

Justyna KOT<sup>1</sup>

## ODZYSK CIEPŁA W OBIEKTACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ – WSTĘPNA ANALIZA EKONOMICZNA

W pracy przedstawiono analizę finansową systemów klimatyzacji z wykorzystaniem różnych systemów do odzysku ciepła w obiekcie użyteczności publicznej. Pozyskiwanie energii powstającej w układzie może być realizowane poprzez systemy takie jak rekuperacja, regeneracja czy pompa ciepła, które znajdują powszechne zastosowanie we wspomnianych obiektach użyteczności publicznej czy w budynkach mieszkalnych, wielo i jednorodzinnych. Do przeprowadzenia analizy posłużyła sala wykładowa Wydziału Fizyki Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie. Analizę poprzedza projekt instalacji klimatyzacyjnej w trzech wersjach. Wariant pierwszy, będący punktem odniesienia, stanowi centrala bez odzysku ciepła. Z wariantem bazowym porównano dwie centrale z systemami rekuperacyjnym oraz regeneracyjnym. W analizie wzięto pod uwagę koszty inwestycyjne, na które składają się koszty zakupu centrali wraz z niezbędną automatyką oraz koszty eksploatacyjne, w których ujęto koszty związane z użytkowaniem owych central tj. koszt pracy wentylatorów, wymiany filtrów, dostarczenia mediów zasilających urządzenia. Przeprowadzona analiza dowodzi, iż poniesione wyższe nakłady inwestycyjne zakupu centrali klimatyzacyjnej skutkują niższymi kosztami jej użytkowania. Koszty użytkowania centrali z najbardziej popularnym w zastosowaniu wymiennikiem rekuperacyjnym są niewiele wyższe od kosztów centrali z wymiennikiem regeneracyjnym, a oba rozwiązania pociągają za sobą około czterdzieści procentowe oszczędności w stosunku do systemu bez odzysku ciepła.

**Słowa kluczowe:** systemy odzysku ciepła, rekuperacja, regeneracja, pompa ciepła, koszty eksploatacyjne klimatyzacji

### 1. Wstęp

Przystępując do projektowania i wyboru najkorzystniejszego rozwiązania systemu klimatyzacji bierze się pod uwagę kilka kryteriów, jak parametry powietrza, które centrala ma za zadanie uzdatnić, gabaryty centrali czy zastosowane rozwiązania techniczne. Projektant zwraca uwagę na parametry powietrza nawiewanego, natomiast dla inwestora dodatkowo ważne są zagadnienia kosz-

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Justyna Kot, Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37, tel. (12) 628 35 89, e-mail: jknot@pk.edu.pl

tów urządzeń i ich późniejszej eksploatacji. Centrale klimatyzacyjne zawierają dużo prostych i pewnych w działaniu urządzeń. Za przygotowanie powietrza o odpowiedniej temperaturze odpowiedzialne są chłodnice i nagrzewnice. Ponadto centrale klimatyzacyjne posiadają nawilżacz, wielostopniowe filtrowanie, a czasem i dodatkową nagrzewnicę. Do procesu uzdatniania powietrza dostarczana jest energia, która zostaje usuwana wraz z powietrzem wywiewanym. W systemach wentylacyjnych jest to energia, którą można odzyskać i ponownie wykorzystać.

## 2. Odzysk ciepła

Wykorzystanie odzyskanej energii może być realizowane na kilka sposobów. Najprostszym jest recyrkulacja powietrza wywiewanego. Polega ona na mieszaniu się części strugi powietrza powracającego z pomieszczenia ze strugą powietrza zewnętrznego. Metoda prosta, ale wymaga spełnienia ważnego kryterium: powietrze recyrkulowane musi być czyste i wolne od zapachów.

Inne formy odzysku ciepła podzielono, wg zastosowanych urządzeń, na trzy podstawowe grupy [2]:

- rekuperatory,
- regeneratory,
- pompy ciepła.

W pierwszej grupie najpopularniejsze w zastosowaniu są płytowe wymienniki przeponowe. Przez wymiennik przepływają strugi powietrza zewnętrznego oraz powracającego z pomieszczenia. W skutek wymiany ciepła wykorzystywana jest odzyskana energia do przygotowania powietrza do nawiewania czy dalszego uzdatniania.

