

Zapotrzebowanie na chłód przez budynki o przeznaczeniu mieszkaniowym, komercyjnym i przemysłowym

Autor: Andrzej Grzebielec, Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska

(„Nowa Energia” – 2/2019)

Zapotrzebowanie na chłód przez budynki i instalacje się w nich znajdujące definiowane jest z wykorzystaniem dwóch podstawowych parametrów. Pierwszym jest temperatura jaką ma osiągnąć medium chłodzące, drugim jest moc chłodnicza. Artykuł stara się przybliżyć aspekty związane z wykorzystaniem chłodu w budynkach i instalacjach różnego typu. Przedstawiono przewidywany rozwój rynku klimatyzacji oraz techniki wytwarzania chłodu.

W literaturze można się spotkać z podziałem rynku chłodniczego i klimatyzacyjnego według różnych kryteriów. Do celów artykułu podzielono rynek na następujące segmenty:

- chłodnictwo niskotemperaturowe (LT);
- chłodnictwo średnotemperaturowe (MT);
- chłodnictwo wysokotemperaturowe (HT);
- klimatyzacja (AC).

Często w tym zestawie pojawiają się także pompy ciepła (HP), ale one służą do grzania, więc w tym artykule ich segment nie będzie brany pod uwagę. Podział taki służy zazwyczaj poprawnemu dobraniu czynnika chłodniczego dla układów sprężarkowych, gdyż to co dzieli poszczególne segmenty to przede wszystkim temperatury dolnego źródła ciepła – czyli temperatura jaką osiągają urządzenia w ochładzanym pomieszczeniu lub temperatura do jakiej schładzane jest medium pośredniczące (woda lub wodny roztwór glikolu) nazywane wodą lodową. To co łączy wszystkie układy to fakt, że dla większości z nich górnym źródłem ciepła jest powietrze atmosferyczne. Do celów obliczeniowych przyjmuje się powietrze zewnętrzne o następujących parametrach: temperatura $+30^{\circ}\text{C}$, a wilgotność względna 45%. Układy chłodnicze mogą także współpracować z wodą chłodzącą, często spotykaną na terenach dużych zakładów przemysłowych lub z natryskowo-wyparnymi skraplaczami.

W tabeli nr 1 zaprezentowano typowe temperatury osiągnięte w układach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Z tabeli 1 wynika, że rozpiętość temperaturowa chłodnictwa jest rozległa - poczynając od -35°C , a kończąc na $+25^{\circ}\text{C}$. Zdarzają się także przypadki zapotrzebowania o jeszcze innych temperaturach, ale są one niszowe - jak np. wykorzystanie ciekłego azotu do liofilizacji, czy układy sprężarkowe kaskadowe komór kriogenicznych.

To na co warto zwrócić uwagę to fakt, że także w ramach jednego segmentu może być dość spora rozpiętość temperatury. Dotyczy to zwłaszcza klimatyzacji. Najlepszym przykładem jest klimatyzacja pomieszczeń. Układy bezpośredniego odparowania zgodnie z zaleceniami powinny mieć ustawioną temperaturę odparowania $+5^{\circ}\text{C}$ (choć instalatorzy często regulują

układ tak, aby pracował na 0°C), podczas gdy układy z wodą lodową pracują w trybie +7/+12, a w najbardziej znanym układzie chłodu sieciowego w Europie (w Sztokholmie) woda lodowa ma temperatury +14/+20 [1].

Tab. 1. Temperatury uzyskiwane w instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych

Zastosowanie	Temperatura czynnika chłodniczego bezpośredniego odparowania systemach	Temperatura wody lodowej wylot/wlot do chillera
	°C	°C/°C
Lodowiska	-9	-12/-9
Chłodnictwo niskotemperaturowe	Od -35 do -30	-
Chłodnictwo średniotemperaturowe	-10	-12/-9
Chłodnictwo wysokotemperaturowe	Od -5 do +2	-5/-1
Klimatyzacja bytowa	+5 °C	+7/+12
Klimatyzacja sal sportowych	+5 C	+6/+12
Klimatyzacja sal fitness	+5 C	+6/+12
Data center	+5 +15	7/12 17/25
Przemysł: chłodzenie wtryskiwarek	-	+14/+20
Przemysł: chłodzenie sprężarek powietrza	-	+14/+20 +25/+30
Przemysł: chłodzenie laserów do cięcia blachy	-	+14/+20
Przemysł: produkcja piwa	0	+0/+2

Warto tutaj także wspomnieć, że w niektórych budynkach instalacje chłodnicze i klimatyzacyjne konsumują największą ilość energii, są to:

- supermarkety i hipermarkety - około 50% energii elektrycznej jest przeznaczana na potrzeby mrożenia, chłodzenia i klimatyzacji [2],
- budynki data center [3].

