

Ekologiczne ogrzewanie budynku szkolnego z wykorzystaniem hybrydowego systemu grzewczego

Pompa ciepła i kocioł gazowy – koncepcja, wykonanie, eksploatacja

Jacek ZIMNY, Krzysztof SZCZOTKA^{*)}

W artykule przedstawiono koncepcję, budowę oraz analizę pracy hybrydowego systemu grzewczego budynku szkolnego w Wielkiej Wsi k. Wojnicza, powiat Tarnów. Ze względu na zużycie techniczne dotychczasowego systemu grzewczego oraz rosnące koszty energii zdecydowano się na jego kompleksową modernizację. W porozumieniu z oddziałem firmy ENION w Tarnowie przeprowadzono kompleksową analizę możliwości i zasadności wykorzystania pomp ciepła do celów grzewczych. Korzystne warunki środowiskowe w otoczeniu budynku Szkoły, tj. dostępny teren oraz płytko położone złoża wody gruntowej, były czynnikami decydującymi w zasadniczy sposób o ekonomicznym uzasadnieniu planowanego przedsięwzięcia. Po wykonaniu studni wierconych, stwierdzono obecność złóż wody gruntowej o właściwych parametrach energetycznych i dużej wydajności, w ilości zabezpieczającej potrzeby planowanej instalacji, co pozwoliło na jej szybkie uruchomienie. Jako źródło szczytowe pozostawiono istniejący wodny kocioł gazowy.

Słowa kluczowe: pompy ciepła, hybrydowy system grzewczy, energia odnawialna

Heat pump and gas boiler – the concept, implementation, operation

The article presents the concept, construction and analysis of the hybrid operation of the heating system a school building in the Wielka Wies near Wojnicz, district of Tarnow. Due to the technical use of the existing heating system and increasing energy costs it was decided to complete its modernization. In consultation with the branch office ENION in Tarnow a comprehensive analysis capabilities and legitimacy of the use of heat pumps for heating purposes. Favourable environmental conditions in the vicinity building of the School, available area and shallow ground water reservoir is located, were the decisive factors in a fundamental way about the economic justification of the planned project. After the wells drilled, revealed the presence of ground water reserves of the relevant parameters of the energy and high efficiency, in the amount of safety needs of the machine, which allowed for its rapid deployment. As a source of peak left to the existing water gas boiler.

Key words: heat pumps, hybrid of the heating system, renewable energy.

Pompa ciepła pracuje w budynku Szkoły od zimy roku 2004. W założeniach techniczno-ekonomicznych projektu przyjęto roczną dostawę energii cieplnej z pompy ciepła na poziomie

255 GJ/rok oraz jej cenę jednostkową 37 zł/GJ brutto. Średniodobowy czas pracy w okresie sezonu grzewczego wynosił 10 godz./dobę. Zwrot kosztów inwestycyjnych przy takich założeniach następował po 9 roku eksploatacji. Obecna produkcja ciepła zapowiada się jeszcze korzystniej, gdyż odbiór ciepła odbywa się w sposób ciągły przez 24 h/dobę, w sezonie grzewczym. Przykładowo, produkcja energii od stycznia 2005 r. do stycznia 2006 r. wyniosła 458 GJ. Na podstawie tych danych można stwierdzić, iż przy produkcji ciepła na poziomie 460 GJ/rok, czas zwrotu zainwestowanych nakładów wynosi poniżej 8 lat. Natomiast przy uwzględnieniu możliwych źródeł dofinansowa-

^{*)} prof. Jacek ZIMNY, mgr inż. Krzysztof SZCZOTKA

– Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Systemów
Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska
e-mail: szczotka@agh.edu.pl



nia (dotacje, kredyty ekologiczne, umorzenia) okres zwrotu nakładów inwestycyjnych nie przekroczy 3 do 4 lat.

