

Analiza możliwości rurek ciepła jako efektywnych wymienników ciepła z uwagi na ich konstrukcję i mechanizmy funkcjonowania

Streszczenie

W pracy omówiono krótko historię rurek ciepła na świecie, a następnie w dokładnie ich budowę oraz zasadę działania. Praca przedstawia szereg procesów występujących w rurkach ciepła, umożliwiających szybki i efektywny transfer ciepła. Następnie są przedstawione, w zależności od zastosowania, części składowe rurek ciepła m.in. korpus (wymagania i stosowane materiały), struktura kapilarna (budowa i stosowane materiały) oraz płyn roboczy (wymagania i najczęściej stosowane płyny robocze).

1. WSTĘP

Pasywne dwufazowe urządzenia służące do efektywnego transportu dużych ilości ciepła przy minimalnej różnicy temperatury jako pierwszy przedstawił R. S. Gaugler z General Motors, Ohio, USA. Z kolei 6 czerwca 1944 roku opublikowano pierwszy patent dotyczący zastosowania rurki ciepła w systemach chłodniczych. Jednakże urządzeniom tym poświęcano mało uwagi, aż do lat sześćdziesiątych po tym, jak George Grover wraz ze współpracownikami z Los Alamos Scientific Laboratories opublikował w roku 1964 opracowanie dotyczące wykorzystania energii jądrowej do zasilania statków kosmicznych oraz efektywnych systemów chłodzenia w technologii kosmicznej, gdzie konieczny był równomierny i szybki transport ciepła. Od tego czasu, rurki ciepła stosuje się w licznych rozwiązaniach począwszy od regulacji temperatury warstwy wiecznej zmarzliny pod rurociągiem Trans-Alaska, poprzez wiele gałęzi przemysłu, aż do kontroli i regulacji temperatury w elektronice i technologii kosmicznej.

Do głównych zalet rurek ciepła można zaliczyć dużą szybkość transportu ciepła oraz wysoką efektywność, umożliwiającą przekazywanie znacznych ilości ciepła, przy niewielkiej różnicy temperatur. Dzięki jednoczesnemu występowaniu parowania połączonego z konwekcją, zdolność w odbiorze ciepła i efektywność transportu ciepła w rurkach ciepła jest znacznie większa od przewodzenia ciepła w nawet najlepszych przewodnikach ciepła. Do niewątpliwych zalet rurek ciepła należy również szeroki zakres pracy od 2 K dla kriogenicznych rurek ciepła wykorzystujących jako płyn roboczy np. HeI, aż do temperatur rzędu 2000 K dla wysokotemperaturowych rurek ciepła wykorzystujących jako płyn roboczy ciekły metal.

2. KONSTRUKCJA I MECHANIZM FUNKCJONOWANIA RURKI CIEPŁA

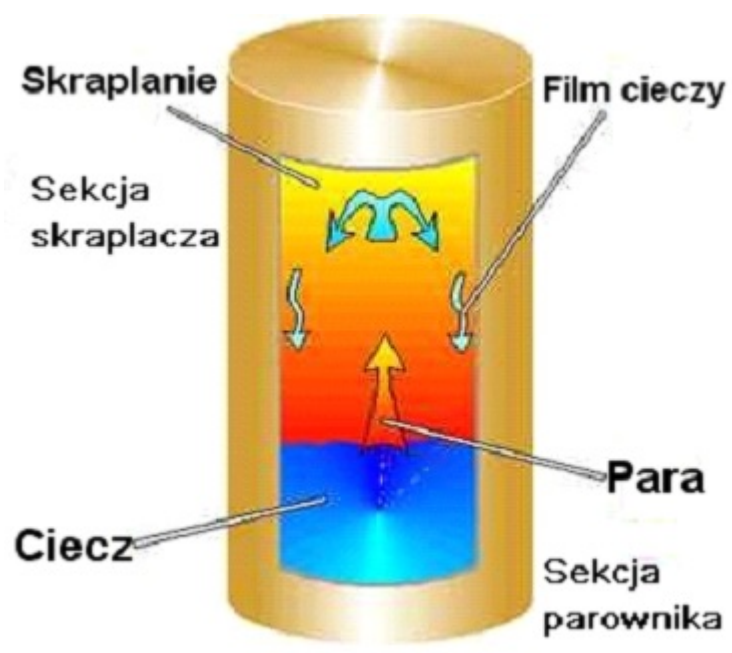
Rurka ciepła jest urządzeniem, które do transportu ciepła wykorzystuje dwufazowy, zamknięty cykl z odparowaniem płynu roboczego w sekcji parownika, a następnie jego skropleniem w sekcji skraplacza.

