



Wrocław University  
of Science and Technology

Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Kierunek studiów: **Odnawialne Źródła Energii**  
Specjalność: **Przemysłowe Instalacje OZE**

# PODSTAWY KONSTRUKCJI URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH

**Rurowy wymiennik ciepła typu:  
Rura w rurze - rury gięte**

Grzegorz Wyborski

Prowadzący:  
Dr. inż. Beata Anwajler

Wrocław 2022

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
1.1	Opis wymiennika . . . . .	3
1.2	Założenia projektu . . . . .	3
1.3	Wybór materiałów oraz technologii . . . . .	3
1.4	Rysunki . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Charakterystyka techniczna</b>	<b>5</b>
2.1	Dane wejściowe . . . . .	5
2.2	Stałe materiałowe . . . . .	7
2.3	Podsumowanie . . . . .	8

# 1 Wstęp

## 1.1 Opis wymiennika

Projektowany będzie wymiennika typu “Rura w rurze - rury gięte”, jest to modyfikacja wymiennika typu “Rura w rurze - rury proste”. Stosowany jest w sytuacjach kiedy nie mamy wystarczającej ilości miejsca na zbudowanie klasycznego wymiennika z rurami prostymi. Dzięki swoim stosunkowo małym rozmiarom wymiennik ten znalazł zastosowanie w urządzeniach chłodniczych takich jak lodówki. Przestrzeń wewnątrz wymiennika może być z łatwością zagospodarowana przez umieszczenie wewnątrz zbiornika naczynnik, sprężarki lub innego urządzenia. Jego największą wadą jest to, że w trakcie procesu zginania wewnętrzna rura może wejść w kontakt z rurą zewnętrzną od strony gięcia. Taka sytuacja tworzy przestrzeń w której nie zachodzi wymiana ciepła między czynnikami. Problem ten rozwiązuje się umieszczając pomiędzy rurami różne rodzaje dystansów.

## 1.2 Założenia projektu

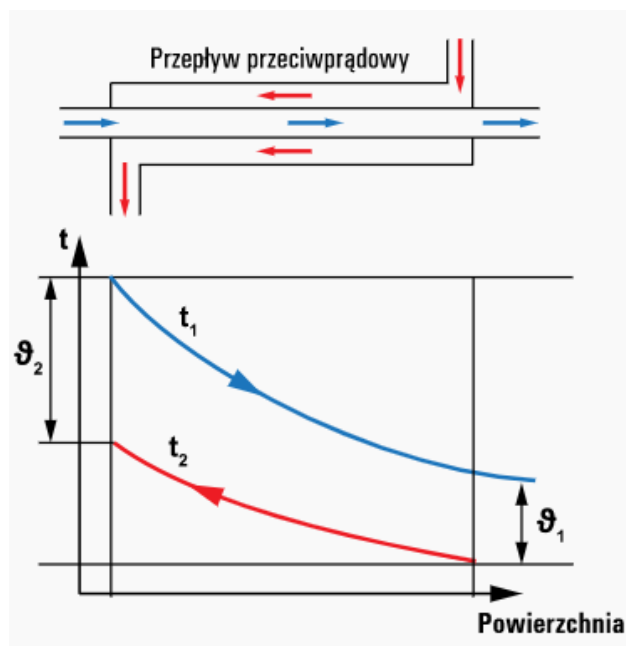
- Odbieranie ciepła od toulenu w temperaturze  $75^{\circ}C$
- Czynnikiem chłodzącym jest woda o temperaturze  $10^{\circ}C$
- Przepływ czynnika chłodzącego ma zawierać się w przedziale  $0.5 - 1 \frac{kg}{s}$
- Zapobiec stykaniu się ścianek wymiennika
- Całkowite wymiary wymiennika mają być jak najmniejsze
- Zminimalizować koszt materiału i wykonania

