

Arkadiusz GUŻDA (orcid id: 0000-0001-7388-5143)

Norbert SZMOLKE (orcid id: 0000-0001-6003-6775)

Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny

## POWIETRZNE POMPY CIEPŁA W AUDYTACH ENERGETYCZNYCH

Pompy ciepła, ze względu na wysoki współczynnik efektywności działania (COP, ang. coefficient of performance), często wybierane są jako wariant przedsięwzięcia mającego na celu poprawę efektywności energetycznej w budynku. W niniejszym artykule przedstawiony został jeden z obecnie najbardziej efektywnych sposobów wytwarzania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania budynków, jakim jest zastosowanie powietrznej pompy ciepła. Zaprezentowano zasadę działania takiego urządzenia w instalacji oraz główne parametry wpływające na ich efektywność. Ponadto omówiono zasadność stosowania pomp ciepła, w ujęciu wyboru ich jako wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Omówione zostały zagadnienia związane z prawidłowym doбором urządzenia na etapie obliczeń audytorskich. W końcowej części pracy autorzy przedstawili przykład obliczeniowy doboru powietrznej pompy ciepła w audycie energetycznym wraz z określeniem efektu ekologicznego zastosowania tego przedsięwzięcia.

**Słowa kluczowe:** powietrzna pompa ciepła, audyt energetyczny, efektywność, współczynnik COP

### WPROWADZENIE

Troska o środowisko, a także coraz ostrzejsze regulacje prawne kierują Inwestorów w stronę wykorzystywania odnawialnych źródeł energii (OZE). Tendencja ta jest związana ze wzrostem świadomości społeczeństwa, iż należy wyraźnie ograniczyć wykorzystywanie konwencjonalnych źródeł energii, zwiększając jednocześnie udział źródeł odnawialnych. Pompy ciepła są to urządzenia o zerowej emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Działanie tych urządzeń polega na wykorzystaniu energii pochodzącej z przemiany fazowej czynnika roboczego, cyklicznie rozprężającego i sprężającego się w zamkniętym obiegu. Energię można spożytkować na przygotowywanie ciepłej wody użytkowej lub ogrzewanie budynku.

Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii niesie za sobą wymierne korzyści ekologiczne i ekonomiczne. Popularność powietrznych pomp ciepła spowodowała, że występują one obecnie jako wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego w audytach energetycznych.

Rynek pomp ciepła w Polsce z roku na rok odnotowuje wzrost sprzedaży [1], który będzie postępował w najbliższych latach. Istotną kwestią, która może mieć wpływ w najbliższym czasie na wzrost zakupu urządzeń, jest przeciwdziałanie problemowi tzw. „niskiej emisji” w Polsce.

## 1. POMPA CIEPŁA JAKO WARIANT PRZEDSIĘWZIĘCIA TERMOMODERNIZACYJNEGO

Rolą audytora jest ocena efektywności ekonomicznej inwestycji energooszczędnych, przy czym działa on jako niezależny doradca. Jego głównym zadaniem jest opracowanie audytu (analizy i oceny obiektów - budynków, instalacji itp.) pod względem użytkowania energii. Dodatkowo ma on za zadanie rozpatrzenie możliwych do zrealizowania przedsięwzięć termomodernizacyjnych oraz oceny ich opłacalności energetycznej i ekonomicznej. W większości przypadków zadaniem audytora jest [2]:

- obniżenie zużycia energii i/lub kosztów użytkowania energii,
- zmniejszenie negatywnych oddziaływań na środowisko związanych z użytkowaniem energii,
- polepszenie warunków użytkowania obiektu lub jego obsługi.

Wybór powietrznej pompy ciepła jako głównego źródła ogrzewania i przygotowywania ciepłej wody wiąże się z kilkoma ważnymi kwestiami. Układ oparty o ten rodzaj ogrzewania składa się zazwyczaj z dwóch jednostek: wewnętrznej i zewnętrznej. W jednostce zewnętrznej ciepło pobierane jest z przepływającego przez nią powietrza i systemem rur dostarczane jest do jednostki wewnętrznej. W parowniku, usytuowanym w jednostce wewnętrznej, następuje odbiór ciepła i przekazanie go do obiegu grzewczego.