Kolejną grupę tworzą urządzenia regeneracyjne, wykorzystujące masę lub roztwór akumulujący ciepło jawne lub całkowite jednego ze strumieni powietrza. Pobrane przez masę/roztwór ciepło jest następnie oddawane drugiemu strumieniowi powietrza.

Do trzeciej grupy należą pompy ciepła, czyli urządzenia realizujące lewobieżny obieg termodynamiczny. Krążący w obiegu czynnik chłodniczy pobiera ciepło ze źródła o niższym potencjale (tzw. dolne źródło) i przekazuje do odbiornika o wyższym potencjale (tzw. źródło górne)

Najważniejsze cechy systemów do odzysku ciepła przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wady i zalety podstawowych urządzeń do odzysku ciepła

Table 1. The pros and cons of Basic heat recovery equipment

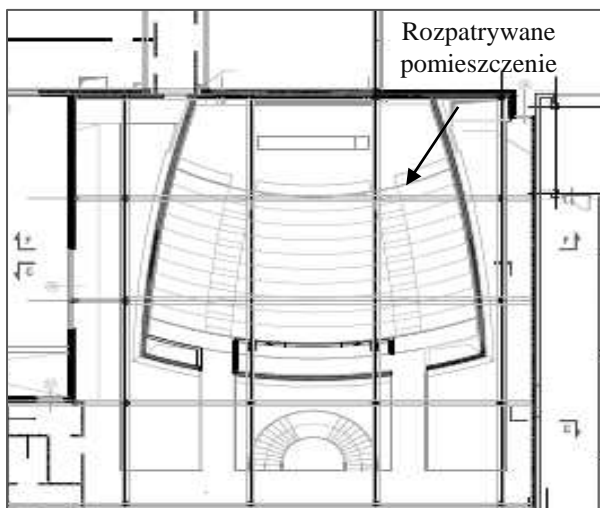
	<b>Zalety</b>	<b>Wady</b>
<b>Rekuperacja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– prostota konstrukcji</li> <li>– brak konieczności doprowadzenia energii spoza układu</li> <li>– stabilność działania</li> <li>– możliwość regulacji wydajności wymiennika – zastosowanie by – pass</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– możliwość występowania szronienia już w temperaturze <math>-5^{\circ}\text{C}</math></li> <li>– duże gabaryty centrali z wymiennikiem krzyżowym</li> <li>– możliwość pojawienia się nie szczelności wymienników z czasem eksploatacji.</li> </ul>
<b>Regeneracja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysokie sprawności odzyskiwania ciepła</li> <li>– możliwość odzyskiwania „chłodu” w okresie letnim, z powietrza wywiewanego</li> <li>– możliwość płynnej lub skokowej regulacji wydajności wymiennika w zależności od konstrukcji</li> <li>– prostota konstrukcji</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wymagane doprowadzenie energii z zewnątrz</li> <li>– układ nie jest szczelny (istnieje możliwość przecieku powietrza w zależności od aktualnej różnicy ciśnień)</li> <li>– możliwość występowania zjawiska przenikania zapachów</li> <li>– możliwość wystąpienia awarii ze względu na obecność części ruchomych</li> </ul>
<b>Pompa ciepła</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– szczelny układ</li> <li>– uniwersalność pracy (chłodzenie latem, grzanie zimą)</li> <li>– możliwość regulacji wydajności przez zmianę wydajności sprężarki</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wymagane doprowadzenie energii z zewnątrz</li> <li>– wysoki koszt urządzenia</li> </ul>

### 3. Projekt klimatyzacji

#### 3.1. Założenia projektowe

Analiza ekonomiczna kosztów inwestycyjnych i klimatyzacyjnych została poprzedzona projektem instalacji klimatyzacji w obiekcie użyteczności publicznej. System klimatyzacji zaprojektowano dla sali wykładowej Wydziału Fizyki Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie. Rysunek 1 przedstawia zarys auditorium. Omawiana sala ma następujące parametry konstrukcyjno – budowlane:

- budowa amfiteatralna,
- powierzchnia  $206,6\text{ m}^2$ ,
- kubatura  $1150\text{ m}^3$ ,
- 240 miejsc siedzących,
- brak przeszklenia,
- sztuczne naświetlenie.