## 1.3 Wybór materiałów oraz technologii

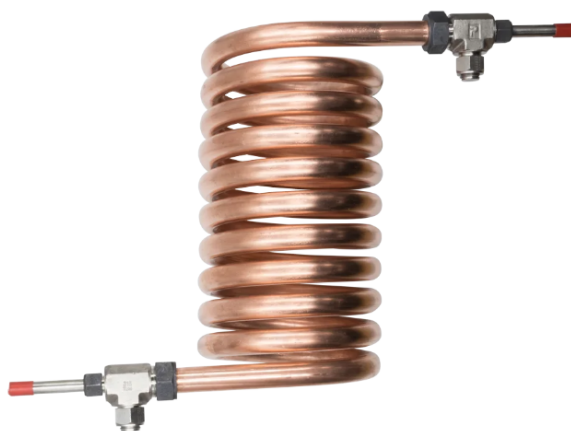
Bazowo planuję wykorzystać aluminiowe rury gładkie jako główny materiał wymiennika. Rury zewnętrzna i wewnętrzna zostaną rozdzielone poprzez nawinięcie spirali z drutu aluminiowego. Z uwagi na łatwopalność toulenu króćce przyłączeniowe powinny zostać wykonane z mosiądzu, gdyż jest metalem nieiskrzącym. Nie ma potrzeby produkowania wewnętrznej rury ze stali nierdzewnej ponieważ toulenu nie reaguje z aluminium i miedzią.

W wypadku kiedy nie zostaną osiągnięte odpowiednie temperatury na wylocie czynnika chłodzonego zastosuję rury żebrowane zamiast spirali, w celu zwiększenia powierzchni wymiany ciepła. Ze względu na bardzo wysokie koszty chciałbym uniknąć wykorzystania miedzi w wymienniku.

## 1.4 Rysunki



Rysunek 1: Uproszczony schemat wymiennika "Rura w rurze" w układzie przepływu przeciwnieprądowego oraz wykres przedstawiający temperaturę czynników dla takiego układu.



Rysunek 2: Poglądowy rysunek wymiennika typu "Rura w rurze - rury gięte".

## 2 Charakterystyka techniczna

### 2.1 Dane wejściowe

#### 1. Parametry cieczy schładzanej

- Toulén
- Temperatura wejściowa  $T_{1we} = 75^{\circ}\text{C}$
- Temperatura wyjściowa  $T_{1wy} = 55^{\circ}\text{C}$
- Strumień przepływu  $Q_1 = 0.5 - 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- Dodatkowe parametry czynnika