Analiza oparta na danych rzeczywistych potwierdziła opłacalność inwestycji dla odbiorcy przez redukcję kosztów oraz optymalny dobór systemu, który po pierwszym roku pracy dostarczył 87% energii cieplnej potrzebnej do ogrzania budynku. Należy podkreślić, że aktualne zapotrzebowanie na moc grzewczą wynosi 105 kW, natomiast pompa ciepła o mocy grzewczej tylko 32 kW, zapewnia 30,5% zapotrzebowania. Taki dobór systemu grzewczego i mocy pompy ciepła okazał się optymalny tak pod względem technicznym i ekonomicznym oraz inwestycyjnym, dla odbiorcy, tj. Urzędu Gminy, który finansuje gospodarkę energetyczną obiektów użyteczności publicznej.

Opis obiektu przed wykonaniem inwestycji

Zespół Szkoły Podstawowej i Gimnazjum w Wielkiej Wsi położony jest w dolinie Dunajca, na glebach gliniastych, dysponuje kilkunastoarowym terenem obok budynku możliwym do ułożenia kolektora ziemnego, dodatkowo tereny te bogate są w płytko położone złoża wody gruntowej.



Rys. 1. Budynek Szkoły Podstawowej w Wielkiej Wsi

Budynek Szkoły podstawowej w Wielkiej Wsi, wybudowany został według technologii tradycyjnej przed 1987 rokiem. Powierzchnia obiektu wynosi ok. 1107 m² i kubaturze 3538 m³. W celu zmniejszenia strat ciepłych w obiekcie, zostały rozpoczęte prace termomodernizacyjne, polegające na wymianie stolarki okiennej. Dalszym etapem przedsięwzięcia jest modernizacja źródła ciepła i instalacji centralnego ogrzewania.

Budynek zlokalizowany jest w III strefie klimatycznej. Zapotrzebowanie na moc cieplną wynosi 105,4 kW (obliczeniowe straty ciepła dla części północnej i pomieszczeń szczytowych wynoszą 70,4 kW, natomiast dla części południowej – 35,0 kW).

Kotłownia wyposażona była w kocioł gazowy o mocy 145 kW (z braku danych założono jego sprawność na poziomie 80%) oraz w nieużywany stary kocioł węglowy.

Instalacja centralnego ogrzewania, wykonana jest w układzie otwartym z rur stalowych, skorodowanych, wymagających wymiany. Część rurociągu została już wymieniona w pomieszczeniach sanitariatów podczas remontów. Przekazywanie ciepła odbywa się



Rys. 2. Kotłownia szkolna – kocioł gazowy o mocy cieplnej 145 kW i kocioł węglowy

za pomocą grzejników żeliwnych wyposażonych w niesprawną armaturę przy grzejnikową. Instalacja wewnętrzna c.o. projektowana była do mocy około 105 kW i parametrów wody instalacji grzewczej 90/70°C. Przewidywano wymianę starych grzejników żeliwnych na stalowe płytowe.

Założenia do analiz techniczno-ekonomicznych

Podstawą analiz były otrzymane faktury za gaz otrzymane z Urzędu Gminy. Na ich podstawie oszacowano roczne zapotrzebowanie na ciepło budynku około 500 GJ/rok. Ze względu na charakter projektu założono, iż pompa ciepła nie będzie źródłem dobranym do mocy szczytowej lecz do podstawy zapotrzebowania obiektu na moc grzewczą określoną na poziomie 30 kW i rocznym wytwarzaniu energii cieplnej na cele grzewcze około 255 GJ/rok. Zapewnić to ma ciągłą pracę urządzenia przez sezon grzewczy, a przy tym maksymalnie wykorzystać moc urządzenia. Dla Urzędu Gminy zapewnić ma to dostawę tańszej energii cieplnej, a dla ENION S. A. – Zakładu Energetycznego Tarnów stały odbiór ciepła.

Kolektor gruntowy poziomy to rury polietylenowe, wewnątrz których krąży płyn niezamarzający (zwykle wodny roztwór glikolu) transportujący ciepło. Polietylenowy płaszcz wyklucza możliwość powstania korozji. Kolektor ten układa się w gruncie poniżej strefy przemarzania. Powierzchnia gruntu, w którym ułożony jest kolektor powinna być tak obliczona aby zapewnić żądaną moc przy założeniu, iż z jednego m² gruntu, w zależności od jego struktury i warunków wodnych, można uzyskać 25–40 W mocy grzewczej.