Rys. 1. Schemat rozpatrywanego pomieszczenia

Fig. 1. Diagram of the room

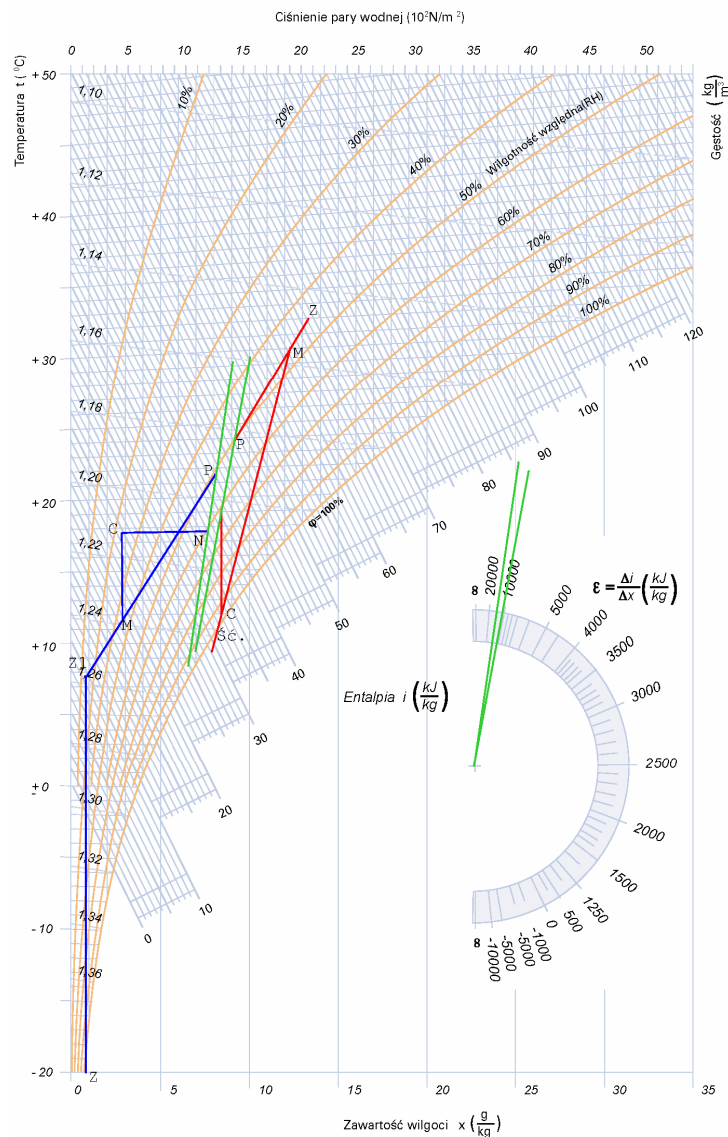
Projektując centralę klimatyzacyjną zostały przyjęte następujące założenia: parametry powietrza zewnętrznego i wewnętrznego w okresie letnim i zimowym oraz czas użytkowania obiektu wynoszący 5 dni w tygodniu po 10 godzin łącznie przez 8 miesięcy. Parametry projektowe powietrza przedstawiono w tabeli 2. Przyjęto również, iż sala będzie wyposażona w sprzęt multimedialny niezbędny do prowadzenia zajęć.

W pierwszym etapie projektowania obliczono zyski ciepła powstałe w pomieszczeniu. W bilansie uwzględnione zostały zyski powstające wskutek przebywania ludzi (współczynnik jednoczesności przebywania ludzi w pomieszczeniu  $\psi=0,6$ ), przenikania ciepła przez przegrody, używania sztucznego oświetlenia zastosowania sprzętów elektrycznych wydzielających ciepło. W zbilansowanym pomieszczeniu uzyskano maksymalną wartość obciążenia chłodniczego ok. 21 kW. Na takie zapotrzebowanie chłodu zostały dobrane 3 centrale klimatyzacyjne.