Porównanie zapotrzebowania na chłód dla lokali różnego typu

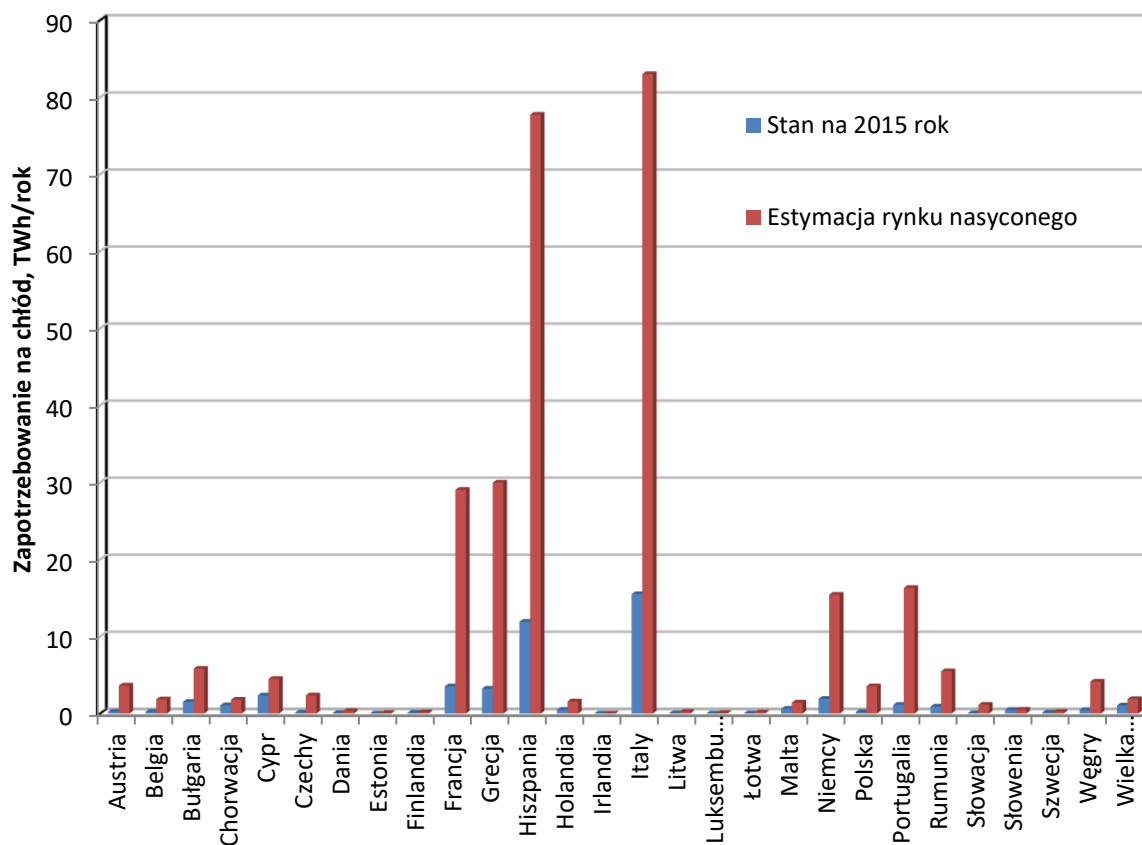
Zapotrzebowanie na moc chłodniczą zależy od bardzo wielu aspektów. W przypadku kłód klimatyzacji należy uwzględnić następujące parametry:

- temperaturę powietrza zewnętrznego;
- wilgotność powietrza wewnątrz klimatyzowanych pomieszczeń i wszystko co na tę wilgotność może wpływać (w przypadku dużej wilgotności - np. w przypadku basenów

- źle dobrany system klimatyzacji będzie jedynie osuszał powietrze, a nie powodował jego ochładzanie);

- nasłonecznienie poszczególnych przegród;
- przeszklenie ścian;
- współczynniki przenikania ciepła ścian i okien;
- krotność wymian powietrza;
- infiltrację;
- wewnętrzne zyski ciepła (od urządzeń, ludzi, zwierząt).

Największe zapotrzebowanie na chłód do klimatyzacji występuje w obiektach typu data center. Sięga ono nawet kilkadziesiąt kW/m². Klimatyzacja budynków mieszkalnych to zazwyczaj wartości od 50 do 120 W/m², pomieszczenia biurowe to 60-200 kW/m², magazyny w marketach 15 W/m², hale sportowe to moc na poziomie 180 W/m² [4], sale fitness to 100 W/m² [4].



Rys. 1. Zapotrzebowanie na chłód na cele klimatyzacji lokali mieszkaniowych przez poszczególne kraje Unii Europejskiej [5].

W przypadku nowych budynków użyteczności publicznej i komercyjnej klimatyzacja w Polsce jest w zasadzie standardem, za to klimatyzacja lokali mieszkalnych jest na początku rozwoju rynku. Zjawisko to dotyczy niemal całej Europy. Badania Jakubcionisa i Carlssona [5]

pokazują, że europejski rynek klimatyzacji lokali mieszkalnych jest na poziomie niespełna 10%, gdy już w 2009 r. w Stanach Zjednoczonych 87% lokali mieszkaniowych było wyposażonych w klimatyzację. W Japonii ten odsetek jest jeszcze większy. Na rysunku 1 zaprezentowano stan z 2015 r. oraz przewidywany poziom pełnego nasycenia rynku dla poszczególnych krajów Unii Europejskiej.

W tabeli 2 przedstawiono, oprócz stanu z 2015 i estymowanego maksymalnego zapotrzebowania na chłód do celów klimatyzacji pomieszczeń mieszkaniowych, także wartości jednostkowe zapotrzebowania na chłód oraz jaki odsetek lokali wyposażonych w system klimatyzacji oznacza nasycenie rynku.