Wymiennik gruntowy pionowy (sonda pionowa) wykonany jest zwykle w kształcie litery U z polipropylenowych rur wypełnionych niezamarzającym płynem. Umieszcza się go w pionowych odwiertach o głębokości od 15 do 100 m. Średnia odległość między odwiertami musi wynosić około 5–7 m aby niekorzystnie nie oddziaływały na siebie w procesie odbioru ciepła z gruntu.

Innym sposobem pozyskiwania energii cieplnej z gruntu jest woda wydobywana ze studni głębinowych, która jest dolnym źródłem i nośnikiem energii cieplnej dla pompy ciepła. Ten system wykorzystania energii cieplnej gruntu jest preferowany w wielu systemach grzewczych z pompą ciepła gdyż cechuje się praktycz-

nie stałą temperaturą w całym sezonie grzewczym oraz wysoką sprawnością w procesach wymiany ciepła i masy co ma zasadniczy wpływ na wartość współczynnika efektywności grzewczej COP, który jest funkcją różnicy temperatur źródła górnego i dolnego. Woda, jako dobry nośnik energii dostarcza ją bezpośrednio (bez pośrednich wymian ciepła) do parowacza pompy ciepła i tam jest schładzana. Woda po schłodzeniu średnio o 4°C w parowaczu płytowym pompy ciepła zostaje odprowadzona do drugiej studni chłonnej (zrzutowej), która musi być oddalona od czerpalnej co najmniej o 15 m, co także jest uwarunkowane warunkami hydrologicznymi złoże.

Często jako dolne źródło ciepła dla pompy ciepła wykorzystywane jest powietrze atmosferyczne, głównie ze względu na relatywnie niskie koszty inwestycyjne. Jednak w analizach i bilansach energetycznych jest to system o znacznie niższej efektywności w porównaniu z układami np. z wymiennikami gruntowymi. Wynika to z faktu, iż powietrze ma niski współczynnik ciepła właściwego co wymusza stosowanie wentylatorów o dużych wydajnościach przedmuchiwane powietrza a w efekcie znacznego zużycia energii elektrycznej. Drugim elementem *in minus* wpływającym na obniżenie efektywności energetycznej jest konieczność cyklicznego rozmrażania parowacza (źródło dolne) ze szronu i lodu wytrącającego się z wilgoci zawartej w powietrzu zewnętrznym. Taki system może być użytkowym źródłem ciepła w zakresie temperatur zewnętrznych od -15°C do +25°C a w miarę efektywnie od 0°C. Dlatego też najczęściej stosuje się takie systemy w dwuźródłowych układach grzewczych, tzn. składających się ze źródła podstawowego (np. pompy ciepła) i szczytowego (np. kocioł gazowy). W takich systemach, przy odpowiedniej konfiguracji podzespołów, pompa ciepła w sezonie letnim może pracować jako klimatyzator chłodzący pomieszczenia i pracując na cele przygotowania c.w.u.

W omawianym tu projekcie wstępnie założono, iż dolnym źródłem ciepła będzie kolektor płaski ułożony na terenie boiska i placu przyległym do szkoły. Po rezygnacji z tego rozwiązania powstała koncepcja budowy studni głębinowych i czerpania ciepła z głębszych warstw wody gruntowej. Przesłanką skłaniającą do tego rozwiązania była stara nie używana studnia głębinowa na terenie szkoły oraz dane o pokładach wody (10-15 m p.p.t.) na terenie doliny Dunajca. Tego typu rozwiązanie powoduje poprawienie wydajności grzewczej pompy ciepła zaś koszt inwestycyjny jest niższy niż wymiennika ziemnego.

Przeprowadzenie analiz geologicznych

Kolejnym etapem działań było zlecenie do NOT Tarnów wykonania projektu geologicznego studni oraz określenie zasobów wodonośnych, uzyskanie niezbędnych zezwoleń oraz wykonanie studni. *Projekt prac hydrogeologicznych na wykonanie wierconych studni w utworach czwartorzędowych dla poboru na cele grzewcze w Wielkiej Wsi na działce nr 683* wykonany został przez geologa p. Andrzeja Bezkorowajnego. Złoże wody gruntowej zostały oszacowane w projekcie o wydajności powyżej 10 m³/h, natomiast potrzebna wydajność na potrzeby PC wynosi około 6 m³/h. Dla bezpieczeństwa inwestycji przewidziano w projekcie wykonanie 4 studni (2 czerpalne i 2 zrzutowe).

Wykonanie studni czerpalnej i badań

Obiecujące szacowania zawarte w projekcie były podstawą wywiercenia studni czerpalnej. Studnia wykonana została przez firmę specjalizującą się w tego typu pracach. Technologia wiercenia studni stosowana przez firmę wykonawczą nosi nazwę – „na płuczkę”. Odwiercany urobek jest wyplukiwany strumieniem wody pod ciśnieniem z otworu co powoduje wyprowadzanie materiału na powierzchnię.

Podczas wykonywania odwiertu potwierdzili się warstwy geologiczne przewidziane w projekcie tzn. warstwa nieprzepuszczalna bogata w glinę sięga do głębokości około 8 m p.p.t., następnie 3,5 m to warstwa wodonośna zawierająca grubo żwir o bardzo dobrych parametrach filtracji około 25 m/dobę i warstwa nieprzepuszczalnych ilów zaczynająca się na głębokości 12 m p.p.t.

Następnie wykonano próbne pompowanie – przez 24 h, wypompywano wodę z wydajnością 10 m³/h, spowodowało to obniżenie poziomu wody z 0,6 m p.p.t. o około 2,5 m. Badania rzeczywiste potwierdziły wydajność złoże z danymi projektowymi.

Przeprowadzone badania wykazały wysoką zawartość związków żelaza, lecz nie wykluczyły możliwości zastosowania pompy ciepła.

Wykonanie studni zrzutowej i testów

Studnia zrzutowa została wykonana przez firmę, która także specjalizuje się w uszczelnianiu odwiertów pomiędzy poszczególnymi warstwami wodonośnymi. Technologia tu zastosowana polegała na wierceniu otworu studni na sucho. Gwarantuje to, iż nie występuje w tym przypadku wyplukiwanie urobku pod ciśnieniem, co może powodować dodatkową erozję ścianek otworu i nieszczelne przyleganie gruntu do rury nad filtrowej. Profil wykonanego odwiertu okazał się bardzo korzystny, gdyż do poziomu około 8,3 m p.p.t. znajduje się warstwa nieprzepuszczalna pyłów i gliny, następnie przez około 3,5 m są żwiry i piaski, a od 12,8 m p.p.t. zaczyna się nieprzepuszczalna warstwa ilu. Warstwa wodonośna zaczyna się na poziomie 9,25 m p.p.t. i stabilnie utrzymuje się na tym poziomie. Uzyskany profil warstw okazał się bardzo obiecujący do zastosowania jako zrzutu wody z pompy ciepła. W celu potwierdzenia przypuszczeń wykonane zostało 24 godzinne pompowanie próbne, które potwierdziło chłonność złoże i szczelność wykonanej studni. Badania przeprowadzono przy stałym dozorze przedstawiciela firmy wiertniczej.

Wybór dostawcy pompy ciepła

Oszacowana wstępnie wartość urządzenia według ofert wstępnych określona została na około 35 000 zł, co wymagało ogłoszenia i dopełnienia procedur przetargowych. Przetarg wygrała firma Ochsner Pompy Ciepła, której wartość robót i urządzeń wyniosła 48 838 zł.

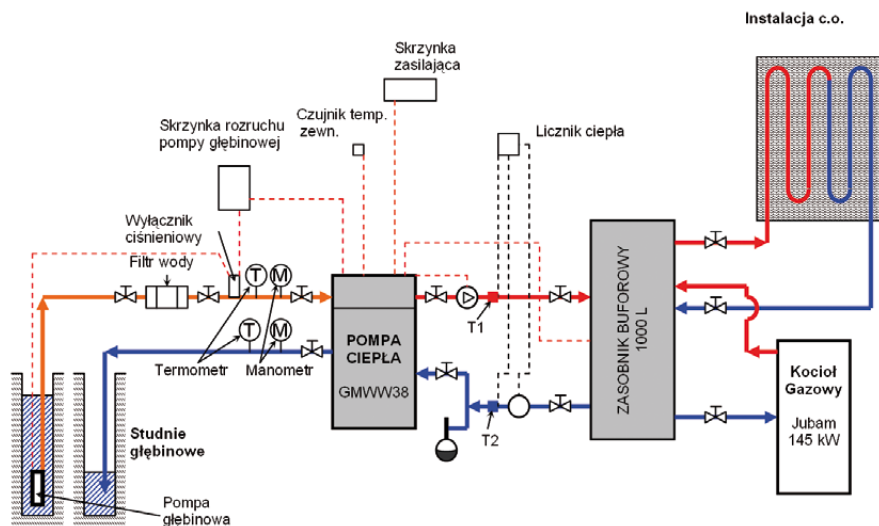
Prace montażowe obejmowały włączenie się do instalacji c.o., montaż bufora o pojemności 1 m³, pompy ciepła, licznika energii cieplnej na wyjściu z PC, pompy głębinowej, rozdzielni głównej energii elektrycznej i stosownych zabezpieczeń różnicowoprądowych i nadprądowych oraz wykonania podłączeń ułożonych rur wodnych ze studniami. Zamontowana pompa ciepła to urządzenie OCHSNER Golf Maxi GMWW 38.



Rys. 3. Pompa ciepła Golf Maxi GMWW 38 bez obudowy zewnętrznej



Rys. 4. Zmontowany system grzewczy – pompa ciepła, zbiornik buforowy, rozdzielnia elektryczna, instalacja wodna



Rys. 5. Schemat instalacji grzewczej

Okres rozruchu i wstępne wyniki techniczne

Przeprowadzone uruchomienie wykazało szczelność instalacji.

Ostatnim etapem był końcowy odbiór prac połączony ze szkoleniem osób, które zajmować się będą dalszą eksploatacją pompy ciepła.

Wstępne pomiary parametrów urządzenia:

- temp. wody na zasilaniu ze studni czerpalnej, +11°C,
- spadek temp. wody po przepływie przez wymiennik w PC, +3,5°C,
- temp. na wyjściu z PC i zasilaniu do bufora, +51,5°C,
- temp. na wejściu do PC i powrocie z bufora, +42°C,
- **sprawność całego układu grzewczego z pompą ciepła (razem z pompą obiegową i głębinową) – ok. 3,0.**

Wstępne wyniki potwierdziły założenia technicznych parametrów systemu z pompą ciepła. Okresowo występujące zwiększone zapotrzebowanie na ciepło pokrywane jest przez zataczający się kocioł gazowy, pracujący wówczas równolegle z pompą ciepła.

Eksploatacja instalacji

W założeniach techniczno-ekonomicznych projektu przyjęto produkcję energii cieplnej z pompy ciepła na poziomie 255 GJ/rok oraz cenę jednostkową 37 zł/GJ brutto. Średni czas pracy w okresie sezonu grzewczego wynosił ok. 10 h/dobę. Zwrot kosztów inwestycyjnych przy takich założeniach następował po 9 roku eksploatacji.

Obecnie dostarczanie energii cieplnej zapowiada się korzystniej, gdyż dostawa ciepła odbywa się w sposób ciągły przez 24 h/dobę (w miesiącach typowo zimowych).

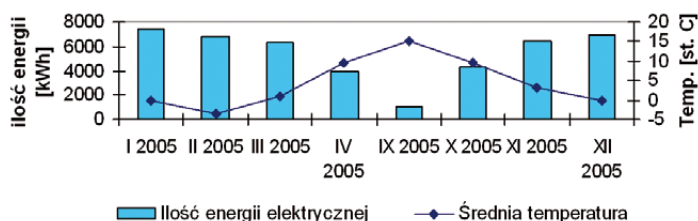
Ilość energii cieplnej dostarczonej przez pompę ciepła do układu ogrzewania w okresie od 03.01.2005 r. do 02.01.2006 r. wyniosła 458 GJ. Na podstawie tych danych można przewidywać, iż przy wytwarzaniu ciepła na poziomie 460 GJ/rok, okres zwrotu zainwestowanych nakładów skróci się poniżej 7 lat.