Tabela 2. Założone parametry projektowe powietrza wewnętrznego i zewnętrznego centrali klimatyzacyjnej

Table 2. Design parameters of internal and external air AHU

	<i>Powietrze w pomieszczeniu</i>		<i>Powietrze zewnętrzne*</i>	
LATO	$T_P$ [°C]	$\phi_P$ [%]	$T_Z$ [°C]	$\phi_Z$ [%]
	24	50	32	45
ZIMA	$T_P$ [°C]	$\phi_P$ [%]	$T_Z$ [°C]	$\phi_Z$ [%]
	22	50	-20	100



Rys. 2. Projekt centrali klimatyzacyjnej bez odzysku ciepła na wykresie Moliera  
 Fig. 2. AHU project without heat recovery on the chart od Moliera.

Jako punkt odniesienia do przeprowadzenia analizy kosztów, dobrano centralę bez urządzenia do odzysku ciepła. Porównywane z nią zostały centrale z wymiennikiem krzyżowym oraz obrotowym, reprezentującymi dwie grupy urządzeń do odzysku ciepła, a jednocześnie najbardziej popularnymi w zastosowaniu na rynku klimatyzacyjnym. W tabeli 3 zestawiono sprawność oraz wydajności urządzeń w centralach klimatyzacyjnych, na podstawie kart doborowych central [10].

Tabela 3. Sprawność oraz wydajności poszczególnych urządzeń w centralach klimatyzacyjnych, na podstawie [10]

Table 3. The efficiency and performance of each device in the AHU, based on [10]

	<b>Wariant 1 - bez odzysku</b>	<b>Wariant 2 - wymiennik krzyżowy</b>	<b>Wariant 3 - wymiennik obrotowy</b>
Sprawność odzysku [%]	0	53,3	79,2
Moc nagrzewnicy wstępnej [kW]	104,5	-	-
Moc chłodnicy [kW]	84	62,8	62,8
Moc nagrzewnicy wtórnej [kW]	19,9	27	18,1
Moc wentylatorów, naw./wyw. [kW]	5,5/3	5,5/4	5,5/3

### 3.2. Analiza ekonomiczna

Analizę kosztów przeprowadzono pod względem kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych. W porównaniu kosztów inwestycyjnych zostały wzięte pod uwagę koszt zakupu centrali oraz pełna automatyka do jej obsługi. Ze względu na różnorodność cen proponowanych przez firmy wykonawcze w analizie zostały pominięte koszty związane z zakupem materiału, a porównano tylko ceny central. W tabeli 4 zestawiono koszty inwestycyjne różnych rozwiązań na podstawie wyceny firmy Klimor.

Rozpatrując koszty eksploatacyjne wzięto pod uwagę koszty związane z doprowadzeniem energii cieplnej do nagrzewnicy, energii do chłodnicy, energii potrzebnej do napędu wentylatorów oraz koszty serwisowania i wymiany filtrów. Parametry pracy urządzeń centrali zostały zebrane w tabeli 5. Dla celów porównawczych, do obliczeń kosztów eksploatacyjnych, przyjęto założenie pracy urządzeń z pełną mocą w przyjętym czasie pracy (tabela 5).

Tabela 4. Koszty inwestycyjne centrali wraz z automatyką

Table 4. Investment costs AHU with Automation.

	<b>Wariant 1 - bez odzysku</b>	<b>Wariant 2 - wymiennik krzyżowy</b>	<b>Wariant 3 - wymiennik obrotowy</b>
Koszt centrali [zł]	55 000,00	59 000,00	64 500,00
Koszt automatyki [zł]	17 800,00	17 300,00	15 600,00
Całkowite koszty inwestycyjne [zł]	72 800,00	76 300,00	80 100,00

Do analizy zostały przyjęte następujące ceny energii elektrycznej  $P_{ei}=0,57$  zł/kWh [11] oraz ciepłej  $P_s=2637,78$  zł/MW/mc (stała) i  $P_z=18,16$  zł/GJ= $0,065$  zł/kWh (zmienna) wg taryf dla miasta Krakowa.