W zależności od budowy, rurki ciepła możemy podzielić na:

1. Rurki grawitacyjne (termosyfony), w których cyrkulacja płynu roboczego odbywa się na skutek sił grawitacji. Rurkę grawitacyjną przedstawia rysunek 1.
2. Rurki ciepła ze strukturą kapilarną, w których cyrkulacja płynu roboczego odbywa się pod wpływem sił kapilarnych, osmotycznych lub elektrostatycznych. Rurkę ciepła ze strukturą kapilarną (knotem) przedstawia rysunek 2.

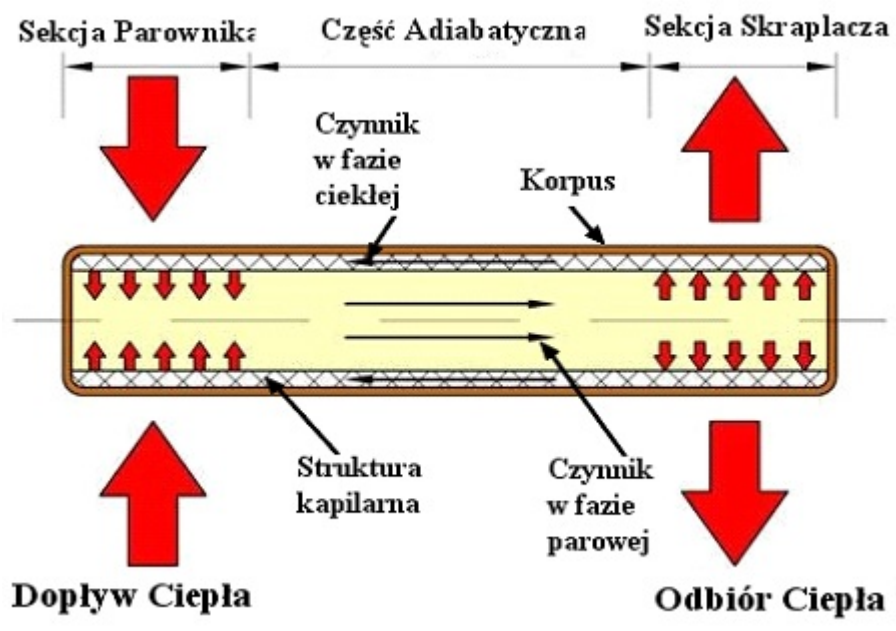
Rurka ciepła zbudowana jest ze szczelnie zamkniętego naczynia, pokrytego w środku porowatą strukturą. Naczynie jest opróżnione i wypełnione odpowiednią ilością płynu roboczego. Każdy z tych elementów jest jednakowo ważny i musi być starannie dobrany wobec typu materiału oraz termofizycznych własności i zgodności. Jak pokazano na rys. 2, rurkę ciepła można podzielić na trzy odrębne obszary: parownik czyli obszar dopływu ciepła, skraplacz czyli obszar odbioru ciepła i adiabatyczny obszar między nimi. Ciepło dostarczone do obszaru parownika powoduje, że płyn roboczy odparowuje. Wysoka temperatura i odpowiednio wysokie ciśnienie w tym obszarze

powoduje wytworzenie strumienia pary w kierunku przeciwnego, chłodniejszego końca rurki ciepła, gdzie następnie para skrapla się, oddając ciepło. Następnie kapilarne siły w porowatej strukturze transportują ciecz z powrotem do parownika.