W module wewnętrznym zlokalizowana jest grzałka elektryczna, która ma za zadanie wspomóc pracę pompy ciepła w bardzo niskich temperaturach zewnętrznych. W celu obniżenia kosztów eksploatacyjnych coraz popularniejszy staje się układ hybrydowy, w którym to grzałkę zastępuje się innym źródłem ciepła, np. kotłem gazowym.

Ponadto, jeżeli pompa ciepła produkuje dodatkowo CWU, wówczas niezbędne jest zamontowanie zbiornika buforowego w instalacji. W zależności od aktualnego rozbioru woda grzewcza przechodząca przez zawór 3-drożny kierowana jest do instalacji grzewczej bądź na węzownię w zasobniku ciepłej wody.

Należy nadmienić, iż w przypadku powietrznych pomp ciepła możliwa jest praca w trybie chłodzenia. W tym trybie następuje zmiana kierunku przepływu czynnika, zmienia się funkcja pomiędzy parownikiem i skraplaczem. Woda chłodząca (np. z klimakonwektorów lub chłodnicy powietrza) oddaje ciepło w parowniku i jest schładzana przez czynnik chłodniczy.

### 1.1. Prawidłowy dobór

Istotnym elementem jest dobór pompy o odpowiedniej mocy oraz właściwego zasobnika. Moc grzewcza pomp ciepła podawana jest dla określonej temperatury dolnego źródła (powietrza zewnętrznego), która wynosi  $7^{\circ}\text{C}$ , oraz temperatury wody grzewczej na wyjściu z pompy, która wynosi  $35^{\circ}\text{C}$ . Im niższa temperatura zewnętrzna, tym mniejsza moc cieplna pompy.

Efektywność pracy urządzenia wyraża się współczynnikiem COP (ang. coefficient of performance), który przyjmuje postać:

$$COP = \frac{Q}{L} = \frac{Q_0 + L}{L} = 1 + \frac{Q_0}{L} \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  - ilość ciepła pobranego w parowaczu,

$Q_0$  - ilość ciepła pozyskana w skraplaczu,

$L$  - praca dostarczona do sprężarki.

Im większy gradient temperatur pomiędzy temperaturą zewnętrzną a wewnętrzną, tym niższy współczynnik efektywności COP, co prowadzi do wzrostu kosztów eksploatacji. Współczynnik COP dla powietrznych pomp ciepła powinien być liczony i podawany dla nominalnych parametrów zgodnie z normami:

- PN-EN 16147 - dla pomp z wbudowanym zasobnikiem, dla parametrów A20/W10-55 i A15/W10-55 (gdzie: W - temp. wody, A - temp. powietrza),
- PN-EN 14511 - dla pomp bez zasobnika, dla parametrów A7/W35, A2/35 i A7/W55.

Obecnie nowoczesne powietrzne pompy ciepła wspomagane grzałkami mogą pracować nawet przy temperaturze powietrza niższej niż  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Aby prawidłowo dobrać moc pompy ciepła do obliczeniowego zapotrzebowania budynku (w stanie po termomodernizacji), należy uwzględnić warunki temperaturowe w miejscu użytkowania urządzenia. Prawidłowo eksploatowana pompa ciepła musi pracować minimum 20 minut, a przerwy pomiędzy kolejnymi włączeniami muszą również wynosić około 20 minut. Spełnienie tych warunków gwarantuje bezawaryjną eksploatację urządzenia przez wiele lat [3].

Co więcej, jednostka zewnętrzna (która wyposażona jest w wentylator) generuje hałas, dlatego nie zaleca się jej montażu blisko okien mieszkalnych.

## 1.2. Przyjęte założenia

W celu doboru powietrznej pompy ciepła, określenia efektu ekologicznego i wskazania optymalnego rozwiązania do ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody użytkowej przyjęto założenia, które zawarto w tabeli 1.