toluen - właściwości cieczy

t	p	ρ	v	h	s	c <sub>p</sub>	λ	η	ν	Pr
°C	bar	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg·K	kJ/kg·K	W/m·K	μPa·s	m <sup>2</sup> /s	-
40	0,0789	848,1	0,001179	-132,4	-0,380	1,750	0,126	466,0	5,495E-07	6,458
41	0,0826	847,2	0,001180	-130,6	-0,374	1,753	0,126	461,0	5,442E-07	6,416
42	0,0865	846,2	0,001182	-128,9	-0,369	1,757	0,126	456,1	5,390E-07	6,375
43	0,0905	845,3	0,001183	-127,1	-0,363	1,760	0,125	451,3	5,339E-07	6,334
44	0,0946	844,4	0,001184	-125,3	-0,358	1,764	0,125	446,6	5,289E-07	6,295
45	0,0989	843,4	0,001186	-123,6	-0,352	1,767	0,125	442,0	5,240E-07	6,255
46	0,1034	842,5	0,001187	-121,8	-0,347	1,770	0,125	437,4	5,192E-07	6,217
47	0,1080	841,5	0,001188	-120,0	-0,341	1,774	0,124	432,9	5,144E-07	6,179
48	0,1128	840,6	0,001190	-118,2	-0,335	1,777	0,124	428,5	5,097E-07	6,142
49	0,1177	839,6	0,001191	-116,5	-0,330	1,780	0,124	424,1	5,051E-07	6,105
50	0,1229	838,7	0,001192	-114,7	-0,324	1,784	0,123	419,8	5,006E-07	6,070
51	0,1282	837,7	0,001194	-112,9	-0,319	1,787	0,123	415,6	4,961E-07	6,034
52	0,1337	836,8	0,001195	-111,1	-0,313	1,791	0,123	411,5	4,917E-07	5,999
53	0,1395	835,8	0,001196	-109,3	-0,308	1,794	0,123	407,4	4,874E-07	5,965
54	0,1454	834,9	0,001198	-107,5	-0,302	1,798	0,122	403,4	4,831E-07	5,932
55	0,1515	833,9	0,001199	-105,7	-0,297	1,801	0,122	399,4	4,789E-07	5,898
56	0,1578	833,0	0,001201	-103,9	-0,291	1,805	0,122	395,5	4,748E-07	5,866
57	0,1644	832,0	0,001202	-102,1	-0,286	1,808	0,121	391,7	4,707E-07	5,833
58	0,1712	831,1	0,001203	-100,3	-0,280	1,811	0,121	387,9	4,667E-07	5,802
59	0,1782	830,1	0,001205	-98,5	-0,275	1,815	0,121	384,1	4,628E-07	5,771
60	0,1854	829,2	0,001206	-96,7	-0,270	1,818	0,121	380,5	4,589E-07	5,740
61	0,1929	828,2	0,001208	-94,8	-0,264	1,822	0,120	376,9	4,550E-07	5,710
62	0,2006	827,2	0,001209	-93,0	-0,259	1,825	0,120	373,3	4,513E-07	5,680
63	0,2086	826,3	0,001210	-91,2	-0,253	1,829	0,120	369,8	4,475E-07	5,651
64	0,2168	825,3	0,001212	-89,4	-0,248	1,832	0,119	366,3	4,439E-07	5,622
65	0,2253	824,4	0,001213	-87,5	-0,242	1,836	0,119	362,9	4,402E-07	5,594
66	0,2340	823,4	0,001215	-85,7	-0,237	1,840	0,119	359,6	4,367E-07	5,566
67	0,2431	822,4	0,001216	-83,8	-0,231	1,843	0,119	356,2	4,332E-07	5,539
68	0,2524	821,5	0,001217	-82,0	-0,226	1,847	0,118	353,0	4,297E-07	5,512
69	0,2620	820,5	0,001219	-80,2	-0,221	1,850	0,118	349,8	4,263E-07	5,485
70	0,2719	819,5	0,001220	-78,3	-0,215	1,854	0,118	346,6	4,229E-07	5,459
71	0,2821	818,6	0,001222	-76,4	-0,210	1,857	0,117	343,5	4,196E-07	5,433
72	0,2926	817,6	0,001223	-74,6	-0,204	1,861	0,117	340,4	4,163E-07	5,408
73	0,3035	816,6	0,001225	-72,7	-0,199	1,864	0,117	337,3	4,131E-07	5,383
74	0,3146	815,7	0,001226	-70,9	-0,194	1,868	0,117	334,3	4,099E-07	5,358
75	0,3261	814,7	0,001228	-69,0	-0,188	1,872	0,116	331,4	4,068E-07	5,334
76	0,3379	813,7	0,001229	-67,1	-0,183	1,875	0,116	328,5	4,037E-07	5,310
77	0,3501	812,7	0,001230	-65,2	-0,178	1,879	0,116	325,6	4,006E-07	5,286

## 2. Parametry cieczy chłodzącej

- Woda
- Temperatura wejściowa  $T_{2we} = 10^{\circ}C$
- Temperatura wyjściowa  $T_{2wy} = 30^{\circ}C$
- Strumień przepływu  $Q_2 = 3 \frac{m^3}{s}$
- Dodatkowe parametry czynnika

