

## MODERNIZACJA OGRZEWANIA DOMU JEDNORODZINNEGO NA OGRZEWANIE POWIETRZNE

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK<sup>a\*</sup>, Tomasz BOBRYK

<sup>a</sup> Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

<sup>b</sup> Kamssoft Podlasie Sp. z o.o. (Zambrów)

**Streszczenie:** W artykule omówiono możliwości modernizacji lub inwestycji dotyczących ogrzewania domów jednorodzinnych. Porównano ogrzewanie nadmuchowe (powietrzne), ogrzewanie grzejnikowe oraz ogrzewanie płaszczynowe pod względem nośników energii, elementów grzejnych, bezwładności układu, awaryjności, kosztów eksploatacji, wpływu na estetykę wewnątrz oraz możliwość rozbudowy o funkcje wentylacji i klimatyzacji. Podano również alternatywne urządzenia wspomagające ogrzewanie domu, takie jak: gruntowe wymienniki ciepła oraz kolektory słoneczne. Omówiono wykonany projekt ogrzewania domu jednorodzinnego ogrzewaniem powietrznym z wykorzystaniem pieca nadmuchowego i centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła za pomocą GWC. Zaprojektowano także współpracę instalacji wywiewnej z okapem kuchennym. Jako system podgrzewu ciepłej wody użytkowej zaproponowano instalację solarną z pojemnościowym podgrzewaczem. W artykule podano również koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne dla zaproponowanego rozwiązania. Celem artykułu było omówienie zagadnień oraz przepisów dotyczących ogrzewania nadmuchowego oraz odzysku ciepła za pomocą gruntowych wymienników ciepła. Ponadto celem było zaprezentowanie wykonanych rozwiązań i wskazanie zasadności stosowania ogrzewania nadmuchowego w domach jednorodzinnych

*Słowa kluczowe:* ogrzewanie budynków; ogrzewanie powietrzne; alternatywne ogrzewanie.

### 1. Wstęp

Człowiek budując dom jednorodzinny lub remontując go chce zapewnić sobie i swojej rodzinie najlepsze warunki do życia. W dobie rosnących cen energii chce również zmniejszyć koszty utrzymania swojego domu. Modernizuje instalację centralnego ogrzewania, wymienia okna na nowe – szczelne, ociepla ściany i stropy. Zamyka swój dom, który staje się „superszczelny”. Zastanawia się nad wentylacją. Na rynku dostępnych jest wiele sprawdzonych rozwiązań. Naprzeciw jego wszystkim potrzebom wychodzi ogrzewanie nadmuchowe. Znakomicie zastępuje klasyczne ogrzewanie grzejnikami oraz zaspokaja potrzebę skutecznego wentylowania pomieszczeń.

Instalacje centralnego ogrzewania są coraz bardziej nowoczesne. Do wyboru jest coraz więcej jednostek grzewczych, rodzajów paliwa, materiałów użytych do budowy instalacji oraz automatyki. Dostępne są także alternatywne źródła energii odnawialnej. Większość opiera się na ogrzewaniu wodnym – klasycznie grzejnikami (te także są coraz bardziej udoskonalane). Nowym rozwiązaniem jest ogrzewanie nadmuchowe coraz częściej stosowane w hotelach, restauracjach, salach kinowych, dużych halach, a także w budownictwie

mieszkalnym, szczególnie w domach jednorodzinnych. Ogrzewanie powietrzne jest chętnie wybierane spośród innych systemów, gdyż może zapewnić komfort cieplny zarówno zimą, jak też latem – pełniąc funkcję klimatyzacji.

Wielu autorów wspominało jak ważne w budżecie domowym są koszty utrzymania domów jednorodzinnych pod względem termicznym. Na te koszty składają się straty ciepła związane z ogrzewaniem i wentylacją lub ogrzewaniem powietrznym (Baranowski i Ferdyn-Grygierek, 2013) oraz aspekty ekonomiczne związane z energetyką (Kępa, 2014) wpływające bezpośrednio na koszty eksploatacyjne zaprojektowanych urządzeń.