Rys. 1. Grawitacyjna rurka ciepła (termosyfon) [4]

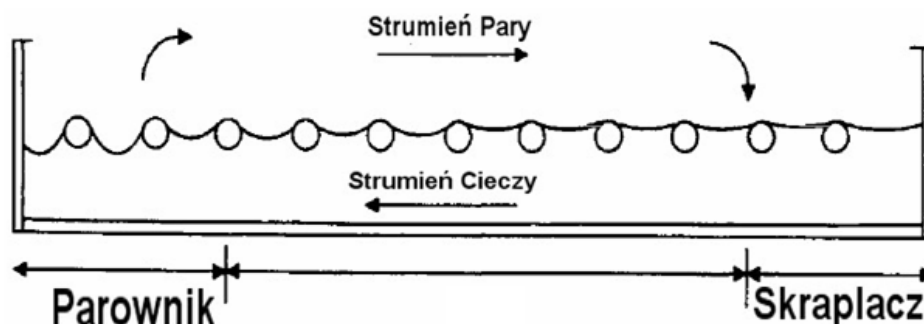
Rurki ciepła funkcjonują zarówno jako zamknięty, dwufazowy cykl, jak również wykorzystują utajone ciepło parowania, by transportować ciepło przy bardzo małych gradientach temperatury.



Rys. 2. Rurka ciepła ze strukturą kapilarną [opracowanie własne]

Rurki ciepła ze strukturą porowatą wykorzystują pewien rodzaj włoskowatej, kapilarnej struktury, by umożliwić przepływ cieczy od skraplacza do parownika, natomiast działanie termosyfonów polega całkowicie na grawitacyjnych siłach w celu zawrócenia ciekłej fazy roboczego płynu ze skraplacza do parownika. W wyniku kapilarnego transportu cieczy występującego w strukturze kapilarnej, rurki ciepła ze strukturą porowatą mogą zostać użyte w poziomym ustawieniu. Podstawowe zjawisko, które rządzi działaniem rurki ciepła wynika z różnicy w ciśnieniu kapilarnym na powierzchni międzyfazowej ciecz-para w obszarze parownika i skraplacza. Płyn roboczy odparowując w sekcji parownika rurki ciepła wywołuje powstanie menisku cieczy na strukturze kapilarnej, natomiast kondensacja płynu roboczego występująca w sekcji skraplacza wywołuje zalewanie struktury kapilarnej. Połączony proces parowania i skraplania powoduje zmianę promienia krzywizny menisku wzdłuż osi długości rurki ciepła jak pokazuje rysunek 3. Miejsce, w którym promień krzywizny menisku osiąga maksimum, nazywany jest "suchym" punktem i zwykle występuje w sekcji parownika w punkcie najdalszym od obszaru skraplacza. "Mokry" punkt natomiast znajduje się w punkcie, w którym ciśnienie pary i ciśnienie cieczy są w przybliżeniu sobie równe lub, gdzie promień krzywizny menisku osiąga minimum. "Mokry" punkt może znajdować się gdzieś w skraplaczu lub adiabatycznej sekcji, ale zazwyczaj znajduje się blisko końca skraplacza jak najdalej od parownika. Aby rurki ciepła zadziałały właściwie, ostateczna różnica kapilarnego ciśnienia między suchym i mokrym punktem musi być większa niż zsumowanie wszystkich strat ciśnienia występujących na drodze strumienia pary i cieczy. Związek ten nazwany jest kapilarnym ograniczeniem. Do innych ograniczeń rurek ciepła należą:

3. siły lepkości - powstrzymują przepływ pary podczas pracy rurki ciepła poniżej wymaganego zakresu temperatur,
4. prędkość dźwięku - para płynu roboczego opuszczająca parownik osiąga prędkość dźwięku, co z kolei zakłóca prawidłową pracę rurki ciepła,
5. zatopienie skraplacza - spowodowane brakiem powrotu skroplonego płynu roboczego do obszaru parownika,
6. siła kapilarna - wrzenie cieczy powracającej do obszaru parownika,
7. wysychanie rurki ciepła - spowodowane zbyt dużą wartością promieniowego strumienia ciepła[1].



Rys. 3. Tworzenie się menisku na knocie [1]

2.1. PŁYN ROBOCZY

Ze względu na to, że działanie rurki ciepła polega na odparowaniu i skraplaniu płynu roboczego,

wybór odpowiedniego płynu jest ważnym czynnikiem w projektowaniu rurek ciepła. Musimy zapewnić, aby zakres temperatury obsługiwanej przez płyn roboczy był adekwatny do warunków stosowania rurki ciepła. Najbardziej popularne zastosowania obejmują użycie rurek ciepła z roboczym płynem mającym temperaturę wrzenia między 250 i 375 K; jednakże zarówno kriogeniczne rurki ciepła jak i rurki ciepła z ciekłym metalem zostają udoskonalane i używane z powodzeniem. Tabela 1 ilustruje typowe zakresy temperatury dla kilku różnych płynów roboczych w rurkach ciepła. Oprócz termofizycznych własności roboczego płynu, musimy rozważyć także takie czynniki jak kompatybilność z materiałem korpusu i zdolność roboczego płynu do zwilżania tak porowatej struktury jak i ścianki rurki ciepła.