woda - właściwości cieczy

t	p	ρ	v	h	s	c <sub>p</sub>	λ	η	ν	Pr
°C	bar	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg·K	kJ/kg·K	W/m·K	μPa·s	m <sup>2</sup> /s	-
1	0,0066	999,9	0,001000	4,2	0,015	4,217	0,563	1731,2	1,732E-06	12,968
2	0,0071	999,9	0,001000	8,4	0,031	4,214	0,565	1673,7	1,674E-06	12,486
3	0,0076	999,9	0,001000	12,6	0,046	4,211	0,567	1619,2	1,619E-06	12,030
4	0,0081	999,9	0,001000	16,8	0,061	4,208	0,569	1567,4	1,568E-06	11,600
5	0,0087	999,9	0,001000	21,0	0,076	4,206	0,571	1518,3	1,518E-06	11,192
6	0,0094	999,9	0,001000	25,2	0,091	4,203	0,572	1471,6	1,472E-06	10,806
7	0,0100	999,9	0,001000	29,4	0,106	4,201	0,574	1427,2	1,427E-06	10,439
8	0,0107	999,8	0,001000	33,6	0,121	4,199	0,576	1384,8	1,385E-06	10,092
9	0,0115	999,7	0,001000	37,8	0,136	4,197	0,578	1344,5	1,345E-06	9,761
10	0,0123	999,7	0,001000	42,0	0,151	4,196	0,580	1306,0	1,306E-06	9,447
11	0,0131	999,6	0,001000	46,2	0,166	4,194	0,582	1269,2	1,270E-06	9,148
12	0,0140	999,5	0,001001	50,4	0,181	4,193	0,584	1234,1	1,235E-06	8,863
13	0,0150	999,3	0,001001	54,6	0,195	4,191	0,586	1200,5	1,201E-06	8,592
14	0,0160	999,2	0,001001	58,8	0,210	4,190	0,587	1168,4	1,169E-06	8,333
15	0,0171	999,1	0,001001	63,0	0,224	4,189	0,589	1137,6	1,139E-06	8,086
16	0,0182	998,9	0,001001	67,2	0,239	4,188	0,591	1108,1	1,109E-06	7,850
17	0,0194	998,7	0,001001	71,4	0,253	4,187	0,593	1079,8	1,081E-06	7,624
18	0,0206	998,6	0,001001	75,5	0,268	4,186	0,595	1052,7	1,054E-06	7,408
19	0,0220	998,4	0,001002	79,7	0,282	4,185	0,597	1026,7	1,028E-06	7,202
20	0,0234	998,2	0,001002	83,9	0,296	4,184	0,598	1001,6	1,004E-06	7,004
21	0,0249	998,0	0,001002	88,1	0,311	4,184	0,600	977,6	9,796E-07	6,814
22	0,0265	997,7	0,001002	92,3	0,325	4,183	0,602	954,4	9,566E-07	6,632
23	0,0281	997,5	0,001003	96,5	0,339	4,183	0,604	932,2	9,345E-07	6,458
24	0,0299	997,3	0,001003	100,7	0,353	4,182	0,605	910,7	9,132E-07	6,291
25	0,0317	997,0	0,001003	104,8	0,367	4,182	0,607	890,0	8,927E-07	6,130
26	0,0336	996,7	0,001003	109,0	0,381	4,181	0,609	870,1	8,730E-07	5,976
27	0,0357	996,5	0,001004	113,2	0,395	4,181	0,611	850,9	8,539E-07	5,827
28	0,0378	996,2	0,001004	117,4	0,409	4,181	0,612	832,4	8,356E-07	5,684
29	0,0401	995,9	0,001004	121,6	0,423	4,180	0,614	814,5	8,179E-07	5,547
30	0,0425	995,6	0,001004	125,7	0,437	4,180	0,615	797,2	8,007E-07	5,415
31	0,0450	995,3	0,001005	129,9	0,451	4,180	0,617	780,5	7,842E-07	5,287
32	0,0476	995,0	0,001005	134,1	0,464	4,180	0,619	764,4	7,683E-07	5,165
33	0,0504	994,7	0,001005	138,3	0,478	4,180	0,620	748,8	7,528E-07	5,046
34	0,0533	994,3	0,001006	142,5	0,492	4,180	0,622	733,7	7,379E-07	4,932
35	0,0563	994,0	0,001006	146,6	0,505	4,180	0,623	719,1	7,235E-07	4,822

## 2.2 Stałe materiałowe

## 2.3 Podsumowanie



Element	Symbol	Atomic number	Relative atomic mass	Density $\rho$ kg/dm <sup>3</sup> 1)	Melting point °C	Boiling point °C	Thermal conductivity $\lambda$ W/(m · K)	Thermal capacity $c_p$ kJ/(kg · K)
Actinium	Ac	89	(227)	–	1050	3 200	–	0,12
Aluminium	Al	13	26,98	2,70	660	2 450	238	0,88
Americium	Am	95	(243)	11,7	>850	2 600	–	0,14
Antimony	Sb	51	121,75	6,68	631	1 380	19	0,21
Argon	Ar	18	39,95	1,40 <sup>1)</sup>	–189	–186	0,02	0,52

Rysunek 3: kjpgvkhnil

## Chemistry

Continuation of table, Physical properties: Chemical elements, from Page 104.