W artykule zaprezentowano projekt ogrzewania domu jednorodzinnego: ogrzewaniem powietrznym z wykorzystaniem pieca nadmuchowego i centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła (Bobryk, 2012). Wybrano ogrzewanie powietrzne ze względu na właściwości powietrza jakie można osiągnąć poprzez ogrzewanie nadmuchowe, które jednocześnie realizuje zadania wentylacji (González i in., 2014). Dodatkowo nie występuje zjawisko przypiekania kurzu i rozwoju roztoczy, co pozytywnie wpływa na domowników (Kramer i in., 2014). Jako system podgrzewu ciepłej wody użytkowej zaproponowano

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl

instalację solarną z pojemnościowym podgrzewaczem.

Celem pracy jest wykonanie projektu ogrzewania nadmuchowego domu jednorodzinnego z odzyskiem ciepła w gruntowym wymienniku ciepła, określenie nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz wskazanie zasadności stosowania zaproponowanych rozwiązań.

## 2. Przegląd literatury

### 2.1. Komfort cieplny

Jednym z podstawowych warunków prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego jest stworzenie i utrzymanie w pomieszczeniach i budynkach odpowiednich warunków cieplnych. Oznacza to w praktyce konieczność okresowego doprowadzenia do nich ciepła w ilościach niezbędnych dla wytworzenia i zachowania tych warunków. Jednocześnie stawia się szereg wymagań dotyczących produkcji i dostawy tego typu rodzaju energii (Nantka, 2006; Pieńkowski i in., 1999). Głównym zadaniem ogrzewania pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi w okresie zimowym jest doprowadzenie do względnej równowagi pomiędzy organizmem ludzkim a otoczeniem oraz zapewnienie człowiekowi odpowiednich warunków cieplno-fizjologicznych, zależnie od rodzaju i przeznaczenia pomieszczenia (Nantka, 2006).

Głównymi parametrami komfortu cieplnego są (Fanger i Toftum, 2002; Toftum i in., 2004; Kowalczyk, 2010; Gładyszewska-Fiedoruk i Krawczyk, 2015):

- temperatura powietrza wewnętrznego,
- średnia temperatura promieniowania,
- prędkość powietrza w pomieszczeniu,
- wilgotność powietrza.

Wymienione parametry stanowią średnią wartość w obszarze przebywania ludzi. Stan komfortu cieplnego określa również norma PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego* poprzez:

- gradienty temperatury,
- asymetrię temperatury promieniowania,
- stopień turbulencji przepływu powietrza.

Odpowiedni dobór instalacji grzewczej i wentylacyjnej oraz oporu cieplnego i powierzchni okien pozwala pominąć wpływ tych czynników na stan komfortu cieplnego. Jednak w przypadku biernego wykorzystania promieniowania słonecznego ich oddziaływanie jest zazwyczaj bardzo istotne.

Podstawowe parametry opisujące komfort cieplny zależą od przeznaczenia danego pomieszczenia, współczynników przenikania ścian, stropów, okien i stopnia przeszklenia oraz rodzaju zastosowanej instalacji grzewczej, a głównie rodzaju grzejników wodnej instalacji centralnego ogrzewania. Właściwe ze względu na komfort cieplny wartości prędkości i wilgotności powietrza w okresie sezonu grzewczego powinny spełniać

ograniczenia  $\leq 0,2$  m/s i 30-70%. Uzyskanie odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego wiąże się z doprowadzeniem do pomieszczeń stosownego strumienia powietrza świeżego, wyrażonego na przykład liczbą wymian, przy założeniu właściwego rozdziału powietrza (Gładyszewska-Fiedoruk i Krawczyk, 2015; Danielewicz i Gołęcki, 2010; Recknagel i in. 1994).

### 2.2. Ogrzewanie powietrzne

W ogrzewaniu powietrznym nośnikiem ciepła, dostarczającym do pomieszczenia moc cieplną, jest powietrze. Jest ono podgrzewane do 60-80°C, miesza się z powietrzem znajdującym się w pomieszczeniu, podwyższając jego temperaturę i następnie jest nawiewane do pomieszczenia (Recknagel i in., 2008; Rastogi i in., 2015). Ogrzewanie powietrzne można podzielić na dwa podstawowe systemy:

- powietrzne grawitacyjne (obecnie niestosowane),
- powietrzne z pobudzeniem mechanicznym.

W domach jednorodzinnych z powodzeniem stosuje się ogrzewania powietrzne z pobudzeniem mechanicznym. Przepływ powietrza jest wymuszony działaniem wentylatora (odpowiednik pompy w ogrzewaniu wodnym pompowym). Dzięki wentylatorowi można zmniejszyć wymiary przewodów i osiągnąć mniejszą bezwładność cieplną. Istnieje większa możliwość regulacji temperatury i strumienia objętości powietrza (Yu i in., 2014; Koczyk, 2005).