Tabela 5. Parametry pracy urządzeń centrali

Table 5. Performance of AHU

	Lato	Zima
Czas pracy urządzeń	4 miesiące 5 dni w tygodniu po 10 godzin (22 dni w miesiącu)	
Temperatura nawiewu °C	19	18
Spręż dyspozycyjny [Pa]	590	
Klasa filtrowania	EU4	
Medium grzewcze °C	Woda 80/60	
Medium chłodzące °C	Woda 8/14	

Obliczenia kosztów eksploatacyjnych zostały przeprowadzone na podstawie wzorów (1) – (9).

Przykład obliczeniowy dla centrali bez odzysku ciepła.

### Koszty energii ciepłej dla nagrzewnicy

Roczny koszt energii dla nagrzewnicy wstępnej:

$$Q_a = Q_{nagrz} \cdot 10^{-3} \cdot D_r \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{rok}} \right] \quad (1)$$

gdzie:  $Q_a$  – roczne zużycie energii nagrzewnicy,

$Q_{nagrz}$  – moc cieplna nagrzewnicy,

$D_r$  – czas pracy wymiennika w ciągu roku.

$$D_r = D_m \cdot D_d \cdot D_g \left[ \frac{\text{h}}{\text{rok}} \right] \quad (2)$$

gdzie:  $D_m$  – liczba miesięcy pracy wymiennika w roku,

$D_d$  – liczba dni pracy wymiennika w miesiącu,

$D_g$  – liczba godzin pracy wymiennika w ciągu dnia.

Koszt eksploatacji nagrzewnicy składa się z opłaty stałej (3) i zmiennej (4). Stała część zależna jest od mocy zainstalowanej oraz ilości miesięcy pracy nagrzewnicy, natomiast zmienna część od rzeczywistej zużytej energii.

Opłata stała:

$$K_{\text{nagrz},s} = Q_{\text{nagrz}} \cdot P_s \cdot D_m \left[ \frac{\text{zł}}{\text{rok}} \right] \quad (3)$$

Opłata zmienna:

$$K_{\text{nagrz},z} = Q_a \cdot P_z \cdot 10^3 \left[ \frac{\text{zł}}{\text{rok}} \right] \quad (4)$$

Tabela 6. Koszty pracy nagrzewnicy

Table 6. Heater running costs

	$Q_{\text{nagrz}}$ [kW]	$D_r$ [h/rok]	$Q_a$ [MWh/rok]	$K_{\text{nagrz},s}$ [zł/rok]	$K_{\text{nagrz},z}$ [zł/rok]	$K_{\text{nagrz}}$ [zł/rok]
Nagrzewnica wstępna	104,5	880	91,96	1102,59	5977,4	7079,99
Nagrzewnica wtórna	19,9	1760	35,024	209,98	2276,56	2486,53

Koszty użytkowania nagrzewnic wstępnej i wtórnej zostały zebrane w tabeli 6. Czas pracy urządzeń  $D_r$  obliczono na podstawie danych w tabeli 5.

### Koszt energii chłodnicy

Chłodnica centrali jest zasilana zewnętrznym agregatem. Należy wówczas również wziąć pod uwagę koszty z wiązane z pracą tego agregatu. Na dodatkowe zużycie energii składają się praca wentylatora oraz sprężarki w agregacie zewnętrznym. Ilość energii pobranej w ciągu roku przez te urządzenia obliczono ze wzoru (5), natomiast moc potrzebna do napędu sprężarki obliczana jest ze wzoru (6). Zgodnie z wyznaczonymi parametrami pracy centrali (tabela 5), chłodnica pracuje tylko w okresie letnim.

$$Q_{\text{ch}} = (N_{\text{went}} + N_{\text{spr}}) \cdot 10^{-3} \cdot D_r \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{rok}} \right] \quad (5)$$

gdzie:  $Q_{\text{ch}}$  – ilość energii zużytej w ciągu roku na potrzeby chłodzenia,  
 $N_{\text{went}}$  – moc silnika wentylatora agregatu zasilającego chłodnicę.



$$EER = \frac{Q_{chl}}{N_{spr}} \rightarrow N_{spr} = \frac{Q_{chl}}{EER} \quad (6)$$

Założono, że agregat zasilający chłodnicę należy do klasy efektywności energetycznej B oraz że współczynnik  $EER=3,0$ .