Element	Symbol	Atomic number	Relative atomic mass	Density $\rho$ kg/dm <sup>3</sup> 1)	Melting point °C	Boiling point °C	Thermal conductivity $\lambda$ W/(m · K)	Thermal capacity $c_p$ kJ/(kg · K)
Calcium	Ca	20	40,08	1,55	838	1 490	130	0,66
Californium	Cf	98	(251)	–	–	–	–	–
Carbon	C	6	12,01	2,26	3 730	4 830	168	0,65
Cerium	Ce	58	140,12	6,78	795	3 470	10,9	0,18
Chlorine	Cl	17	35,45	1,56 <sup>1)</sup>	–101	–35	0,008	0,47
Chromium	Cr	24	52,00	7,19	1 900	2 642	69	0,44
Cobalt	Co	27	58,93	8,90	1 490	2 900	96	0,43
Copper	Cu	29	63,55	8,96	1 083	2 600	398	0,38
Curium	Cm	96	(247)	7	–	–	–	–
Dysprosium	Dy	66	162,50	8,54	1 410	2 600	10	0,17

Rysunek 4: kjpgvkhnil

## Chemistry

**Physical properties:** The following table shows the physical properties for a selection of solids.

Substance	Density $\rho$ kg/dm <sup>3</sup>	Melting point °C	Boiling point °C	Thermal conductivity $\lambda$ W/(m · K)	Thermal capacity $c_p$ kJ/(kg · K)
Agate	2,5 ... 2,8	≈ 1 600	≈ 2 590	10,68	0,79
Asphalt	1,1 ... 1,5	80 ... 100	≈ 300	0,69	0,92
Barium chloride (BaCl <sub>2</sub> )	3,10	956	1 830	–	0,37
Basalt	2,9	–	–	1,67	0,86
Boiler scale	≈ 2,5	≈ 1 200	–	0,12 ... 2,3	0,79
Borax, anhydrous	1,72	741	–	–	0,99
Brass (63 Cu, 37 Zn)	8,5	900	–	116	0,38
Bronze (94 Cu, 6 Sn)	8,73	910	2 300	64	0,37
Charcoal	0,3 ... 0,5	–	≈ 3 540	0,08	1,0
Chromium(III) oxide (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,22	2 330	–	0,4 (powder)	0,75
Coke	1,6 ... 1,9	–	–	0,183	0,84
Concrete	1,8 ... 2,45	–	–	0,8 ... 1,4	0,87
Corundum (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,9 ... 4,0	2 050	2 700	12 ... 23	0,96
Diamond	3,51	–	–	–	0,52
Flake graphite cast iron	7,25	1 150 ... 1 250	2 500	≈ 52	≈ 0,5
Glass fibre mats	0,03 ... 0,2	≈ 700	–	0,04	0,84
Glass (window)	2,4 ... 2,7	≈ 700	–	0,58 ... 1,0	0,84
Granite	2,6 ... 2,8	–	–	3,5	0,82
Graphite, pure	2,26	≈ 3 830	≈ 4 200	168	0,71
Greases	0,92 ... 0,94	30 ... 175	≈ 300	0,2	0,62 ... 0,79
Gypsum (CaSO <sub>4</sub> )	2,3	1 200	–	0,34 ... 0,46	1,1
Hard metal K20	14,8	≈ 2 000	≈ 4 000	81,4	0,80
Heat conducting alloy (80 Ni, 20 Cr)	8,3	1 400	2 300	14,6	0,50
Hydrated ferric oxide (rust)	5,1	1 565	–	0,58 (powder)	0,67
Ice	0,92	–	100	2,3	2,1