328
137	90	8,000	0,603	0,380	0,383	0,419	0,287
138	90	10,000	0,635	0,347	0,466	0,432	0,349
139	90	12,000	0,636	0,474	0,458	0,416	0,360
140	90	14,000	0,648	0,411	0,483	0,374	0,332
141	90	16,000	0,683	0,421	0,530	0,422	0,322
142	90	18,000	0,684	0,524	0,483	0,423	0,253
143	90	20,000	0,626	0,543	0,524	0,352	0,266
144	90	22,000	0,654	0,557	0,505	0,344	0,255
145	90	24,000	0,640	0,502	0,430	0,287	0,276
146	90	26,000	0,612	0,494	0,433	0,355	0,222
147	90	28,000	0,634	0,447	0,477	0,270	0,202
148	90	30,000	0,613	0,474	0,333	0,315	0,224
149	90	32,000	0,599	0,458	0,297	0,318	0,193
150	90	34,000	0,637	0,477	0,392	0,329	0,185
151	90	36,000	0,618	0,411	0,351	0,263	0,200
152	90	38,000	0,559	0,377	0,335	0,258	0,182
153	90	40,000	0,585	0,408	0,282	0,227	0,191
154	90	42,000	0,578	0,394	0,347	0,221	0,143
155	90	44,000	0,559	0,372	0,321	0,194	0,160
156	90	46,000	0,555	0,318	0,341	0,152	0,143
157	90	48,000	0,567	0,364	0,285	0,177	0,153
158	90	50,000	0,527	0,361	0,324	0,214	0,158
159	90	52,000	0,497	0,366	0,303	0,222	0,142
160	90	54,000	0,497	0,337	0,297	0,227	0,139
161	90	56,000	0,499	0,318	0,273	0,243	0,154
162	90	58,000	0,490	0,307	0,293	0,204	0,167
163	90	60,000	0,467	0,315	0,276	0,212	0,158
164	90	62,000	0,469	0,318	0,278	0,206	0,158
165	90	64,000	0,431	0,374	0,326	0,229	0,172
166	90	66,000	0,436	0,372	0,339	0,249	0,159
167	90	68,000	0,427	0,370	0,276	0,237	0,158
168	90	70,000	0,496	0,332	0,282	0,267	0,198
169	90	72,000	0,439	0,363	0,301	0,193	0,168
170	90	74,000	0,444	0,364	0,284	0,217	0,173
171	90	76,000	0,478	0,366	0,259	0,208	0,165
172	90	78,000	0,400	0,326	0,251	0,198	0,157
173	90	80,000	0,442	0,336	0,266	0,210	0,161
174	90	82,000	0,430	0,323	0,257	0,212	0,172
175	90	84,000	0,403	0,317	0,225	0,191	0,164
176	90	86,000	0,374	0,314	0,232	0,177	0,176
177	90	88,000	0,391	0,273	0,206	0,172	0,185
178	90	90,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
179	100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
180	100	2,940	0,270	0,101	0,133	0,095	0,155
181	100	5,880	0,375	0,132	0,179	0,132	0,207
182	100	8,820	0,453	0,214	0,255	0,230	0,193
183	100	11,760	0,542	0,376	0,335	0,284	0,258
184	100	14,700	0,519	0,458	0,398	0,315	0,271
185	100	17,640	0,578	0,403	0,440	0,310	0,276
186	100	20,580	0,570	0,468	0,453	0,357	0,320
187	100	23,520	0,593	0,466	0,403	0,328	0,257

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
188	100	26,460	0,604	0,390	0,367	0,273	0,206
189	100	29,400	0,497	0,422	0,317	0,252	0,193
190	100	32,340	0,540	0,343	0,276	0,226	0,154
191	100	35,280	0,481	0,276	0,206	0,186	0,160
192	100	38,220	0,398	0,305	0,247	0,132	0,154
193	100	41,160	0,390	0,234	0,219	0,118	0,140
194	100	44,100	0,340	0,229	0,190	0,143	0,120
195	100	47,040	0,377	0,268	0,146	0,145	0,091
196	100	49,980	0,336	0,208	0,159	0,167	0,091
197	100	52,920	0,346	0,263	0,129	0,167	0,068
198	100	55,860	0,315	0,232	0,146	0,118	0,075
199	100	58,800	0,338	0,208	0,107	0,150	0,078
200	100	61,740	0,312	0,220	0,133	0,140	0,075
201	100	64,680	0,286	0,203	0,108	0,110	0,070
202	100	67,620	0,300	0,240	0,111	0,073	0,060
203	100	70,560	0,312	0,216	0,125	0,128	0,073
204	100	73,500	0,297	0,177	0,143	0,091	0,060
205	100	76,440	0,315	0,203	0,130	0,108	0,070
206	100	79,380	0,302	0,195	0,153	0,139	0,057
207	100	82,320	0,280	0,213	0,122	0,150	0,049
208	100	85,260	0,286	0,216	0,136	0,118	0,057
209	100	88,200	0,247	0,219	0,098	0,140	0,065
210	100	91,140	0,252	0,195	0,140	0,134	0,065
211	100	94,080	0,220	0,180	0,111	0,086	0,044
212	100	97,020	0,198	0,140	0,100	0,115	0,049
213	100	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablica Z.7.10

Wyniki pomiaru prędkości powietrza w [m/s] w szczelinie przy temperaturze ścianki wymiennika równej $T_w = 50,5$ °C – wyciąg z protokołu badań

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
1	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	50	2,00	0,41	0,33	0,36	0,28	0,26
3	50	4,00	0,62	0,44	0,38	0,34	0,36
4	50	6,00	0,65	0,51	0,45	0,40	0,37
5	50	8,00	0,62	0,49	0,51	0,38	0,41
6	50	10,00	0,65	0,52	0,50	0,46	0,40
7	50	12,00	0,68	0,54	0,49	0,44	0,41
8	50	14,00	0,67	0,58	0,50	0,44	0,40
9	50	16,00	0,66	0,54	0,51	0,48	0,43
10	50	18,00	0,62	0,56	0,51	0,48	0,41
11	50	20,00	0,69	0,58	0,52	0,47	0,42
12	50	22,00	0,65	0,55	0,49	0,48	0,39
13	50	24,00	0,61	0,57	0,51	0,49	0,42
14	50	26,00	0,62	0,53	0,50	0,48	0,40

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
15	50	28,00	0,63	0,55	0,50	0,45	0,43
16	50	30,00	0,67	0,55	0,49	0,49	0,39
17	50	32,00	0,63	0,53	0,49	0,46	0,35
18	50	34,00	0,65	0,54	0,53	0,48	0,37
19	50	36,00	0,59	0,51	0,53	0,45	0,40
20	50	38,00	0,60	0,52	0,50	0,45	0,39
21	50	40,00	0,54	0,54	0,50	0,47	0,38
22	50	42,00	0,56	0,52	0,45	0,48	0,40
23	50	44,00	0,56	0,48	0,43	0,42	0,38
24	50	46,00	0,55	0,48	0,42	0,44	0,37
25	50	48,00	0,56	0,45	0,40	0,42	0,35
26	50	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	60	2,00	0,87	0,60	0,37	0,47	0,43
29	60	4,00	0,97	0,73	0,58	0,58	0,48
30	60	6,00	0,99	0,84	0,67	0,67	0,60
31	60	8,00	0,93	0,79	0,74	0,66	0,61
32	60	10,00	0,96	0,81	0,72	0,71	0,64
33	60	12,00	0,93	0,82	0,73	0,69	0,65
34	60	14,00	0,94	0,82	0,76	0,69	0,67
35	60	16,00	0,94	0,84	0,79	0,67	0,63
36	60	18,00	0,99	0,81	0,70	0,63	0,58
37	60	20,00	0,95	0,86	0,71	0,63	0,55
38	60	22,00	0,97	0,76	0,70	0,63	0,58
39	60	24,00	0,97	0,75	0,79	0,65	0,55
40	60	26,06	0,93	0,72	0,70	0,64	0,53
41	60	28,00	0,95	0,81	0,74	0,61	0,56
42	60	30,00	0,95	0,78	0,74	0,64	0,53
43	60	32,00	0,87	0,75	0,78	0,61	0,57
44	60	34,00	0,93	0,73	0,70	0,62	0,54
45	60	36,00	0,99	0,74	0,68	0,59	0,55
46	60	38,00	0,94	0,73	0,64	0,57	0,50
47	60	40,00	0,95	0,72	0,66	0,56	0,53
48	60	42,00	0,91	0,73	0,63	0,60	0,54
49	60	44,00	0,93	0,75	0,65	0,58	0,56
50	60	46,00	0,92	0,74	0,63	0,60	0,55
51	60	48,00	0,87	0,71	0,61	0,56	0,56
53	60	50,00	0,87	0,68	0,63	0,58	0,52
54	60	52,00	0,89	0,68	0,61	0,55	0,50
55	60	54,00	0,85	0,65	0,59	0,53	0,50
56	60	56,00	0,88	0,66	0,58	0,50	0,48
57	60	58,00	0,68	0,64	0,52	0,47	0,45
58	60	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59	70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	70	2,00	0,86	0,70	0,57	0,49	0,44
61	70	4,00	0,94	0,82	0,75	0,62	0,60
62	70	6,00	0,89	0,84	0,80	0,69	0,63
63	70	8,00	0,98	0,88	0,85	0,78	0,66
64	70	10,00	0,95	0,86	0,88	0,73	0,69
65	70	12,00	1,05	0,89	0,82	0,71	0,64
66	70	14,00	1,09	0,84	0,81	0,74	0,71
67	70	16,00	1,04	0,94	0,84	0,72	0,65
68	70	18,00	1,03	0,89	0,81	0,71	0,63

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
69	70	20,00	1,02	0,84	0,78	0,71	0,65
70	70	22,00	0,95	0,84	0,78	0,65	0,61
71	70	24,00	0,94	0,83	0,79	0,72	0,63
72	70	26,00	0,97	0,83	0,72	0,68	0,60
73	70	28,00	0,98	0,82	0,75	0,68	0,59
74	70	30,00	1,02	0,85	0,76	0,69	0,59
75	70	32,00	0,98	0,81	0,75	0,66	0,54
76	70	34,00	1,00	0,82	0,74	0,70	0,55
77	70	36,00	0,97	0,81	0,72	0,67	0,58
78	70	38,00	1,00	0,86	0,78	0,66	0,58
79	70	40,00	0,93	0,83	0,75	0,63	0,57
80	70	42,00	0,96	0,85	0,75	0,65	0,56
81	70	44,00	0,95	0,80	0,73	0,63	0,56
82	70	46,00	0,94	0,80	0,75	0,64	0,55
83	70	48,00	0,88	0,80	0,75	0,64	0,57
84	70	50,00	0,90	0,78	0,72	0,62	0,56
85	70	52,00	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56
86	70	54,00	0,90	0,79	0,71	0,57	0,58
87	70	56,00	0,98	0,75	0,79	0,62	0,56
88	70	58,00	0,90	0,78	0,71	0,63	0,55
89	70	60,00	0,86	0,79	0,71	0,61	0,53
90	70	62,00	0,87	0,76	0,70	0,62	0,52
91	70	64,00	0,88	0,75	0,70	0,62	0,52
92	70	66,00	0,89	0,72	0,66	0,60	0,51
93	70	68,00	0,73	0,55	0,53	0,52	0,44
94	70	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95	80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
96	80	2,00	0,72	0,62	0,49	0,57	0,42
97	80	4,00	0,96	0,82	0,76	0,68	0,62
98	80	6,00	0,88	0,85	0,82	0,76	0,69
99	80	8,00	0,94	0,89	0,82	0,74	0,75
100	80	10,00	1,01	0,85	0,85	0,78	0,74
101	80	12,00	1,02	0,92	0,84	0,80	0,75
102	80	14,00	0,98	0,92	0,83	0,75	0,78
103	80	16,00	0,94	0,88	0,81	0,77	0,74
104	80	18,00	0,96	0,87	0,81	0,74	0,70
105	80	20,00	0,97	0,90	0,83	0,74	0,73
106	80	22,00	0,96	0,90	0,78	0,75	0,70
107	80	24,00	0,96	0,83	0,78	0,74	0,71
108	80	26,00	1,00	0,82	0,84	0,73	0,65
109	80	28,00	0,93	0,86	0,78	0,74	0,66
110	80	30,00	1,00	0,85	0,80	0,72	0,65
111	80	32,00	0,98	0,86	0,75	0,69	0,67
112	80	34,00	0,99	0,88	0,77	0,70	0,64
113	80	36,00	0,97	0,84	0,75	0,70	0,57
114	80	38,00	1,03	0,88	0,75	0,70	0,57
115	80	40,00	1,02	0,83	0,75	0,69	0,54
116	80	42,00	0,97	0,86	0,77	0,69	0,54
117	80	44,00	1,00	0,83	0,76	0,69	0,54
118	80	46,00	0,95	0,84	0,74	0,67	0,54
119	80	48,00	0,96	0,82	0,72	0,67	0,56
120	80	50,00	1,01	0,83	0,74	0,67	0,56
121	80	52,00	0,95	0,81	0,71	0,65	0,53

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
122	80	54,00	0,96	0,82	0,72	0,62	0,53
123	80	56,00	0,92	0,81	0,72	0,63	0,54
124	80	58,00	0,88	0,79	0,70	0,61	0,53
125	80	60,00	0,92	0,79	0,71	0,58	0,50
126	80	62,00	0,94	0,79	0,69	0,55	0,51
127	80	64,00	0,86	0,74	0,67	0,54	0,51
128	80	66,00	0,88	0,70	0,66	0,56	0,50
129	80	68,00	0,91	0,69	0,60	0,57	0,49
130	80	70,00	0,89	0,67	0,62	0,52	0,46
131	80	72,00	0,89	0,70	0,61	0,53	0,44
132	80	74,00	0,82	0,66	0,59	0,51	0,45
133	80	76,00	0,73	0,68	0,58	0,52	0,42
134	80	78,00	0,61	0,54	0,52	0,44	0,34
135	80	80,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
136	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
137	90	2,00	0,54	0,31	0,35	0,27	0,16
138	90	4,00	0,69	0,57	0,53	0,43	0,34
139	90	6,00	0,80	0,66	0,62	0,57	0,45
140	90	8,00	0,78	0,71	0,65	0,59	0,51
141	90	10,00	0,81	0,75	0,62	0,58	0,52
142	90	12,00	0,83	0,74	0,69	0,59	0,54
143	90	14,00	0,78	0,74	0,68	0,62	0,49
144	90	16,00	0,79	0,74	0,67	0,54	0,51
145	90	18,00	0,81	0,72	0,66	0,59	0,51
146	90	20,00	0,76	0,69	0,65	0,59	0,45
147	90	22,00	0,80	0,71	0,64	0,57	0,48
148	90	24,00	0,77	0,72	0,63	0,57	0,43
149	90	26,00	0,80	0,72	0,65	0,50	0,40
150	90	28,00	0,79	0,70	0,60	0,47	0,34
151	90	30,00	0,77	0,66	0,57	0,44	0,29
152	90	32,00	0,78	0,68	0,53	0,40	0,26
153	90	34,00	0,76	0,69	0,50	0,35	0,22
154	90	36,00	0,78	0,63	0,46	0,31	0,23
155	90	38,00	0,75	0,62	0,45	0,28	0,22
156	90	40,00	0,77	0,58	0,47	0,29	0,22
157	90	42,00	0,77	0,58	0,43	0,30	0,20
158	90	44,00	0,69	0,54	0,44	0,27	0,21
159	90	46,00	0,69	0,53	0,43	0,30	0,20
160	90	48,00	0,70	0,52	0,43	0,28	0,19
161	90	50,00	0,66	0,53	0,44	0,29	0,17
162	90	52,00	0,67	0,50	0,41	0,26	0,18
163	90	54,00	0,63	0,50	0,39	0,30	0,17
164	90	56,00	0,65	0,51	0,37	0,26	0,18
165	90	58,00	0,62	0,47	0,39	0,27	0,18
166	90	60,00	0,63	0,49	0,38	0,25	0,18
167	90	65,00	0,61	0,47	0,38	0,26	0,18
168	90	70,00	0,62	0,48	0,36	0,24	0,17
169	90	75,00	0,61	0,47	0,33	0,24	0,16
170	90	80,00	0,57	0,48	0,32	0,22	0,16
171	90	85,00	0,50	0,39	0,26	0,19	0,12
172	90	90,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
173	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
174	100	3,00	0,32	0,26	0,21	0,21	0,17

L.p.	Szerokość szczeliny L [mm]	Odległość czujnik od wymiennika y [mm]	Prędkość lokalna powietrza w [m/s] przy h [mm]				
			1025	820	615	410	205
175	100	6,00	0,53	0,37	0,30	0,33	0,30
176	100	9,00	0,58	0,50	0,39	0,35	0,44
177	100	12,00	0,65	0,55	0,48	0,42	0,40
178	100	15,00	0,62	0,55	0,44	0,47	0,40
179	100	18,00	0,64	0,57	0,51	0,46	0,36
180	100	21,00	0,63	0,56	0,49	0,45	0,38
181	100	24,00	0,65	0,54	0,47	0,39	0,36
182	100	27,00	0,62	0,55	0,41	0,34	0,30
183	100	30,00	0,62	0,51	0,37	0,29	0,23
184	100	33,00	0,64	0,46	0,33	0,20	0,14
185	100	36,00	0,58	0,41	0,29	0,18	0,07
186	100	39,00	0,61	0,38	0,20	0,16	0,12
187	100	42,00	0,53	0,29	0,23	0,16	0,12
188	100	45,00	0,56	0,31	0,20	0,15	0,09
189	100	48,00	0,49	0,31	0,18	0,13	0,07
190	100	51,00	0,46	0,28	0,20	0,16	0,08
191	100	54,00	0,40	0,31	0,17	0,15	0,06
192	100	57,00	0,38	0,29	0,16	0,13	0,07
193	100	60,00	0,37	0,26	0,14	0,11	0,05
194	100	63,00	0,36	0,26	0,15	0,14	0,07
195	100	66,00	0,36	0,24	0,13	0,11	0,06
196	100	69,00	0,34	0,26	0,14	0,09	0,05
197	100	72,00	0,36	0,24	0,14	0,14	0,06
198	100	75,00	0,35	0,25	0,12	0,09	0,05
199	100	78,00	0,38	0,24	0,14	0,12	0,05
200	100	81,00	0,34	0,24	0,14	0,12	0,05
201	100	84,00	0,33	0,26	0,15	0,09	0,03
202	100	87,00	0,32	0,24	0,14	0,12	0,04
203	100	90,00	0,32	0,24	0,14	0,10	0,06
204	100	93,00	0,30	0,22	0,14	0,11	0,03
205	100	96,00	0,24	0,21	0,13	0,10	0,04
206	100	99,00	0,21	0,16	0,09	0,08	0,02
207	100	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

8. LITERATURA

1. Akbarzadeh A., Manins B.: *Convective layers generated by side walls in solar ponds*, Solar Energy, 41, no 5, 1998,
2. Banaszek J., Konka W.T.: *Effect from vertical isothermal walls to natural convection heat transfer around horizontal tube*, Mat. Konf. IX Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Augustów, 1995,
3. Bejan A., Sciubba E.: *The optimal spacing of parallel plates cooled by forced convection*, International Journal of Heat and Fluid Flow, 35, 1999,
4. Bieliński H., Mikielwicz J.: *Analiza stabilności w diodzie termicznej ogrzewanej od dołu i z boków*, Mat. Konf. XVI Zjazdu Termodynamików, Kołobrzeg- Koszalin, 1996,
5. Bieliński H., Mikielwicz J.: *Natural convection of thermal diode*, Archives of Thermodynamics, vol. 16, 1995,
6. Bohdal T., Charun H., Czapp M., Dutkowski K.: *Ćwiczenia laboratoryjne z termodynamiki*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 1998,
7. Bohdal T., Charun H., Ewertowska Z., Majka K., Sławecki J.: *Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki płynów*; Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej Koszalin, 1997,
8. Bonca Z.: *Wpływ wysokości żeber na współczynnik wnikania ciepła przy skraplaniu R22 na poziomych rurach ożebrowanych*, Chłodnictwo, nr 3, 1985.
9. Czapp M., Charun H., Baran J.: *Niemechaniczny sposób intensyfikacji wymiany ciepła parownika w warunkach konwekcji naturalnej*, Chłodnictwo nr 6 , rok 1980,
10. Czapp M., Charun H., Bohdal T.: *Badania laboratoryjne urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 1996,