Roczny koszt chłodzenia wody obliczany jest z zależności (7), a wyniki kosztów przedstawia tabela 7.

$$EER = \frac{Q_{chl}}{N_{spr}} \rightarrow N_{spr} = \frac{Q_{chl}}{EER} \quad (7)$$

Tabela 7. Koszty pracy chłodnicy

Table 7. Cooler running costs

	$N_{spr}$ [kW]	$N_{went}$ [kW]	$D_r$ [h/rok]	$Q_{ch}$ [MWh/rok]	$K_{ch}$ [zł/rok]
Chłodnica	28	3,68	880	27,88	15891,60

### Koszt energii elektrycznej zużytej przez wentylatory w centrali

$$K_{went} = (N_{went,naw} + N_{went,wyw}) \cdot P_{el} \cdot D_r \left[ \frac{zł}{rok} \right] \quad (8)$$

Gdzie:  $N_{went,naw}$  – moc silnika wentylatora nawiewnego,

$N_{went,wyw}$  – moc silnika wentylatora wywiewnego.

Wentylatory pracują przez cały rok,  $D_r = 1760 \left[ \frac{h}{rok} \right]$

$$K_{went} = 8527,20 \left[ \frac{zł}{rok} \right]$$

Powyższe koszty eksploatacyjne zostały powiększone o koszty wymiany filtrów. Koszt wymiany filtrów wynosi ok. 100 zł/szt. Filtry wystarczy wymienić raz do roku, zaś każda centrala jest wyposażona w 4 filtry powietrza. W związku z tym dodatkowy roczny koszt wymiany filtrów oblicza się wg zależności (9):

$$K_{filtrów} = n \cdot P_f \left[ \frac{zł}{rok} \right] \quad (9)$$

Gdzie:  $n = 4$  [szt.] – liczba filtrów potrzebnych do wymiany,

$P_f = 100 \left[ \frac{zł}{szt} \right]$  – cena filtra.

Koszty eksploatacyjne obejmują ponadto koszty serwisowania instalacji klimatyzacji, w tym wymianę uszkodzonych lub zużytych elementów. Instalację należy serwisować z częstotliwością uwarunkowaną wymaganiami gwarancyjnymi i producenckimi. Całkowite koszty eksploatacyjne przedstawia tabela 6.

Tabela 8. Koszty eksploatacyjne centrali

Table 8. Operating costs AHU

	<i>Wariant 1</i>	<i>Wariant 2</i>	<i>Wariant 3</i>
Nagrzewnica wstępna	7 079,99	-	-
Nagrzewnica wtórna	2 486,53	3 373,68	2 261,62
Chłodnica	15 891,60	12 259,03	12 213,86
Wentylator centrali	8 527,20	8 694,37	8 530,83
Wymiana filtrów	400,00	400,00	400,00
Razem	34 385,32	24 727,08	23 406,31

#### 4. Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy zaprezentowanych trzech typów rozwiązań wynika, że centrala odzyskująca ciepło z powietrza jest najkorzystniejszym rozwiązaniem pod względem kosztów eksploatacyjnych.

Centrala bez odzysku ciepła jest najtańsza i najmniejsza spośród rozpatrywanych wariantów. Niestety takie rozwiązanie powoduje bardzo wysokie koszty zużycia energii cieplnej i elektrycznej niezbędnej do pracy urządzeń. Urządzenia pracują z wysoką wydajnością w celu uzdatnienia powietrza do założonych parametrów.