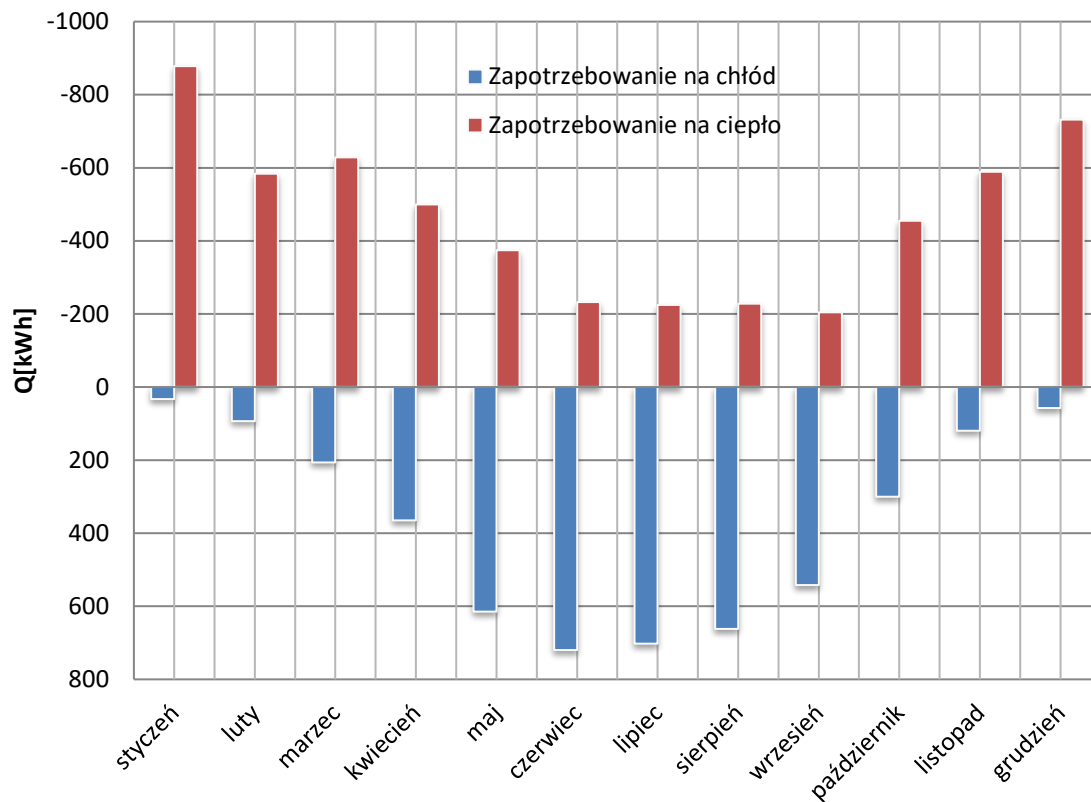
Tab. 2. Estymacja zmian rynku klimatyzacji w budynkach mieszkaniowych na terenie Unii Europejskiej [5].

Kraj	Rok 2015		Dla rynku nasyconego	
	Zapotrzebowanie na chłód		Średnie jednostkowe zapotrzebowanie na chłód	powierzchnia lokali z systemami klimatyzacji
	TWh/rok	TWh/rok	kWh/m ² rok	%
Austria	0,23	3,63	14,1	58,2
Belgia	0,23	1,84	6,9	40,4
Bułgaria	1,51	5,82	25,6	80,3
Chorwacja	1,08	1,79	22,1	74,0
Cypr	2,34	4,49	75,8	97,3
Czechy	0,12	2,35	11,6	54,8
Dania	0,05	0,33	4,3	23,1
Estonia	0,00	0,06	4,9	28,7
Finlandia	0,08	0,16	4,0	16,3
Francja	3,52	29,04	15,5	59,7
Grecja	3,23	29,98	55,5	95,7
Hiszpania	11,92	77,74	36,7	84,7
Holandia	0,48	1,58	5,8	34,1
Irlandia	0,00	0,00	0,0	0,0
Italy	15,50	83,01	34,4	82,5
Litwa	0,03	0,23	7,3	39,8