11. Charun H., Czapp M., Dutkowski K.: *Badanie wpływu wielkości przestrzeni ograniczonej na konwekcyjną wymianę ciepła*, Mat. Konf. XXX Jubileuszowych Dni Chłodnictwa, Poznań, 1998,
12. Dolata M., Krajewska M., Michalski J. A.: *Pomiary termoanemometryczne w gazie przepływającym z małą prędkością*, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, tom 19, zeszyt 3, 1998,
13. Domański R., Owes A.: *Effect of the geometry dimensions on the melting of phase – change materials*, Archives of Thermodynamics, vol. 14, 1993,
14. Dutkowski K., Czapp M.: *Badanie wpływu zabudowy wymiennika na intensywność wymiany ciepła*, Mat. Konf. X Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Świeradów Zdrój, 1998,
15. Gugliermetti F., Grignaffini S., Passerini G.: *The optimal design for plate fin heat sinks cooled by forced convection*, Mat. Konf. X Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Świeradów Zdrój, 1998,
16. Hobler T.: *Ruch ciepła i wymienniki*, WNT, W-wa, 1971,
17. Kalinowski E.: *Przekazywanie ciepła i wymienniki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1995,
18. Kostowski A., Górniak H., Sikora J., Szymczyk J., Ziębik A.: *Zbiór zadań z przepływu ciepła*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996;
19. Lewandowski W. M., Buzuk M., Kubski P., Bieszk H., Wilczewski T., Szymański S., Dymkowska J.: *Wpływ stosunku długości boków poziomej prostokątnej płyty grzejnej na konwekcję swobodną*, XVI Zjazd Termodynamików, Kołobrzeg- Koszalin, 1996,
20. Lewandowski W. M.: *Konwekcja naturalna od płyt ukośnych. Rozwiązanie teoretyczne*, XIII Zjazd Termodynamików, Częstochowa, 1987,
21. Lewandowski W. M.: *Konwekcyjna wymiana ciepła od płyt o skończonych wymiarach*, VIII Krajowa Konferencja Mechaniki Płynów, Białowieża, 1988,
22. Lewandowski W. M.: *Systematyczne badania przejmowania ciepła od płyty poziomej do cieczy w przestrzeni nieograniczonej w warunkach konwekcji naturalnej*, Praca doktorska, Gdańsk, 1980,

23. Lewandowski W. M.: *Wymiana ciepła od płaskich i sferycznych powierzchni złożonych*, Rozprawa habilitacyjna, Politechnika Gdańska, 1991,
24. Lewandowski W.M.: *Wymiana ciepła od płaskich powierzchni w warunkach laminarnej konwekcji swobodnej*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, 412, Mechanika 53, 1987,
25. Ligęza P.: HPTT 96. *Laboratoryjny termoanemometr stałotemperaturowy i termometr stałoprądowy*, Dane techniczne, Kraków 1999,
26. Madejski J.: *Analiza wymienników ciepła z rurami ożebrowanymi*; Biuletyn Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, nr 54, 1959,
27. Madejski J.: *Teoria wymiany ciepła*, PWN, Warszawa, 1963,
28. Mikielwicz J., Kubski P.: *Wymiana ciepła i masy w zarysie*, Wyd. Ucz. WSInż., Koszalin, 1979,
29. Mikielwicz J.: *Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła dla rekuperatorów metodą Wilsona*, Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, nr 6, 1995,
30. Nowak A., Binkowski W.: *Geometria rur ożebrowanych a wydajność skraplacza płaszczowo-rurowego*, Chłodnictwo nr 7, 1978,
31. Pudlik W.: *Wymiana ciepła dla studiów dziennych i zaocznych*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 1980,
32. Rasmus A.: *Konwekcja naturalna czynników o dużej liczbie Prandtla przy płycie dowolnie zorientowanej*, Zeszyty Naukowe IMP PAN nr 103, Gdańsk 1980,
33. Rasmus A.: *Wymiana ciepła od płyty dowolnie zorientowanej w przestrzeni nieograniczonej w warunkach konwekcji naturalnej dla czynników o dużej liczbie Prandtla*, Praca doktorska, Gdańsk, 1979,
34. Staniszewski B.: *Termodynamika*, PWN, 1978,
35. Szargut J.: *Termodynamika*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1998,
36. Tian Y. S., Karayiannis T. G., Wen J. X., Matthews R.D.: *Temperature distribution in low turbulence natural convection in a square cavity*, Proceedings of the 4th World Conference on Experimental Heat Transfer,

- Fluid Mechanics and Thermodynamics, Brussels, 1997,
37. *Total solution for PC-based automation*, Solution guide vol.91,1999,
 38. Tsuji T., Nagano Y.: *Characteristics of a turbulent natural convection boundary layer along a vertical flat plate*, International Journal of Heat and Fluid Flow, 31, 1998,
 39. Wiśniewski S., Wiśniewski T. S.: *Wymiana ciepła*, WNT,
 40. Yasuo Hattori, Toshihiro Tsuji, Yasutaka Nagano, Nobukazu Tanaka: *Characteristics of turbulent combined-convection boundary layer along a vertical heated plate*, International Journal of Heat and Fluid Flow, 21, 2000,
 41. Yoshihiro Kikuchi, Masayoshi kano, Mitsuo Sako: *Effect of heat flux distribution of vertical walls on natural convection in rectangular enclosure*, Proceedings of the 4th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Brussels, 1997,
 42. Zajdel A. N.: *Elementarna ocena błędów pomiaru*, PWN, Warszawa 1967.