Centrale odzyskujące ciepło są niewiele droższe od tych bez odzysku ciepła, lecz tańsze w utrzymaniu. Zastosowanie rekuperacji (wymiennik krzyżowy) lub regeneracji (wymiennik obrotowy) pozwala na zmniejszenie wydajności pracy pozostałych urządzeń, a z tym się wiąże mniejsze zużycie energii i niższe koszty eksploatacji urządzeń. Oszczędzić można ok. 40 % kosztów poniesionych w porównaniu do centrali bez odzysku ciepła. Pomimo wysokich nakładów inwestycja szybko się zwraca, oszczędzając właśnie na wydatkach za energię. Wadą tych rozwiązań jest wzrost wymiarów centrali o wielkość wymiennika. Szczególnie powiększa się centrala z wymiennikiem krzyżowym.

Przedstawiona w pracy analiza miała za zadanie udowodnić, że odzyskiwanie energii z powietrza uzdatnianego do klimatyzowania jest rozwiązaniem korzystnym i bardzo opłacalnym. Przeprowadzona analiza udowadnia, że centrala odzyskująca ciepło jest bardzo dobrą inwestycją, która w bardzo krótkim czasie się zwróci. Jest to możliwe dzięki oszczędnościom energii. Pozostaje jedynie zdecydować o rodzaju odzysku ciepła i wymienniku, w którym proces ten będzie realizowany.

#### Literatura

- [1] CERIM. Klimatyzacja - wentylacja. (2010). Pobrano z lokalizacji Wskaźnik efektywności chłodniczej [http://www.cerim.pl/index.php?page=content/poradnik/18\\_1.php](http://www.cerim.pl/index.php?page=content/poradnik/18_1.php).

- [2] Lewandowski W.M.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
- [3] Gutkowski, K. M., & Butrymowicz, D. J. (1999). Chłodnictwo i klimatyzacja. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [4] Klimor. (2010). Pobrano z lokalizacji [www.klimor.pl](http://www.klimor.pl).
- [5] Ogrzewanie-pompy ciepła. (2010). Pobrano z lokalizacji Zasada działania pompy ciepła.:5.<http://www.heizung-waermepumpe.de/pl/tak-funkcjonuje-pompaciepla/zasada-dzialania-pompy-ciepla.html>.
- [6] Pawłojć, A., Targański, W., & Bonca, Z. (1999). Odzysk ciepła w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Gdańsk: IPPU MASTA.
- [7] Pełech, A. (2009). Wentylacja i klimatyzacja. Podstawy. Wyd. II. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [8] Recknagel, Sprenger, & Schramek. (2008). Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo. Klimatyzacja. Ciepła woda. Chłodnictwo. Wrocław: Omni Scala.
- [9] Ullrich, H.-J. (2001). Technika klimatyzacyjna. Poradnik. Gdańsk: IPPU Masta
- [10] Klimor, karty doborowe central klimatyzacyjnych.
- [11] [www.zaklad.energetyczny.w.interia.pl](http://www.zaklad.energetyczny.w.interia.pl) - cennik energii elektrycznej.

## **HEAT RECOVERY IN UTILITY – PRELIMINARY ECONOMIC ANALYSIS**

### **S u m m a r y**

This article presents the financial analysis of air conditioning systems using various heat recovery systems at public service. It moves also the issue of recovery systems of heat – energy in air conditioning systems and ventilation. Acquisition of energy arising in the system can be implemented by systems such as for secondary recuperation, regeneration or the heat pump, which are common in the use of public facilities or residential, multi and single family houses. To carry out the analysis of the Lecture Hall had served the Faculty of Physics of AGH University of Science and Technology. The analysis of the project precedes the installation unit in three versions. The first variant, which is the point of reference is the AHU without heat recovery. It been compared with two AHU: with recuperation and regenerative systems. In the analysis of investment costs and operating costs were taken into account.

Analysis carried out shows that incurred higher investment purchase AHU will result in lower operating costs. Cost of ownership of most popular in application recuperative exchanger are not much higher than the cost of the AHU of the regenerative heat exchanger. And both solution involve a nearly forty percent savings in relation to the system without heat recovery.

**Keywords:** heat recovery systems, recuperation, regeneration, heat pump, air conditioning operating costs

*Przesłano do redakcji: 27.01.2015 r.*

*Przyjęto do druku: 22.06.2015 r.*

DOI:10.7862/rb.2015.48