System ogrzewania powietrznego (Pieńkowski i in., 1999) składa się z:

- nadmuchowego kotła grzewczego – jako paliwo stosowane mogą być: gaz ziemny, gaz płynny, olej opałowy lub energia elektryczna; spaliny usuwane przez przewód kominowy; wentylator zasysa z zewnątrz budynku powietrze, które w sekcji grzewczej opływa rozgrzaną komorę spalania, nagrzewa się i ciepłe wydychiwane jest do pomieszczenia poprzez głowice swobodnego nadmuchu lub system kanałów; może być też oczyszczane przez filtry; jedną z możliwości jest też zastosowanie kotła kondensacyjnego lub pompy ciepła typu powietrze-powietrze, źródłem ciepła może być też kominek;
- kanałów rozprowadzających – ciepłe powietrze doprowadzane jest kanałami do poszczególnych pomieszczeń, kanały instalowane są na poddaszach nieużytkowych, w podłodze, nad sufitami podwieszanymi;
- kratki nadmuchowych – stanowią one zakończenie kanałów rozprowadzających; wyposażone są w przepustnice umożliwiające ręczną regulację strumienia doprowadzanego powietrza;
- czerpni zewnętrznej – dostarcza świeże powietrze do systemu; umieszczona jest w zewnętrznej ścianie budynku;
- czerpni wewnętrznej – zbiera usuwane powietrze z pomieszczeń i odprowadza je do zasilania palnika lub komory paleniskowej;

- automatyki – proces ogrzewania powietrzem może być sterowany za pomocą mikroprocesora (możliwa regulacja temperatury nadmuchu, stabilizacja temperatury w pomieszczeniu, sterowanie procesem spalania paliwa); możliwe jest ustawianie programów dobowych, tygodniowych i innych.

Elementy systemu ogrzewania nadmuchowego są nie tylko urządzeniami odpowiedzialnymi za temperaturę. Cały system można rozwijać i modyfikować. Dostępne są także urządzenia, bądź zespoły urządzeń, które poprawiają jakość powietrza.

Wady systemu ogrzewania nadmuchowego (Krygier i in., 2000; Dąbrowska, 2008):

- konieczność stosowania kanałów wentylacyjnych o znacznych przekrojach; do ogrzewania powietrznego nadają się najlepiej budynki o budowie szkieletowej, o niskiej akumulacyjności cieplnej (w przestrzeni budynku szkieletowego łatwo schować przewody);
- kratki nawiewne lub anemostaty powinny być tak umieszczone, aby wypływający z nich strumień powietrza nie był skierowany bezpośrednio na osobę przebywającą w pomieszczeniu;
- słyszalny szum przepływającego powietrza;
- w budynkach użyteczności publicznej, służby zdrowia wymagane są dodatkowo filtry węglowe lub jonizowane, które mają za zadanie w 100% oczyścić powietrze;
- konieczność wymiany filtra raz w sezonie lub co 2 lata.

### 2.3. Ogrzewanie powietrzem jako wentylacja

Posiadacze ogrzewania nadmuchowego mogą z łatwością wyposażyć swój dom w rekuperator, ograniczając jednocześnie nakłady inwestycyjne, gdyż do wentylacji używane są kanały systemu nadmuchowego (Albers i in., 2007).

Rekuperator ma za zadanie zapewnienie stałej wentylacji budynku. Dzięki zastosowaniu tego urządzenia straty ciepła są zminimalizowane. Obecnie, gdy budynki są bardzo szczelne, a urządzenia grzewcze posiadają bardzo wysoką sprawność, nie można dopuścić do strat ciepła związanych z wymianą powietrza. Straty te wynoszą nawet 80% wszystkich strat ciepła budynku. Rekuperator dostarcza świeże powietrze do pomieszczenia z zewnątrz budynku oraz usuwa zużyte powietrze, jednocześnie odzyskując do 95% ciepła. Każdy rekuperator zawiera dwa wentylatory: nawiewny i wywiewny, zadaniem których jest dostarczanie powietrza świeżego oraz odbieranie powietrza zużytego. Głównym elementem urządzenia jest wymiennik ciepła, gdzie dwa strumienie powietrza (świeże i zużyte) przepływają w sąsiadujących komorach. Strumienie powietrza zużytego i świeżego nie mieszają się, natomiast ciepło z powietrza zużytego przejmowane jest przez świeże powietrze ([www.ogrzewanie-nadmuchowe.pl](http://www.ogrzewanie-nadmuchowe.pl)).