Tabela 1. Zakresy stosowania rurek ciepła dla różnych płynów roboczych [1]

Płyn roboczy	Temperatura Punktu Potrójnego przy ciśnieniu atmosferycznym	Temperatura wrzenia przy ciśnieniu atmosferycznym	Temperatura Punktu Krytycznego	Zakres stosowania
	[K]	[K]	[K]	[K]
Hel	1.0	4.21	5,2	2 ÷ 4
Wodór	13.8	20.38	33,0	14 ÷ 31
Azot	63.1	77.35	126,2	70 ÷ 103
Argon	83.9	87.29	150,9	84 ÷ 116
Tlen	54.7	90.18	154,8	73 ÷ 119
Metan	90.6	111.4	191,2	91 ÷ 150
Etan	89.9	184.6	305,5	150 ÷ 240
Freon 22	113.1	232.2	369,2	193 ÷ 297
Amoniak	195.5	239.9	405,6	213 ÷ 373
Aceton	180.0	329.4	508,2	273 ÷ 393
Metanol	175.1	337.8	513,2	283 ÷ 403
Etanol	158.7	351.5	516,3	273 ÷ 403
Woda	273.1	373.1	647,3	303 ÷ 473

Toluen	178.1	383.7	593,9	323 ÷ 473
Naftalen	353.4	490,0	748,4	408 ÷ 478
Rtęć	234.2	630.1	1750,2	523 ÷ 923
Siarka	385.9	717.8	1314,2	530 ÷ 947
Cez	301.6	943.0	1938,0	723 ÷ 1173
Potas	336.4	1032,0	2250,0	773 ÷ 1273
Sód	371,0	1151,0	2500,0	873 ÷ 1473
Lit	453.7	1615,0	3800,0	1273 ÷ 2073
Srebro	1234,0	2485,0	7500,0	2073 ÷ 2573

2.2. STRUKTURA KAPILARNA

Struktura kapilarna może zostać wytworzona np. z utkanego włókna szklanego, spiekanych proszków metalu, ekranów, siatek drutu lub bruzd. Jedną z funkcji jakie spełnia w rurkach ciepła to nośnik, dzięki któremu zapewniony jest mechanizm, przez który płyn roboczy jest zawracany od skraplacza do parownika. Struktura kapilarna dba również o to, aby płyn roboczy był równo rozprowadzany na powierzchni parownika.

W celu zapewnienia niskiego oporu strumienia, dzięki któremu płyn roboczy może zostać zawrócony od skraplacza do parownika, pożądana jest otwarta, porowata struktura z wysoką przemakalnością. Jednakże, dla zwiększenia włoskowatości, mała wielkość pora jest konieczna. Zaistniała ewidentna sprzeczność może zostać rozwiązana poprzez użycie niejednorodnego knota zrobionego z kilku różnych materiałów lub poprzez złożoną porowatą strukturę [1]. Kilka wybranych przykładów struktur kapilarnych przedstawia rysunek 4.

Ołów					-	-	+	-	+
Lit					-	-	+	-	+
Rtęć				-	-	+	-	-	
Metanol	-	+	+	+	+	+			
Srebro					-	-	+	-	+
Sód					+	+		-	
Woda	-		+		+	+		+	

Oprócz tych cech materiał korpusu musi być odporny na korozję będącą skutkiem interakcji z otoczeniem oraz musi być wystarczająco podatny, by zostać wytworzony do odpowiedniej wielkości i kształtu[1].