Głównym celem instalacji pompy ciepła, była redukcja kosztów ogrzewania Szkoły Podstawowej i Gimnazjum w Wielkiej Wsi.

Na rys. 9 i 10 graficznie przedstawiono wyniki obliczeń, które pokazują w jakim stopniu udało się to zrealizować w roku 2005 oraz 2009.

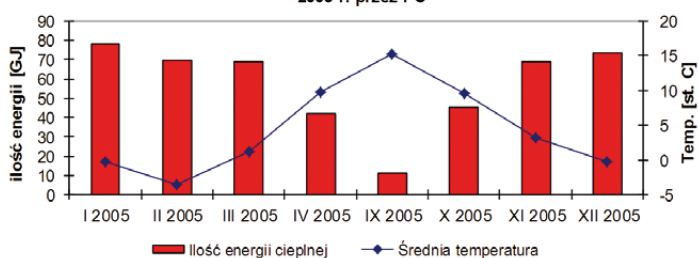
W roku poprzedzającym instalację pompy ciepła zużycie gazu przez szkołę było na poziomie 20 893 m³/rok, z czego ok. 1 440 m³/rok zużyto na potrzeby przygotowania posiłków, natomiast pozostała część, tj. 19 453 m³/rok posłużyła do produkcji ciepła. Ilość energii cieplnej wyprodukowanej wynosiła 500 GJ/rok. Ze względu na tak duże zużycie, obiekt był

Porównanie zużycia energii elektrycznej w miesiącach grzewczych w 2005 r. przez PC



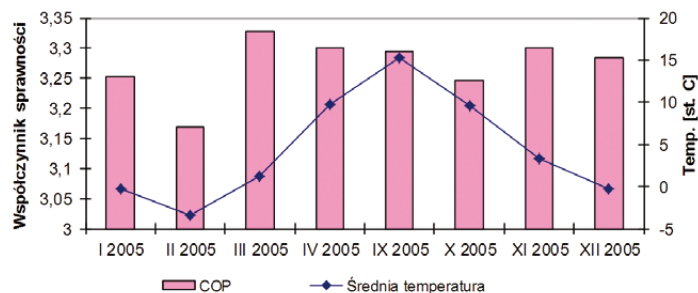
Rys. 6. Porównanie zużycia energii elektrycznej w miesiącach grzewczych w 2005 r. przez PC

Porównanie produkcji energii cieplnej w miesiącach grzewczych w 2005 r. przez PC



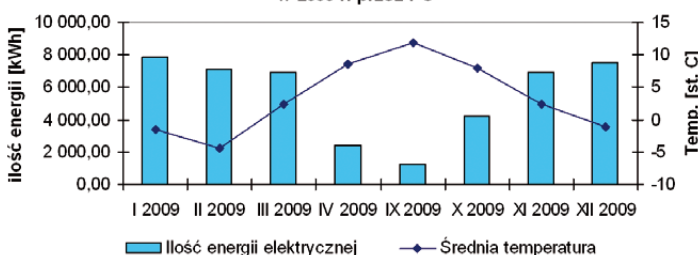
Rys. 7. Porównanie dostarczenia energii cieplnej przez PC do układu ogrzewania w miesiącach grzewczych w 2005 r.

Porównanie współczynników sprawności PC w miesiącach grzewczych w 2005 r.



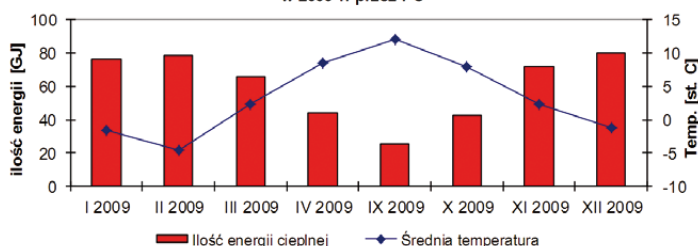
Rys. 8. Porównanie współczynników sprawności PC w miesiącach grzewczych w 2005 r.