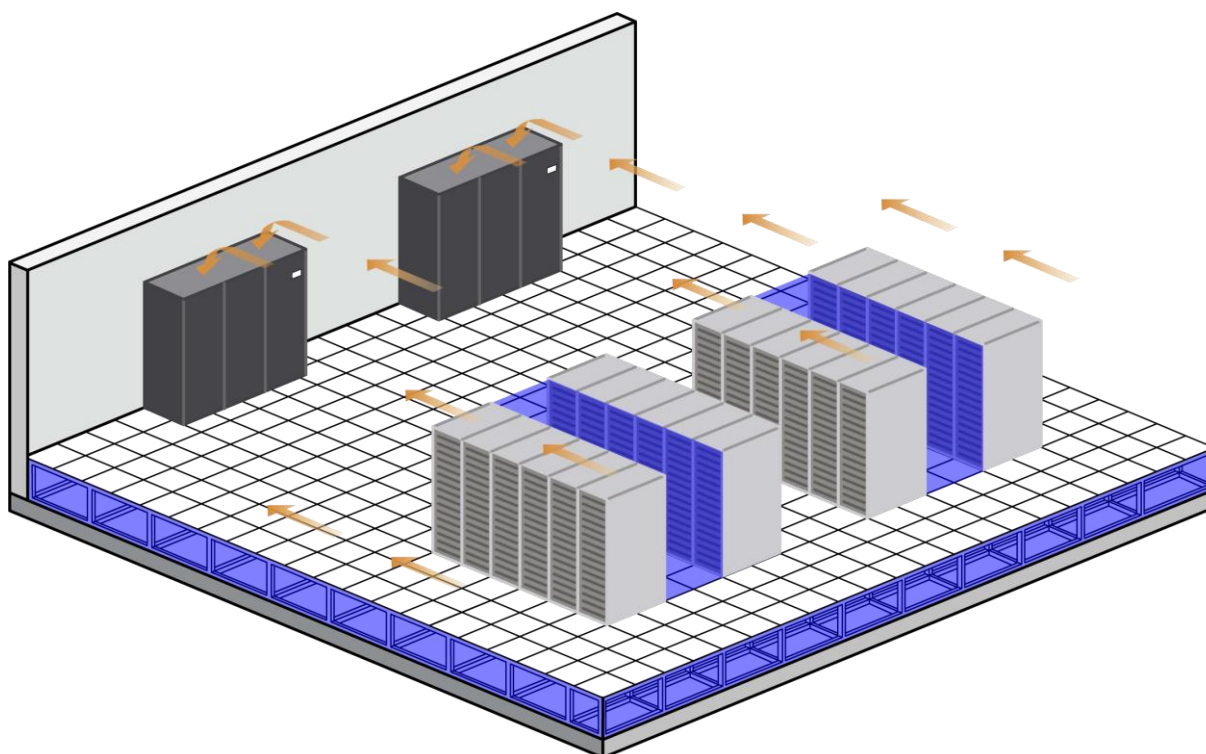
Kraj	Rok 2015		Dla rynku nasyconego	
	Zapotrzebowanie na chłód		Średnie jednostkowe zapotrzebowanie na chłód	powierzchnia lokali z systemami klimatyzacji
	TWh/rok	TWh/rok	kWh/m ² rok	%
Luksemburg	0,00	0,07	6,5	39,0
Łotwa	0,02	0,14	5,9	35,0
Malta	0,63	1,43	61,7	97,3
Niemcy	1,91	15,42	8,8	46,1
Polska	0,19	3,54	8,2	44,5
Portugalia	1,12	16,31	31,9	82,0
Rumunia	0,90	5,49	20,2	70,0
Słowacja	0,04	1,14	12,5	53,7
Słowenia	0,47	0,50	13,0	56,7
Szwecja	0,13	0,22	3,7	11,7
Węgry	0,46	4,14	17,6	69,4
Wielka Brytania	1,05	1,88	4,7	16,9
Razem:	24,38	292,34		

O ile w przypadku lokali mieszkaniowych w dość przewidywalny sposób można ustalić jednostkowe zapotrzebowanie na chłód do celów klimatyzacji, o tyle dla pozostałych przypadków klimatyzacji w lokalach komercyjnych, czy usługowych jest to sprawa wymagająca indywidualnego podejścia. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe zapotrzebowanie na chłód i ciepło przez pomieszczenie biurowe zlokalizowane w wysokim budynku o dużym przeszkleeniu [6]. Zapotrzebowanie na chłód na cele klimatyzacji występuje praktycznie w każdym miesiącu.

W przypadku klimatyzacji obiektów typu data center (rys. 3) zapotrzebowanie jednostkowe na chłód uzależnione jest od rozmieszczenia szaf rackowych w serwerowni, ich wypełnienia serwerami oraz wysokości. Ze względu na duże zyski ciepła od urządzeń - przyjmuje się, że wymagana moc chłodnicza równa się mocy elektrycznej serwerów.



Rys. 2. Zapotrzebowanie na chłód i ciepło pomieszczenia biurowego w oszklonym budynku [6].



Rys. 3. Klimatyzacja w obiektach typu datacenter [3]

Natomiast zapotrzebowanie na chłód w obiektach handlowych obejmuje zapotrzebowanie na:

- chłód na cele mrożenia żywności;
- chłód na cele chłodzenia żywności;
- chłód na cele klimatyzacji.

Każdy z wymienionych układów wymaga innej temperatury medium chłodzącego. W Hipermarketach, supermarketach i dyskontach gondole mroźnicze, lody chłodnicze i witryny chłodnicze zasilane są za pomocą centralnego źródła chłodu co sprawia, że odciążają one pośrednio system klimatyzacji - stąd też jednostkowe łączne zapotrzebowanie na chłód najczęściej nie przekracza 100 W/m^2 [7]. W przypadku mniejszych sklepów osiedlowych wszystkie urządzenia służące do mrożenia i chłodzenia żywności są urządzeniami autonomicznymi. Powoduje to, że ciepło ze skraplaczy trafia bezpośrednio do wnętrza sklepu i następuje to znaczne obciążenie systemu klimatyzacji przez co jednostkowe zapotrzebowanie na chłód często przekracza 200, a na nawet 300 W/m^2 . Ostatnim rodzajem obiektów dla których da się określić jednostkowe zapotrzebowanie na moc chłodniczą to lodowiska - moc obliczeniowa $200\text{-}260 \text{ W/m}^2$ powierzchni lodu [8].

Zapotrzebowanie na moc chłodniczą w przypadku przemysłu zależy od:

- procesu technologicznego;
- mocy chłodzonych urządzeń;
- w przypadku chłodni, czy mroźni zależy od jej przeznaczenia: czy będzie służyła do przechowywania żywności, czy do jej zamrażania.

W przypadku zapotrzebowania na chłód w przemyśle rozbieżności są tak duże, że nie przedstawiono konkretnych zakresów.

Techniki chłodzenia

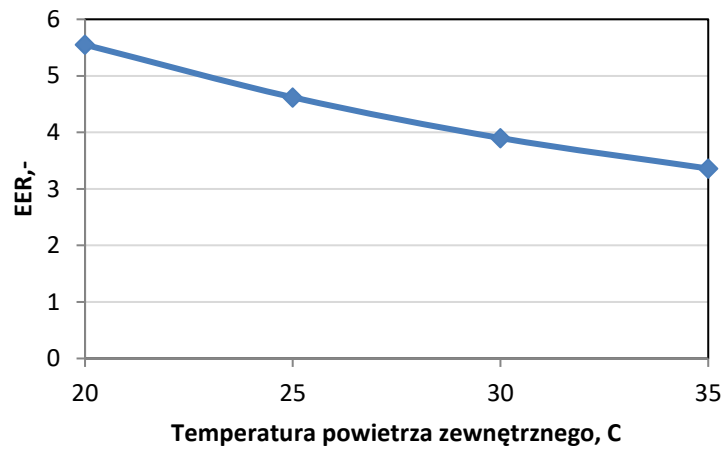
Wytwarzanie chłodu można zrealizować na kilka sposobów. Najpopularniejszą metodą jest wykorzystanie układu sprężarkowego. Napędzane energią elektryczną układy sprężarkowe są stosowane w zasadzie w pełnym zakresie opisywanych zapotrzebowań. Innymi metodami chłodzenia są układy sorpcyjne, które do napędu wymagają strumienia ciepła - co sprawia, że chętnie są wykorzystywane tam gdzie pojawia się ciepło odpadowe lub intencyjnie w systemach trójgeneracji [9,10].

Układy chłodnicze ocenia się przede wszystkim z wykorzystaniem współczynnika efektywności chłodniczej EER (ang. *energy efficiency ratio*), który jest stosunkiem uzyskiwanej mocy chłodniczej Q_{E} do strumienia energii napędowej L:

$$\text{EER} = Q_{\text{E}} / L \quad (1)$$

Dla urządzeń sprężarkowych strumieniem energii napędowej jest moc elektryczna sprężarki, a w przypadku układów sorpcyjnych jest to strumień ciepła dostarczany do generatora, czy desorbera.

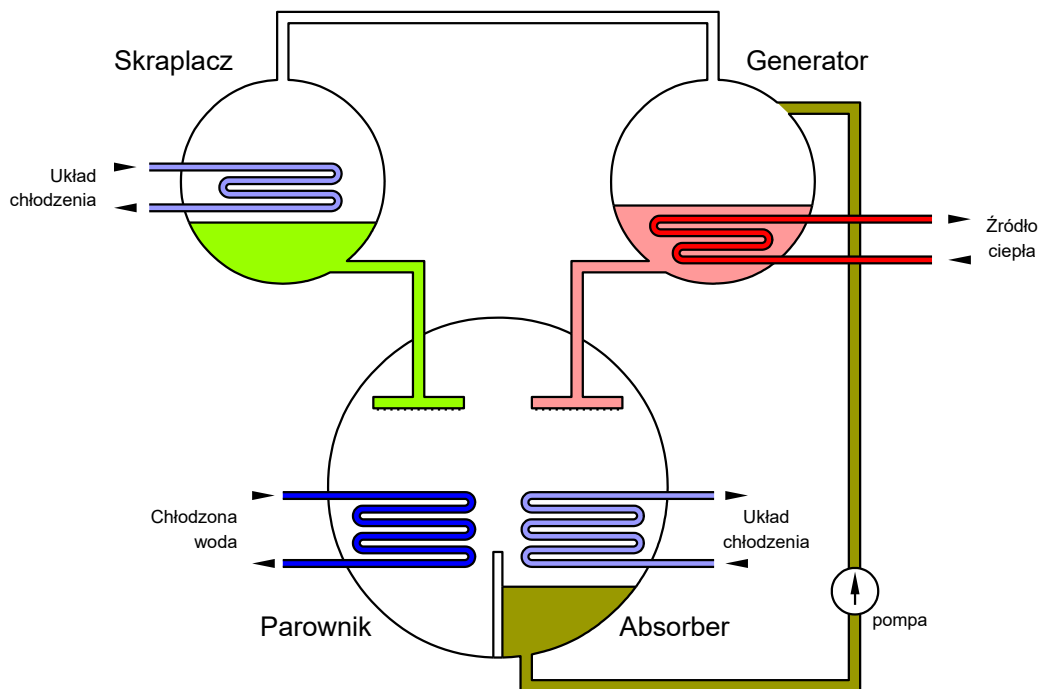
Na rysunku 4 przedstawiono zmianę współczynnika EER dla chillera wody lodowej współpracującego ze skraplaczem powietrznym. Wyraźnie widać, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza zewnętrznego efektywność urządzenia spada.



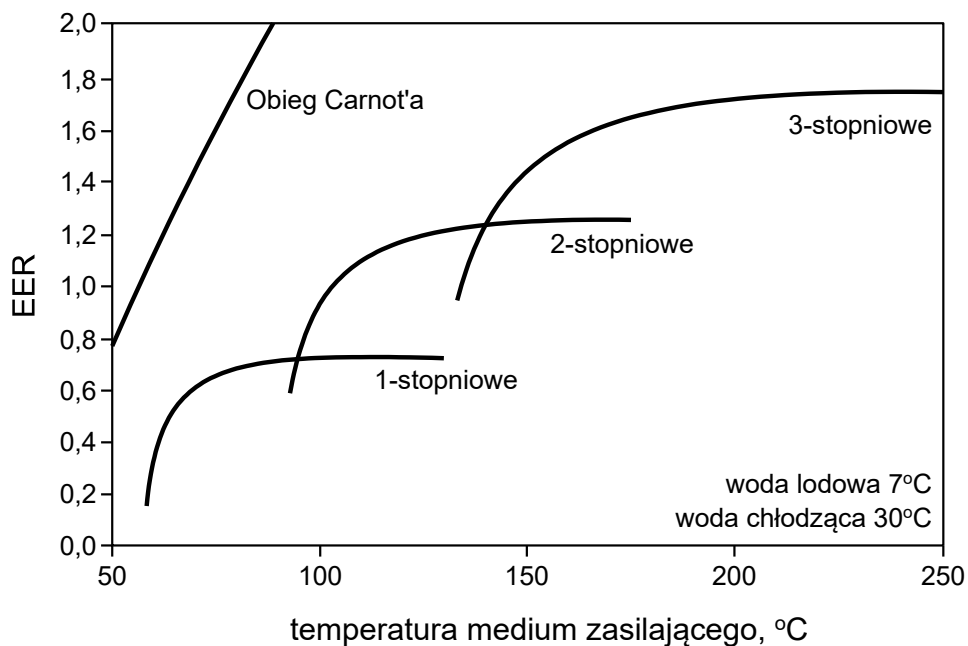
Rys. 4. Współczynnik EER dla sprężarkowego chillera wody lodowej ze skraplaczem powietrznym

1. Układy sorpcyjne

W technice wykorzystywane są dwa rodzaje urządzeń sorpcyjnych. Pierwsze z nich to urządzenia absorpcyjne (rys. 5), drugie to układy adsorpcyjne (rys. 10). Komercyjne urządzenia absorpcyjne występują jako urządzenia jednostopniowe i dwustopniowe. Układy trzystopniowe są póki co na etapie badań. Na schemacie 6 zaprezentowano współczynniki efektywności EER układów absorpcyjnych w funkcji temperatury medium zasilającego.



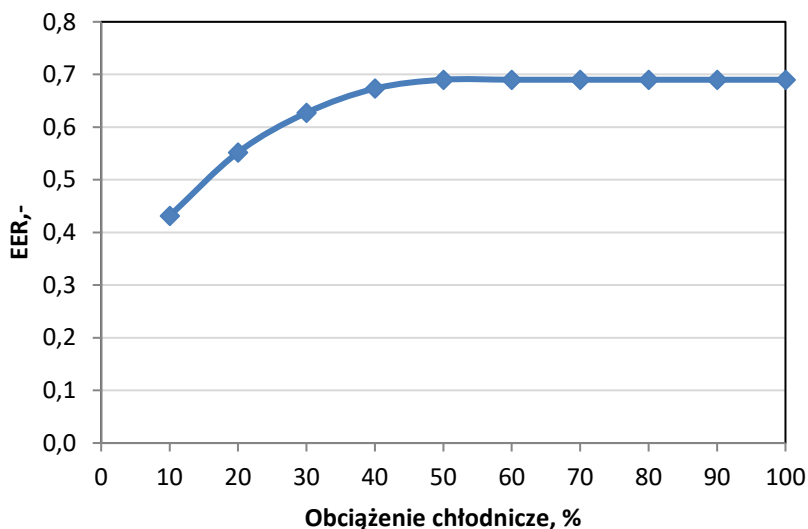
Rys. 5. Jednostopniowy układ absorpcyjny



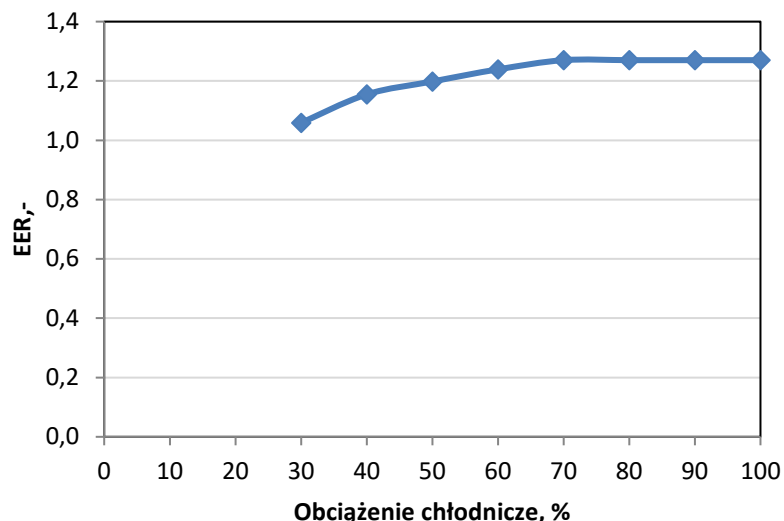
Rys. 6. Współczynnik EER urządzeń absorpcyjnych w funkcji temperatury medium zasilającego [1]