W celu przedstawienia przewidywanych efektów ekologicznych wynikających z zastosowania powietrznej pompy ciepła porównano ją do następujących źródeł energii: kotła na węgiel (KW), kotła na pelety (KP) i kotła gazowego (KG). W celu odpowiedniego doboru pompy ciepła (PC) należy przeanalizować średniamięsiężne temperatury w okresie grzewczym z ostatnich lat. Jeżeli nie mamy dostępu do takich danych, można posłużyć się danymi wieloletnimi.

Średniomiesięczna temperatura dla m. Opole w najzimniejszym miesiącu, na przestrzeni lat 1981-2010, wyniosła  $-0,9^{\circ}\text{C}$ , gdzie średnia temperatura najchłodniejszego miesiąca wyniosła  $-9,6^{\circ}\text{C}$  [4].

W omawianym przypadku zaproponowano dwusprężarkową pompę ciepła o mocy 31 kW i COP 3,5 (przy A2/W35) [5]. Tak dobrana pompa ciepła powinna pracować z wysokim współczynnikiem efektywności przez większą część okresu grzewczego. Minimalna temperatura pracy wg producenta wynosi  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 1. Założenia do obliczeń

Lp.	Wyszczególnienie	
1	Rodzaj budynku	Biurowy
2	Powierzchnia budynku	535 m <sup>2</sup>
3	Zapotrzebowanie na moc (ogrzewanie)	29,25 kW
4	Zapotrzebowanie na energię użytkową (ogrzewanie)	56 665 kWh/rok
5	Zapotrzebowanie na energię końcową dla urządzeń pomocniczych (ogrzewanie)	4032 kWh/rok
6	Liczba użytkowników	15
7	Dzienne zużycie CWU przez jedną osobę	0,03 m <sup>3</sup> /osoba/dzień
8	Zapotrzebowanie na energię użytkową (ciepła woda)	3969 kWh/rok
9	Zapotrzebowanie na energię końcową dla urządzeń pomocniczych (ciepła woda)	300 kWh/rok
10	Lokalizacja obiektu (wg PN-EN 12831:2006)	Opole, III strefa klimatyczna
11	Norma na wyznaczanie współczynnika przenikania ciepła U dla przegród budowlanych	PN-EN ISO 6946
12	Norma na obliczenie projektowego obciążenia cieplnego $\Phi$	PN-EN 12831:2006
13	Norma na obliczanie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania $Q_E$	PN-EN ISO 13790

Sprawności poszczególnych systemów grzewczych wziętych do analizy wyniosły: kocioł na paliwo stałe - węgiel - 0,82; kocioł na paliwo stałe - pelety - 0,72; kocioł gazowy - 0,9; pompy ciepła - 2,49.

## 2. ANALIZA EKOLOGICZNA

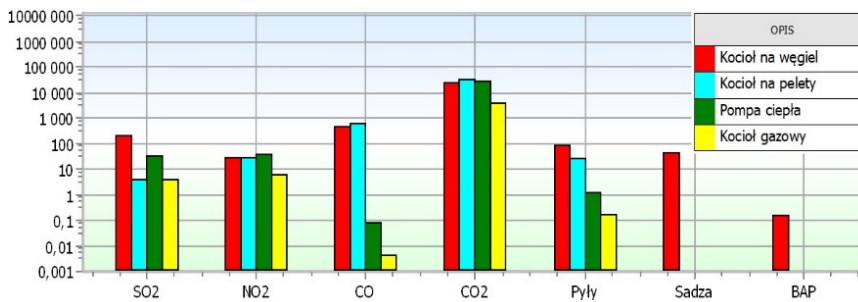
Analiza ekologiczna proponowanych rozwiązań będzie polegać na określeniu wielkości emisji zanieczyszczeń do atmosfery podczas eksploatacji systemu grzewczego budynku. Założono, że zapotrzebowanie na energię końcową dla urządzeń pomocniczych systemu grzewczego pokrywane jest przez konwencjonalnie produkowaną energię elektryczną. Analizę ekologiczną przeprowadzono przy użyciu specjalistycznego programu - Audytor EKO v.1.0, który pozwala na wykonywanie obliczeń zgodnie z obowiązującymi wytycznymi [6-9]. Zużycie nośników energii dla poszczególnych systemów kształtowały się następująco:

- kocioł na węgiel (KW) - 10,63 Mg węgla i 4332 kWh energii elektrycznej,
- kocioł na pelety (KP) - 19,45 Mg peletów i 4332 kWh energii elektrycznej,
- kocioł gazowy (KG) - 6616,56 m<sup>3</sup> gazu i 4332 kWh energii elektrycznej,
- pompa ciepła (PC) - 29 550 kWh energii elektrycznej.

Analizując powyższe, można stwierdzić, iż zużycie energii elektrycznej w przypadku kotłów jest jednakowe, gdyż jest ono związane z działaniem urządzeń pomocniczych danej instalacji (pomp obiegowych itp.). Z kolei największe zużycie energii elektrycznej dotyczy pompy ciepła; wynika to z faktu, iż pompy ciepła są urządzeniami elektrycznymi, w związku z czym jest to ich jedyne źródło energii potrzebnej do ogrzania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Należy zaznaczyć, że w przypadku pomp ciepła, jak też innych urządzeń pobierających energię elektryczną emisja szkodliwych zanieczyszczeń nie występuje w miejscu ich użytkowania. Jest ona związana z emisją szkodliwych zanieczyszczeń przez źródło jej wytwarzania - elektrowni opalanej węglem kamiennym. Inaczej jest w pozostałych przypadkach źródeł ciepła, w których emisja zanieczyszczeń (związanych z wytwarzaniem energii cieplnej) powstaje bezpośrednio w miejscu ich użytkowania.

Na rysunku 1 przedstawiono emisję szkodliwych zanieczyszczeń, tj. dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, tlenku węgla, pyłów, sadzy i B(a)P, przez rozpatrywane źródła ciepła (KW, KP, KG i PC).



Rys. 1. Emisja szkodliwych zanieczyszczeń przez rozpatrywane systemy grzewcze

W przypadku dwutlenku siarki najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie kotła na pelety lub kotła gazowego (niecałe 3,95 kg/rok), następnie powietrznej pompy ciepła (31,66 kg/rok) oraz kotła opalanego węglem (208 kg/rok). Natomiast w przypadku emisji dwutlenku azotu emisja wynosi: kocioł gazowy - 5,69 kg/rok, kocioł na pelet - 27,22 kg/rok, kocioł na węgiel - 29,04 kg/rok i powietrzna pompa ciepła - 38,8 kg/rok.

W przypadku emisji tlenku węgla najlepszym rozwiązaniem okazuje się pompa ciepła i kocioł gazowy, których emisja była równa niecałe 0,01 kg/rok; kolejny był kocioł opalany węglem kamiennym (423,41 kg/rok) oraz kocioł na pelet (560,26 kg/rok).

Analizując emisję dwutlenku węgla, najlepszym rozwiązaniem okazały się kolejno: KG (3752,8 kg/rok), KW (23 400 kg/rok), PC (25 977 kg/rok) oraz KP (29 591 kg/rok). Przy emisji pyłów kolejność była następująca: KG (0,175 kg/rok), PC (1,19 kg/rok), KP (26 kg/rok) oraz KW (85,2 kg/rok). Emisję sadzy i benzo(a)pirenu wykazano jedynie w przypadku kotła na węgiel; wyniosła ona dla sadzy: 42,5 kg/rok i dla B(a)P - 0,15 kg/rok.

## WNIOSKI

W niniejszym opracowaniu przedstawiono rolę pompy ciepła w audytach energetycznych; jest ona obecnie jedną z częściej wybieranych rozwiązań do poprawy efektywności wytwarzania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania budynków

w obiektach podlegających termomodernizacji. Urządzenia te charakteryzują się wysoką efektywnością działania (często ich COP > 3,5). Przedstawiono także zasadę działania oraz zagadnienia związane z ich właściwym doborem.

Wykonano analizę ekologiczną dla różnych rozwiązań źródeł ciepła w odniesieniu do przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, mającego na celu poprawę efektywności systemu ogrzewczego. W rozważaniach wzięto pod uwagę następujące systemy grzewcze: powietrzną pompą ciepła (PC), kocioł gazowy z zamkniętą komorą spalania (KG), kocioł wodny opalany węglem (KW) oraz kocioł wodny opalany peletami (KP). Analizę ekologiczną przeprowadzono zgodnie ze standardami Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). Poniżej przedstawiono kilka wniosków z przeprowadzonej analizy:

- CO<sub>2</sub> - najlepszym rozwiązaniem okazało się zastosowanie kotła gazowego z zamkniętą komorą spalania, którego emisja wyniosła nieco ponad 3750 kg/rok, najgorszy zaś był kocioł na pelet (29 950 kg/rok),
- SO<sub>2</sub> - również w tym przypadku najlepszym rozwiązaniem okazał się kocioł gazowy na równi z kotłem na pelet, ich emisja wyniosła niecałe 3,95 kg/rok,
- NO<sub>2</sub> - w przypadku emisji dwutlenku azotu kocioł gazowy wyemituje 5,69 kg/rok, natomiast najgorsza była powietrzna pompa ciepła (38,8 kg/rok),
- CO - najlepszym rozwiązaniem okazuje się pompa ciepła i kocioł gazowy (emisja poniżej 0,01 kg/rok), najgorszy zaś kocioł wodny opalany peletem (560 kg/rok),
- pyłów - najmniej wyemitował kocioł gazowy z zamkniętą komorą spalania (0,175 kg/rok), najwięcej z kolei kocioł wodny opalany węglem (85,2 kg/rok),
- B(a)P i sadza - emisja benzo(a)pirenu i sadzy nastąpiła wyłącznie w przypadku kotła wodnego na węgiel, wyemitował on 0,148 kg/rok B(a)P i 42,5 kg/rok sadzy.

Bardzo ważne jest to, że pompa ciepła emituje pośrednio zanieczyszczenia do atmosfery, gdyż napędzana jest ona energią elektryczną, która z kolei wytwarzana jest w sposób konwencjonalny przez elektrownie opalane węglem kamiennym i brunatnym. Emisja zanieczyszczeń bezpośrednio w miejscu wytwarzania energii cieplnej przez PC jest równa 0.

## LITERATURA

- [1] Raport rynkowy PORT PC 2017, źródło: <http://portpc.pl/cwierz-miliona-pomp-ciepła-2020-roku-premiera-raportu-rynkowego-port-pc-2017/>
- [2] Audyty energetyczne i remontowe. Materiały Szkoleniowe, Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa 2015.
- [3] <http://www.ekooszczedni.pl/artykuly/jak-prawidlowo-dobrac-pompe-ciepła-powietrze---woda-#.WenHo9dl-Ul> (dostęp 12.10.2017 r.).
- [4] <http://www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/> (dostęp 12.10.2017 r.).
- [5] <http://www.nibe.pl/Produkty/Powietrzne-pompy-ciepła-przegląd/NIBE-AP-AW30/#technical>, (dostęp 12.10.2017 r.).
- [6] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnych z dnia 28 kwietnia 1998 w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających w powietrzu.

- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu.
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 r. w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnym systemem handlu uprawnieniami do emisji.
- [9] Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnych - Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza z procesów energetycznego spalania paliw.

## **AIR SOURCE HEAT PUMP'S IN ENERGY AUDITS**

**Paper presents one of the most efficient ways of producing hot water and heating of buildings is the present one, which is the use of an air heat pump. They are often chosen to improve energy efficiency in a building. The principle of operation and main parameters influencing their effectiveness were presented. In addition, the use of heat pumps has been discussed in terms of their choice as a variant in energetic audit. The problems related to the correct device selection at the stage of the audit calculations were discussed. In the final part of the paper, the authors presented a computational example of the air-to-water heat pump selection in the energy audit. Moreover the ecological analysis related to different source of energy in building was presented.**

**Keywords: air source heat pump, energetic audit, efficiency, coefficient of performance**