Porównanie zużycia energii elektrycznej w miesiącach grzewczych w 2009 r. przez PC



Rys. 9. Porównanie zużycia energii elektrycznej w miesiącach grzewczych w 2009 r. przez PC

Porównanie produkcji energii cieplnej w miesiącach grzewczych w 2009 r. przez PC



Rys. 10. Porównanie ilości energii cieplnej w miesiącach grzewczych w 2009 r. dostarczonej do układu ogrzewania przez PC

rozliczany w taryfie W4. Aby obliczenia mogły być porównywalne przeprowadzono symulację kosztów dla stawek z roku 2005, uwzględniając zmiany taryfy gazu. Dla tak przyjętych założeń, koszt gazu na cele grzewcze wyniósłby 17 990 zł/rok. W wyniku zastosowania pompy ciepła zużycie gazu spadło do poziomu ok. 4 200 m³/rok, z czego dla potrzeb pieca gazowego ok. 2 320 m³/rok. Natomiast całkowita produkcja ciepła dla obiektu wyniosła ok. 522 GJ/rok. Ze względu na znaczny spadek zużycia, obiekt powinien być rozliczany w taryfie W3. Koszt gazu na potrzeby ogrzewania wyniesie w takim przypadku ok. 2 541 zł/rok. Po zsumowaniu kosztów gazu na potrzeby wytworzenia ciepła w piecu gazowym i kosztów ciepła z pompy ciepła, całkowity koszt wynosi 16 340 zł/rok. Efektem jest spadek kosztów przeznaczonych na cele centralnego ogrzewania, który wynosi około 9,2%.

Zwiększenie efektu ekonomicznego, spowodowane jest głównie wzrostem cen gazu (koszty odniesienia). Dodatkowo korzystnie wpłynęła zmiana taryfy z W4 na W3, gdzie udział kosztów stałych jest znacznie mniejszy. Uzyskano z tego redukcję kosztów 4,2% zwiększeniem zysku dla Urzędu Gminy pomimo większej produkcji energii cieplnej o 22 GJ.

Analiza oparta na danych rzeczywistych potwierdziła opłacalność inwestycji dla odbiorcy poprzez redukcję kosztów oraz optymalny dobór tego urządzenia, które po pierwszym roku pracy dostarczyło aż 87% energii cieplnej potrzebnej do ogrzania obiektu.

Należy tutaj zaznaczyć, iż zapotrzebowanie na moc obiektu jest obliczone na 105 kW, natomiast pompa ciepła dysponuje mocą cieplną tylko 32 kW, co stanowi jedynie 30,0% pokrycia szczytowej mocy grzewczej obiektu. Okazuje się jednak, iż taki dobór okazał się optymalny zarówno pod względem inwestycyjnym dla właściciela pompy ciepła – ENION S. A. Zakład Energetyczny Tarnów, jak również ekonomicznym dla odbiorcy – Urzędu Gminy.

Literatura

- [1] Ceglaz G.: Inwestycja i montaż pompy ciepła w Wielkiej Wsi – studium przypadku, Tarnów, styczeń 2005 rok, ENION S.A., Oddział w Tarnowie
- [2] Ceglaz G.: Wyniki eksploatacyjne pompy ciepła w Wielkiej Wsi, ENION S.A., Tarnów, styczeń 2006 rok.
- [3] Zimny J.: Odnawialne zasoby energii w budownictwie niskoenergetycznym, 2010 r. Warszawa – Kraków, PGA, AGH, WNT.
- [4] Rubik M.: Pomy ciepła. Warszawa 2006. Technika Instalacyjna w Budownictwie.
- [5] PN-EN 14511:1-4: Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia. 2009.
- [6] Katalog pomp ciepła firmy Ochsner 2010 r.