Układy jednostopniowe są w stanie osiągnąć maksymalnie EER na poziomie 0,7, a układy dwustopniowe 1,2 przy czym wymagają zdecydowanie wyższej temperatury zasilania.

Ponadto dla układów absorpcyjnych (rysunek 7 i 8) współczynnik EER zmniejsza się wraz ze spadkiem obciążenia, a poniżej pewnej wartości układ nie może pracować. W przypadku układów sprężarkowych problem ten jest rozwiązany poprzez zastosowanie inwerterów do napędu sprężarek.



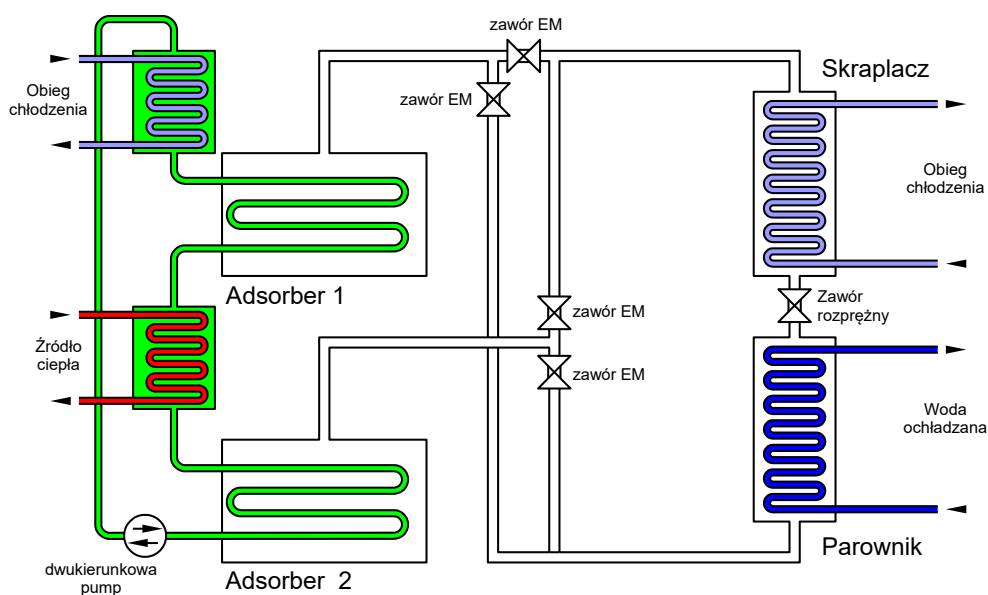
Rys. 7. Współczynnik EER dla absorpcyjnego urządzenia jednostopniowego w funkcji obciążenia [11]



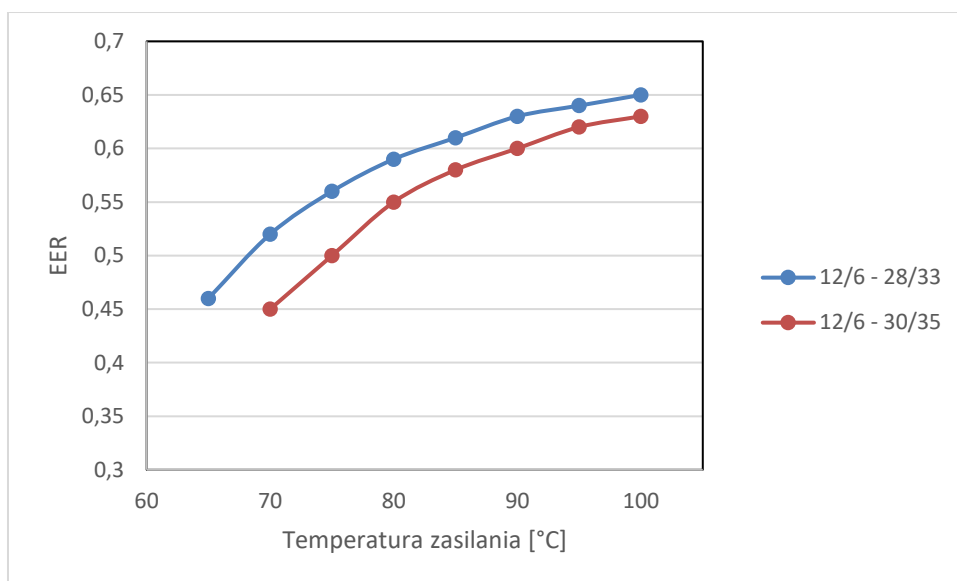
Rys. 8. Współczynnik EER dla absorpcyjnego urządzenia dwustopniowego w funkcji obciążenia [12]

Ze względu na stosunkowo duże wymagania temperaturowe układy absorpcyjne nie mogą być napędzane przez sieć ciepłowniczą (w Warszawie temperatura latem spada to 72°C) - natomiast z powodzeniem mogą być napędzane parą z przeciwprężności czy parą z upustu ciepłowniczego na terenie elektrowni.

Urządzenia adsorpcyjne nie mają problemów z pracą w momencie gdy zmniejsza się obciążenie. Podobnie jak w przypadku urządzeń absorpcyjnych temperatura zasilania wpływa na współczynnik EER (rys. 10). Zaletą tych urządzeń w porównaniu do urządzeń absorpcyjnych jest fakt, że temperatura zasilania może być niższa. Układy pracujące na parze roboczej woda/silikażel mogą pracować już przy temperaturze 55°C , co sprawia, że układy adsorpcyjne mogą być "napędzane" wodą ciepłowniczą [14].



Rys. 9. Adsorpcyjny układ chłodniczy typu thermal wave



Rys. 10. EER dla urządzeń adsorpcyjnych [13]

W przypadku urządzeń sorpcyjnych także bardzo istotnym parametrem jest temperatura medium współpracującego ze skraplaczem. W obu przypadkach gdy temperatura przekroczy $+30^{\circ}\text{C}$ urządzenia przestają działać. Powoduje to, że skraplacze nie mogą być chłodzone powietrzem tylko wodą chłodzącą, która współpracuje albo z systemem wody chłodniczej na terenie zakładu albo z natryskowo-wyparną wieżą chłodniczą.

Wnioski

Jednostkowe zapotrzebowanie na chłód przez budynki zawiera się w przedziale od kilku do kilku tysięcy W/m^2 . Najprostsze do oszacowania jest zapotrzebowanie na cele klimatyzacji. Pozostałe zastosowania chłodnictwa wymaga zawsze indywidualnego podejścia. Dotyczy to zarówno przemysłu spożywczego, maszynowego czy usług.

Branża chłodnicza i klimatyzacyjna w Polsce ma przed sobą ogromny potencjał rozwoju. W pierwszej kolejności wynika to z nienasycenia rynku. W przypadku klimatyzacji lokali mieszkalnych nasycenie rynku szacuje się na poziomie 5%. Drugie zagadnienie to legislacja, która eliminuje z użytku czynniki chłodnicze (tak zwane f-gazy) - sprawia to, że coraz popularniejsze stają się metody chłodzenia inne niż sprężarkowe. Trzecie zagadnienie to rozwój trójgeneracji i chłodu sieciowego. W Europie jest już ponad 200 miast gdzie instalacje chłodu sieciowego występują. W Polsce rozwiązanie to jest obecnie na poziomie szczątkowym.

Literatura

- [1] Grzebielec A. Potencjał zastosowania sorpcyjnych urządzeń chłodniczych w systemach chłodu sieciowego. *Chłodnictwo* 2017;52:4–8.
- [2] Tryjanowski M, Mazurkiewicz P, Ratajczak W. Praktyczne aspekty w projektowaniu instalacji chłodniczych w supermarketach. *Chłodnictwo&KLimatyzacja* 2018;8:54–60.
- [3] Grzebielec A, Kłós N, Kuta J. Przegląd technik chłodzenia serwerowni. *Chłodnictwo* 2018;5:4-11.
- [4] Osieka P. P. W. Instalacji ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji i wod.-kan. Hala sportowa w Poznaniu 2007.
- [5] Jakubcionis M, Carlsson J. Estimation of European Union residential sector space cooling potential. *Energy Policy* 2017. doi:10.1016/j.enpol.2016.11.047.
- [6] Rokicka A. Analiza techniczno ekonomiczna zastosowania trój-rurowego i dwu-rurowego systemy typu VRV w budynku biurowym o przeszklonej fasadzie. Warszawa: Politechnika Warszawska; 2015.
- [7] Baxter V. Advances in supermarket refrigeration systems. Oak Ridge Natl Lab Oak Ridge, TN 2002.
- [8] Pelc M, Student W. Projekt budowlany/wykonawczy przebudowy sztucznego lodowiska, przy ul. Sienkiewicza w Gorlicach 2008.
- [9] Grzebielec A, Rusowicz A. Analysis of the use of adsorption processes in trigeneration systems. *Arch Thermodyn* 2013. doi:10.2478/aoter-2013-0028.
- [10] Chorowski M, Pyrka P. Modelling and experimental investigation of an adsorption chiller using low-temperature heat from cogeneration. *Energy* 2015;92:221-9. doi:10.1016/j.energy.2015.05.079.
- [11] York. YIA - Wytwornica wody chłodniczej z pojedynczym obiegiem. Przewodnik techniczny. n.d.
- [12] York by Johnson Controls. Model YPC ParaFlow Two-Stage Direct-Fired Absorption Chiller-Heaters Style D. 2011.
- [13] GBU. Adsorption Chiller NAK: Chilling Capacity from 50 to 430 kW. n.d.
- [14] Szelański A, Grzebielec A. Wykorzystanie sieci ciepłowniczych w systemach chłodzenia słonecznego. *Rynek Energii* 2018;139:47-54.