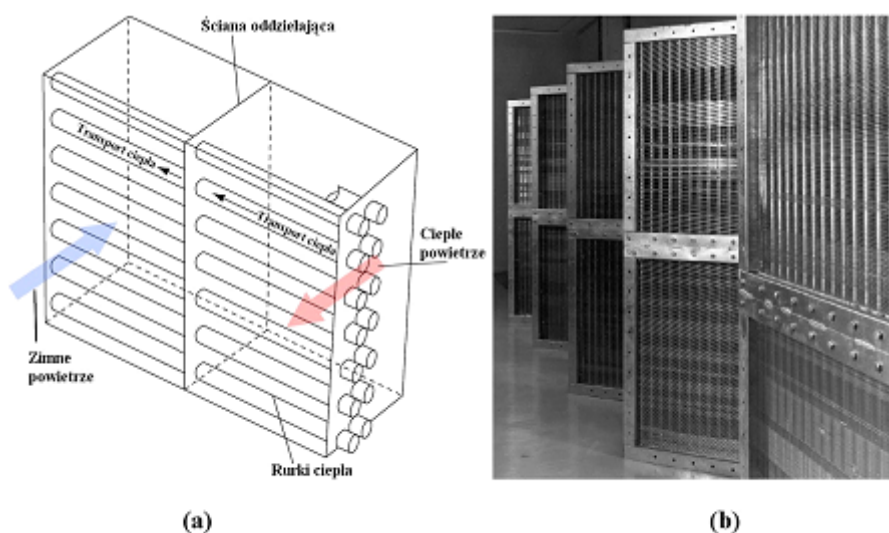
3. PODSUMOWANIE

Rurki ciepła ze względu na swoją wysoką efektywność, trwałość i możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, począwszy od chłodnictwa i klimatyzacji, poprzez przemysł chemiczny i metalurgiczny, aż po przemysł elektroniczny. Rurki ciepła z powodzeniem wykorzystywane są również w technologiach kosmicznych (chłodzenie silników i elektroniki statków kosmicznych i satelitów kosmicznych), kriochirurgii, w chłodzeniu cylindrów silników oraz łopatek turbin, w elementach kolektorów słonecznych i w wymiennikach reaktorów, w instalacjach zabezpieczających przed pokryciem lodem i śniegiem dróg przejazdowych, oraz do utrzymywania odpowiednio niskiej temperatury gruntu na terenach wiecznej zmarzliny zabezpieczając przed zniszczeniem znajdującą się tam infrastrukturę (np. rurociąg Trans-Alaska rys. 5.).



RYS. 5. RUROCIĄG TRANS-ALASKA [6]

Jedną z głównych zalet rurek ciepła jest możliwość zastosowania ich jako wysokoefektywnych i bezawaryjnych wymienników (Rys. 7.) służących do odzysku ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczeń co jest niezbędne w budownictwie zeroenergetycznym. Do najpopularniejszych urządzeń do odzysku ciepła w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych można zaliczyć wymienniki krzyżowe, wymienniki obrotowe oraz układy z medium pośredniczącym. Do tych ostatnich zaliczają się wymienniki zbudowane z rurek ciepła. Dotychczas były one stosowane w wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń z dużą zawartością wilgoci. Wynika to z faktu, iż wymienniki z rurkami ciepła charakteryzują się niską temperaturą szronienia oraz możliwością łatwego czyszczenia. Niewątpliwym atutem tych wymienników jest również całkowite wyeliminowanie zanieczyszczeń krzyżowych za pomocą całkowitego odizolowania powietrza usuwanego od świeżego. Systemy wykorzystujące rurki ciepła do odzysku ciepła z powietrza usuwanego, charakteryzują się jednakowo wysoką sprawnością bez względu na to czy pracują w porze letniej czy zimowej. Spowodowane jest to między innymi tym, że wymienniki z rurkami ciepła nie potrzebują energochłonnych układów do oszraniania w warunkach niskich temperatur zewnętrznych. Rurki ciepła stosowane są również w systemach klimatyzacyjnych do osuszania powietrza.



Rys. 6. Wymiennik do odzysku ciepła z rurkami ciepła, (a) – schemat działania, (b) – wygląd rzeczywisty [7]

BIBLIOGRAFIA

1. Adrian Ł.: „Rurki Ciepła – budowa i zasada działania”. Chłodziwo i Klimatyzacja, 3/2010
2. Kutz Myer: „Energy and Power”. Mechanical Engineers' Handbook Third Edition. John Wiley & Sons, INC, 2006.
3. Prager R. C., M. Nikitkin, B. Cullimore.: „Heat Pipes”. Spacecraft thermal control handbook. Aerospace Corporation 2002.
4. www.heatpipe.com
5. www.ocmodshop.com
6. www.alyeska-pipe.com
7. Z. Anthony Reay, Peter A. Kew.: „Heat Pipes. Theory, Design and Application” Butterworth-Heinemann, 2006.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



*Publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów",
współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego*