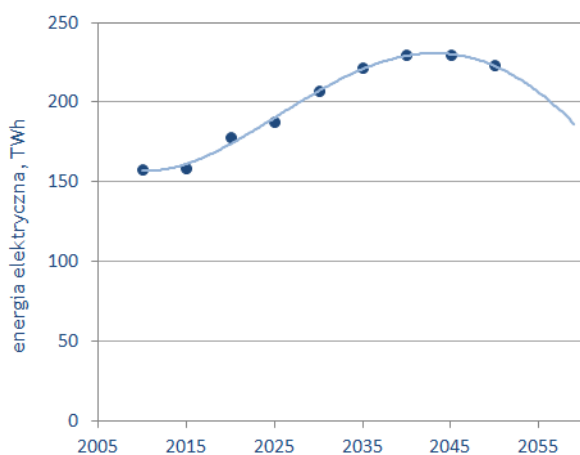


Analiza techniczno-ekonomiczna produkcji chłodu z wykorzystaniem miejskiej sieci ciepłowniczej

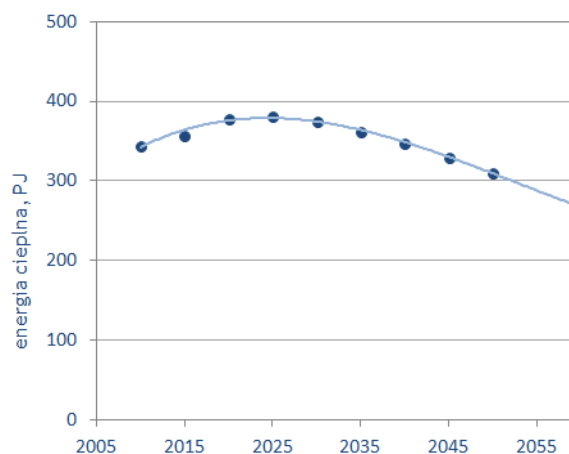
ang.: Technical and economical analysis of cold production using district heating network.

1) Wstęp

Przyszłością elektroenergetyki jest nieunikniony wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Rosnąca konsumpcja będzie jednym z czynników wzrostu cen tej formy energii, a co za tym idzie - koniecznością ograniczenia zużycia energii elektrycznej przez odbiorców. Patrząc na rozwój kogeneracji do produkcji energii elektrycznej i ciepła warto pochylić się również nad prognozami odnoszącymi się do elektrociepłowni oraz miejskich sieci ciepłowniczych. Te, według Krajowej Agencji Poszanowania Energii, będą musiały sprostać znacznemu spadkowi sprzedaży ciepła w związku z rozwojem budownictwa pasywnego oraz ocieplającym się klimatem.



Wykres 1. Prognoza produkcji energii elektrycznej w Polsce według KAPE.



Wykres 2. Prognoza produkcji ciepła sieciowego w Polsce według KAPE.

Wspomniane prognozy to koszmar dla elektrociepłowni oraz miejskich sieci ciepłowniczych. Obserwujemy to szczególnie latem w dużych miastach, gdy na potrzeby klimatyzacji sprężarkowej

konsumowane są ogromne ilości energii elektrycznej i jednocześnie niewielkie ilości ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej.

2) Obecne rozwiązania klimatyzacji - agregaty sprężarkowe

W chłodnictwie i klimatyzacji agregaty sprężarkowe są najbardziej popularnym rozwiązaniem agregatów. Wspomniane urządzenia podczas pracy pobierają duże ilości energii elektrycznej. Rozwiązanie to, choć powszechne, już dziś stanowi poważne zagrożenie dla systemu elektroenergetycznego w okresie letnim.

O jakim zagrożeniu mowa? Już w ubiegłym roku podczas lipcowych upałów wprowadzono 20. stopień zasilania. Polsce groziło widmo braku energii elektrycznej, której ogromne ilości pochłaniała właśnie klimatyzacja w sieciach kin, galerii handlowych czy biurowców. Komfort cieplny pracowników czy użytkowników budynków na dzień dzisiejszy stał się już standardem i trudno sobie wyobrazić, że z niego zrezygnujemy. Dodatkowo podczas długich fal upałów sektor elektroenergetyczny musi zmagać się z pogorszeniem warunków produkcji prądu - niskim poziomem wód czy zwiększoną ich temperaturą.

4) Agregaty absorpcyjne i adsorpcyjne

Czy istnieje zatem rozwiązanie, które pozwoli na roczną stabilizację systemów miejskich sieci ciepłowniczych, wykluczy duże straty przesyłowe związane z niewielkimi ilościami sprzedawanego ciepła oraz usprawni pracę elektrociepłowni? Odpowiedź stanowią ziębnicze agregaty sorpcyjne.

Agregaty sorpcyjne możemy podzielić na absorpcyjne i adsorpcyjne. Oba typy tych urządzeń łączą wykorzystanie ciepła do produkcji chłodu.

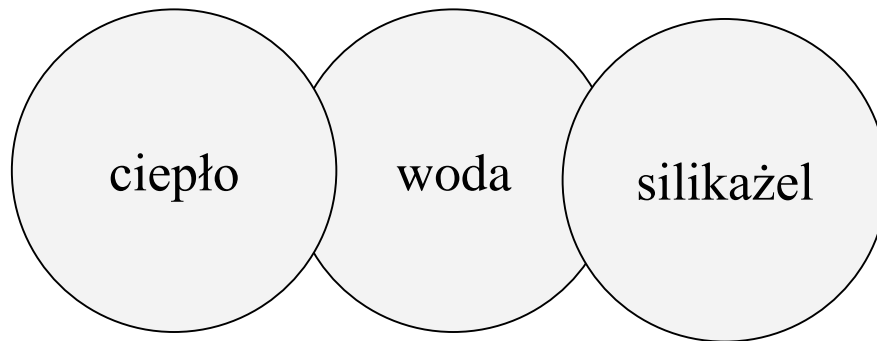
Z perspektywy miejskich przedsiębiorstw energetyki cieplnej lepszym rozwiązaniem jest instalowanie chłodziarek adsorpcyjnych. Agregaty te do zasilania wykorzystują wodę grzewczą o temperaturze niższej, czyli 60°C-75°C [1]. Jest to parametr zbliżony do wody zasilającej systemy przygotowania ciepłej wody użytkowej poza sezonem grzewczym, co stanowi ułatwienie w dostarczaniu ciepła do odbiorcy. Dodatkowo urządzenia adsorpcyjne są na niską temperaturę wody chłodzącej i niezależne od ryzyka krystalizacji.

5) Agregaty adsorpcyjne

Wykorzystanie miejskiej sieci ciepłowniczej w chłodnictwie jest szansą na poprawę warunków pracy miejskich przedsiębiorstw energetyki cieplnej oraz na zwiększenie wykorzystania energii produkowanej w kogeneracji.

a) Zasada działania agregatów adsorpcyjnych

W odróżnieniu od sprężarkowych, energią napędową agregatów adsorpcyjnych jest ciepło z miejskich sieci ciepłowniczych. Czynnikiem chłodniczym jest woda, dzięki czemu ograniczamy zużycie gazów syntetycznych - substancji o dużym potencjale efektu cieplarnianego ($GWP_{100}=1300$). Rolę adsorbera, który w cyklu termodynamicznym występuje w miejscu sprężarki, pełni silikażel, zeolit lub węgiel aktywny.



Rysunek 1. Podstawowe elementy agregatów adsorpcyjnych.

Proces chłodzenia zachodzący w chłodziarkach adsorpcyjnych polega na procesie adsorpcji i desorpcji. W pierwszym kroku następuje adsorpcja pary czynnika chłodniczego (wody) w stanie gazowym przez adsorbent (silikażel) przy niskim ciśnieniu w parowniku. Po zakończeniu procesu adsorpcji następuje odcięcie dopływu wody chłodzącej adsorber. Ciepła woda przepływająca przez wymiennik podnosi temperaturę i ciśnienie, co rozpoczyna proces desorpcji. Uwalniana para czynnika chłodniczego skrapla się w skraplaczu. Po zakończeniu procesu desorpcji następuje chłodzenie adsorbera i obniżenie ciśnienia w adsorberze do ciśnienia w parowniku [2].

b) Złoże adsorpcyjne

Wspomniany wcześniej silikażel, czyli ditlenek krzemu, to materiał tworzący złoże adsorpcyjne. Substancja ta charakteryzuje się dużym rozwinięciem powierzchniowym, wytrzymałością mechaniczną i temperaturową oraz obojętnością chemiczną. Jest ona bezpieczna i powszechnie stosowana między innymi w opakowaniach z elektroniką do pochłaniania nadmiaru wilgoci.

Silikażel w agregacie chłodniczym ma za zadanie zaadsorbować jak największą ilość czynnika, w tym przypadku wody. Materiał ten ma jednak wady. Wartość izosterycznego ciepła adsorpcji oraz ciepła parowania wody ograniczają efektywność produkcji chłodu. Pozwalają one na uzyskanie maksymalnego współczynnika COP jedynie na poziomie 0,8 [3].

6) Analiza LCC

Myśląc o inwestowaniu w system chłodzenia wykorzystujący powyższe rozwiązanie warto przeprowadzić analizę ekonomiczną metodą Life Cycle Cost, która pokazuje wady i zalety przedsięwzięcia nie zawsze widoczne z punktu widzenia analizy technicznej.

a) Przyjęte założenia

1. Analizę wykonano dla systemu klimatyzacji budynku Wydziału Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, pawilonu D-4.
2. Zapotrzebowanie budynku na chłód przyjęto zgodnie z dokumentacją budowlaną.
3. Analizy dokonuje się w oparciu o sprężarkowe i adsorpcyjne agregaty chłodnicze wybranych producentów: Carrier, SorTech, NET S.A.
4. Zapotrzebowanie budynku na energię ciepłą i elektryczną na cele chłodnicze obliczone na podstawie danych technicznych podawanych przez producentów.
5. Ze względu na możliwość wykorzystania istniejącej instalacji klimatyzacji bez konieczności przebudowy w proponowanych wariantach modernizacji pomija się koszty inwestycyjne i eksploatacyjne po stronie instalacji.
6. Stawki cen energii elektrycznej i ciepła o niskim parametrze przyjęte za Działem Ekonomicznym Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
7. Koszty inwestycyjne obliczone według cen katalogowych producentów oraz średnich kosztów serwisowania. [4] [5] [6] [7]
8. Obliczenia kosztów podawanych w Euro prowadzone według kursu Narodowego Banku Polskiego z dnia 8 kwietnia 2016 r.
9. Założony sezon chłodniczy o długości 180 dni z uwzględnieniem okresu pracy systemu na poziomie 50 % mocy projektowej. Łącznie 2700 h.
10. Obliczeniowy czas projektu przyjęty zgodnie z czasem życia agregatów podawanym przez producentów.

b) Dane

Typ agregatu, firma	Obliczeniowa moc chłodnicza	Moc elektryczna	Moc cieplna	EER/ COP
	kW	kW	kW	-
Sprężarkowy, Carrier	173	71,8	-	2,92
Adsorpcyjny, SorTech	173	8,2	266,15	0,65
Adsorpcyjny, NET S.A.	173	2,8	247,15	0,70

Tabela 1. Charakterystyka analizowanych urządzeń. [4] [5] [6] [7]

c) Wyniki analizy

Agregat	Zużycie energii elektrycznej	Zużycie energii cieplnej
	MWh/rok	MWh/rok
Sprężarkowy, Carrier	84,81	-
Adsorpcyjny, SorTech	9,69	314,39
Adsorpcyjny, NET S.A.	3,31	291,94

Tabela 2. Sezonowe zużycie energii na cele chłodnicze.

W załączonej poniżej tabeli 3. wyraźnie widać, że takim podmiotom jak Akademia Górniczo-Hutnicza, które ponoszą stosunkowo niewielkie koszty za energię, nie opłaca się inwestować w systemy chłodzenia zasilane ciepłem. Zestawione wskaźniki ekonomiczne jednoznacznie pokazują, że nawet obniżenie cen ciepła do 20 % w przypadku AGH nie pozwala na nazwanie analizowanych wariantów opłacalnymi.

Warto jednak zwrócić uwagę na wariant 6, w którym pod uwagę wzięto koszty energii, jakie są średnio ponoszone przez indywidualnych odbiorców. W tym przypadku modernizacja systemu klimatyzacji ma swoje uzasadnienie ekonomiczne.

Wariant		Wskaźnik					
		Koszt inwest.	Oszczędność		SPBT	NPV	IRR
			energii elektrycznej	pieniędzy			
		PLN	kWh/rok	PLN/rok	lata	PLN	%
1	Agregat firmy SorTech 100% ceny ciepła: 20 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh	597 231	75,12	5 106	117	-474 606	-7,2
2	Agregat firmy SorTech 70% ceny ciepła: 14 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh	597 231	75,12	10 335	57,8	-349 027	-3,8
3	Agregat firmy SorTech 50% ceny ciepła: 10 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh	597 231	75,12	13 821	43,2	-200 177	-1,2
4	Agregat firmy SorTech 20% ceny ciepła: 4 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh	597 231	75,12	19 050	31,3	-139 729	-0,3
5	Agregat firmy SorTech 100% ceny ciepła: 20 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh dofinansowanie inwestycyjne 50%	298 615	75,12	5 106	58,5	-175 991	-3,8
6	Agregat firmy SorTech 50% ceny ciepła MPEC Kraków: 22 zł/GJ śr. cena prądu wg taryfy G11: 0,56 zł/kWh	597 231	75,12	24 398	23,6	9 673	1,6
7	Agregat firmy NET 100% ceny ciepła: 20 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh	695000	81,5	8 137	85,4	-499 583	-5,8
8	Agregat firmy NET 50% ceny ciepła: 10 zł/GJ cena prądu: 0,33 zł/kWh	695000	81,15	16 229	42,8	-305 223	-2,2

Tabela 3. Wyniki analizy ekonomicznej.

7) Efekt ekologiczny

Nowe technologie z założenia powinny sprzyjać środowisku naturalnemu. Zastosowanie produkcji chłodu z wykorzystaniem miejskiej sieci ciepłowniczej ma potencjał środowiskowy ze względu na to, że wykorzystując ciepło do procesu adsorpcji ograniczamy zużycie energii elektrycznej pochłanianej przez sprężarki w klasycznych chłodziarkach.

Przyjmując metodykę Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego oraz wskaźnik emisji dwutlenku węgla zgodny z raportem Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami na rok 2015 [8] obliczono efekt ekologiczny w postaci oszczędności emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Projektowe zapotrzebowanie na chłód dla budynku wynosi 173 kW. W tabeli zestawiono emisje dla obecnego systemu chłodzenia oraz dla alternatywnego z zastosowaniem agregatu adsorpcyjnego.

Agregat, firma	Zużycie energii elektrycznej	Roczna emisja CO ₂	Zmniejszenie zużycie en. el.	Redukcja emisji
	MWh/rok	tCO ₂ /rok	MWh/rok	tCO ₂ /rok
Sprężarkowy, Carrier	84,81	70,52	-	-
Adsorpcyjny, SorTech	9,69	8,06	75,12	62,46
Adsorpcyjny, NET S.A.	3,31	2,75	81,5	67,77

Tabela 4. Efekt ekologiczny.

Wskaźnik emisji dla dwutlenku węgla według KOBIZE: $w_{e,CO_2} = 831,5 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$

Zastosowanie agregatu adsorpcyjnego pozwala zaoszczędzić 62,46 tony emisji dwutlenku węgla rocznie w przypadku agregatu firmy SorTech oraz 67,77 tony w przypadku agregatu firmy NET S.A. Jest to pozytywny aspekt szczególnie w kontekście polityki dekarbonizacji Unii Europejskiej do 2050 roku.

8) Analiza SWOT

Przeprowadzona analiza ekonomiczna jasno wskazuje, że zastosowanie tej technologii nie jest opłacalne dla dużych odbiorców, takich jak Akademia Górniczo-Hutnicza, którzy ponoszą niższe niż przeciętne koszty energii elektrycznej. Mówiąc o nowych technologiach nie można jednak mówić

tylko o pieniądzech. Dlatego przeprowadzono analizę SWOT (ang. Strengths Weaknesses Opportunities Threats), która wskazuje mocne i słabe strony zaproponowanej technologii oraz szanse i zagrożenia jej rozwoju.

8.1 Mocne strony

Wykorzystanie zjawiska adsorpcji pozwoli wykorzystać ciepło, które w związku z jego małym zużyciem w okresie letnim jest zrzucane przez elektrociepłownię. Dzięki temu zmniejszą się straty przesyłu ciepła oraz nastąpi roczna stabilizacja jego zużycia. Urządzenia adsorpcyjne, przeciwieństwie do absorpcyjnych, mogą być zasilane ciepłem o niskim parametrze, który latem w sieci wynosi 65°C. Ograniczenie zużycia energii elektrycznej przez agregaty adsorpcyjne pozwoli na zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia blackoutów. Mocną stroną tych urządzeń jest, oprócz zapewniania komfortu cieplnego, zapewnienie także komfortu akustycznego, związanego z brakiem wibracji. W przypadku budynku D4 modernizacja instalacji klimatyzacji pozwoliła na pozostawienie instalacji, a wymianę jedynie agregatu, co ograniczyło - już wysokie - koszty inwestycyjne.

8.2 Słabe strony

Słabą stroną są wysokie koszty inwestycyjne, które przedstawia analiza ekonomiczna. Ponadto występuje także problem związany z nieznanymi ofertami sprzedaży ciepła na cele chłodnicze przez miejskie przedsiębiorstwa energetyki ciepłej. Według pisma Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki, jeśli potraktujemy agregat wody lodowej jako dwufunkcyjny węzeł cieplny, w którym przygotowywana jest także ciepła woda użytkowa, to nie ma potrzeby wydzielania odrębnej grupy taryfowej na potrzeby dostawy ciepła do produkcji chłodu. Dodatkowo duży rozmiar urządzenia stanowi jego minus ze względu na potrzebną przestrzeń, głównie na dachu. Wadą jest także niski współczynnik efektywności, który dla agregatu niemieckiej firmy SorTech wynosi 0,65, a polskiej firmy NET S.A. 0,7.

8.3 Szanse

Rozwój i popularyzacja technologii wpłyną pozytywnie na jej atrakcyjność ekonomiczną, którą wzmocnią także rosnące ceny energii elektrycznej, z którymi będzie wiązał się krótszy czas zwrotu inwestycji. Atrakcyjną szansą jest także połączenie tej technologii z odnawialnymi źródłami energii, na przykład z kolektorami słonecznymi. Ciepło, które jest przez nie produkowane w dużych ilościach latem często przewyższa zapotrzebowanie gospodarstw domowych i głównie wykorzystywane jest do podgrzewania wody użytkowej. Zasilenie agregatów adsorpcyjnych tym ciepłem pozwoli wykorzystać je do celów chłodniczych i podnieść komfort cieplny w domach. Wykorzystanie miejskiej sieci ciepłowniczej w celach chłodniczych latem to także nowa jakość usług

miejskich przedsiębiorstw energetyki ciepłej, które będą zapewniać komfort użytkownikom nie tylko zimą, ale i latem.

8.4 Zagrożenia

Jeśli sprzedaż agregatów adsorpcyjnych na rynku polskim się nie rozwinie, to przy zakupie urządzeń za granicą będziemy się mierzyć z rosnącym standardem siły nabywczej i utrzymaniem nieopłacalności inwestycji. Kolejny problem stanowią ceny ciepła na cele chłodnicze w przypadku, gdy w agregat zainwestują przedsiębiorstwa energetyki ciepłej, co może zniechęcić odbiorców. Istnieje zagrożenie, że jeśli to użytkownicy zainwestują, to w przeciwieństwie do założeń analizy, cena ciepła nie spadnie.

Streszczenie PL

W artykule opisano techniczno-ekonomiczne aspekty wykorzystania miejskich sieci ciepłowniczych do produkcji chłodu na potrzeby klimatyzacji na przykładzie konkretnego obiektu użyteczności publicznej. Analiza zakłada modernizację istniejącego systemu klimatyzacji w budynku poprzez zastosowanie adsorpcyjnych agregatów chłodniczych.

Streszczenie ANG

The article discusses the technical and economic aspects of using district heating network to produce cold for conditioning basing on real public utility building. The analysis consists of the modernization of conditioning system through adsorption chillers application.

Literatura

- [1] Marcin Malicki: Sprężarkowo czy adsorpcyjnie? Metody produkcji chłodu przy pomocy ciepła sieciowego, Energetyka ciepła i zawodowa, BMP Sp. z o.o., Racibórz 2013
- [2] Marian Rubik: Ekologiczne i energetyczne korzyści wykorzystania ciepła sieciowego do produkcji chłodu - projekt SUMMERHEAT, COW, Warszawa, 2008
- [3] Monika Gwadera: Inżynieria i Aparatura Chemiczna Nr 4/2013, s. 317-318, Kraków, 2013
- [4] SorTech: Performance Data Adsorption Chiller Aggregates, Halle, 2015
- [5] SorTech: Preis- und Lieferinformationen Adsorptionskälteaggregate, Halle, 2015
- [6] Carrier SCS: Physical data 30RB 162-802, Montluel, 2011
- [7] New Energy Transfer: Zastosowanie trójzłożowych adsorpcyjnych agregatów chłodniczych NETI do wytwarzania chłodu z ciepła sieciowego, Warszawa
- [8] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami: Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2012 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2015, Warszawa, 2014