### 2.4. Porównanie systemów grzewczych

Cechy użytkowe systemów grzewczych podano w tabeli 1. Analizując tabelę można określić swoje preferencje odnośnie systemu grzewczego oraz poznać wady i zalety przedstawionych rozwiązań.

Tab. 1. Cechy użytkowe systemów grzewczych

| Cecha   | Ogrzewanie nadmuchowe  | Ogrzewanie grzejnikowe  | Ogrzewanie płaszczyznowe  |
|---|--|---|---|
| Nośnik energii  | Powietrze  | Woda  | Woda  |
| Element grzejny   | Kratka nadmuchowa  | Grzejnik  | Podłoga, ściana, sufit  |
| Bezwładność   | Niska<br>Odczuwalny efekt ogrzewania po kilku minutach od uruchomienia             | Średnia<br>Odczuwalny efekt ogrzewania po kilku godzinach od uruchomienia                               | Wysoka<br>Odczuwalny efekt ogrzewania po wielu godzinach od uruchomienia                                |
| Usterkowość   | Niska<br>Brak wody w układzie  | Średnia<br>Możliwość wystąpienia awarii związanych z obecnością wody, jak kamień kotłowy, korozja, itp. | Średnia<br>Możliwość wystąpienia awarii związanych z obecnością wody, jak kamień kotłowy, korozja, itp. |
| Koszty eksploatacji                                     | Niskie<br>Niska bezwładność, brak czynników pośrednich, programowanie co do minuty | Średnie<br>Duża bezwładność i konieczność przekazywania ciepła z wody do powietrza                      | Średnie<br>Duża bezwładność i konieczność przekazywania ciepła z wody do powietrza                      |
| Wpływ na estetykę wnętrza                               | Niski<br>Kratki nadmuchowe mogą być umieszczone w podłodze, ścianie lub suficie    | Duży<br>Grzejniki ograniczają możliwości aranżacji wnętrza, wielkość okien, itp.                        | Średni<br>Ograniczony wybór materiałów na podłogę, kłopoty z ustawieniem mebli                          |
| Możliwość rozbudowy o funkcje wentylacji i klimatyzacji | Tak  | Nie   | Nie   |

## 2.5. Alternatywne metody ogrzewania domu

### Gruntowe wymienniki ciepła

Celem znacznego ograniczenia kosztów ogrzewania i optymalizacji pracy systemu rekuperacji oraz ogrzewania powietrznego stosuje się gruntowe wymienniki ciepła (GWC) w wersji rurowej, płytowej lub ze złożem żwirowym.

Gruntowe wymienniki ciepła zapewniają dopływ do budynku świeżego powietrza o stabilnych parametrach w ciągu całego roku. W okresie zimowym powietrze jest wstępnie ogrzewane i nawilżane (nawilżanie tylko w GWC żwirowym). Tak przygotowane powietrze chroni rekuperator i piec przed zamrożeniem oraz ogranicza negatywny wpływ suchego powietrza na śluzówki. W okresie letnim, GWC schładza i osusza powietrze, dzięki czemu w upalne dni w domu można w wyraźny sposób poprawić warunki mikroklimatu, uzyskując bardzo tani w eksploatacji system klimatyzujący pomieszczenia. Pracę GWC w układach wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła w aspekcie ekonomicznym można rozpatrywać tylko w dwóch okresach: zimowym i letnim ([www.ogrzewanie-nadmuchowe.pl](http://www.ogrzewanie-nadmuchowe.pl), [www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl](http://www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl)).

Dobrze zaprojektowany i wykonany GWC niezależnie od warunków zewnętrznych podgrzewa powietrze wentylacyjne do około +2°C. Daje to możliwość znacznego ograniczenia kosztów inwestycyjnych instalacji grzewczej, mocy kotłowni, jak również ciągłe i rosnące oszczędności eksploatacyjne. Dodatkowo wstępne podgrzanie powietrza zabezpiecza wymienniki ciepła central wentylacyjnych przed zamarzaniem, co znacznie podnosi sprawność procesu rekuperacji.

W okresie letnim GWC może zapewnić pokrycie zapotrzebowania na chłód w zakresie niezbędnym do utrzymania komfortu klimatycznego wewnątrz pomieszczeń. Brak odczucia duszności wymaga, aby powietrze wentylacyjne za GWC było odpowiednio chłodne. Należy jednak zaznaczyć, że dla dużych zysków ciepła wentylowanego obiektu należy przeprowadzić inną organizację powietrza, a mianowicie zastosować recyrkulację części powietrza (jeśli to dopuszczalne) przez wymiennik. Uzyskuje się wówczas znaczną oszczędność wielkości GWC lub obniżenie temperatury nawiewu o około 2-3°C.

Zalety gruntowego wymiennika ciepła ([www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl](http://www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl)):

- schładzanie budynku w upalne dni,
- wspomaganie regulacji wilgotności w budynku przez cały rok,
- dogrzewanie powietrza wentylacyjnego zimą,
- filtracja wstępna powietrza,
- ochrona urządzeń wewnętrznych przed zamrożeniem.

### Kolektory słoneczne

Zadaniem kolektora słonecznego jest pobieranie energii z promieniowania słonecznego bezpośredniego, rozproszonego i odbitego, a następnie przekazywanie jej do instalacji grzewczej.

Kolektor płaski składa się z:

- przezroczystego pokrycia (najczęściej ze szkła strukturalnego);
- absorbera (obecnie z blachy miedzianej pokrytej powłoką selektywną pochłaniającą 95% padającego na niego promieniowania),
- wymiennika ciepła (zwykle rurki miedziane przylutowane do absorbera),
- izolacji (przeważnie wełna mineralna).

Promienie słoneczne ogrzewają umieszczony w kolektorze absorber, który pochłania promieniowanie słoneczne i zamienia je w ciepło. Poprzez węzownice (wymiennik ciepła) płyn grzewczy oddaje ciepło podgrzewając wodę. Pod absorberem kolektor izolowany jest wełną mineralną, a od góry przykryty szybą solarną, odporną na grad. Całość zamknięta jest w obudowie aluminiowej (Joudi i Farhan, 2014; Jakhar i in., 2015).

Kolektory próżniowe są najnowszym, wysoko zaawansowanym produktem techniki solarnej. Jest to 30% sprawniejszy od kolektorów płaskich w okresach wiosennym i jesienno-zimowym. Wysoka sprawność kolektorów próżniowych wynika ze zdolności kolektora próżniowego do absorbowania promieniowania rozproszonego oraz ograniczania strat ciepła dzięki próżni istniejącej między dwiema rurami szklanymi kolektora. Powłoka absorbująca w kolektorach rurowych znajduje się najczęściej na zewnętrznej powierzchni wewnętrznej rury. Zapewnia to absorpcję promieni słonecznych nawet przy ostrym kącie padania promieni słonecznych ([www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl](http://www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl)).

Wykonane z miedzi rurki ciepła wewnątrz kolektora są fabrycznie napełnione cieczą o niskiej temperaturze parowania. Podczas ogrzewania rur przez słońce ciecz ta zaczyna parować i ciepło konwekcyjnie przechodzi do końcówki rury kondensatora umiejscowionej w kanale zbiorczym będącym wymiennikiem ciepła. Poprzez kondensator ciepło oddawane jest najpierw do płynu przepływającego przez kanał zbiorczy a następnie przekazywane do zbiornika ciepłej wody. Kolektory z rurkami ciepła to najbardziej efektywny typ kolektorów próżniowych ([www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl](http://www.gruntowy-wymiennik-ciepla.pl)).

## 3. Dane ogólne budynku jednorodzinnego i instalacji ogrzewania

Obiekt jest parterowym domem jednorodzinnym położonym w Zambrowie. Jest to wykonany w technologii tradycyjnej budynek murowany z betonu komórkowego o grubości 24 cm, ocieplany styropianem o grubości 15 cm.

Charakterystyka budynku:

- powierzchnia zabudowy – 125,36 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia całkowita – 125,36 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia użytkowa – 102,51 m<sup>2</sup>,
- wysokość maksymalna – 8,50 m,
- długość maksymalna – 12,74 m,
- szerokość maksymalna – 9,84 m,
- wysokość pomieszczeń – 2,70 m.

Dla spełnienia wymaganych parametrów powietrza w poszczególnych pomieszczeniach oraz wymogów technologicznych zaprojektowano instalację ogrzewania powietrznego budynku domu jednorodzinnego złożoną z wentylacyjnej centrali nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła i gazowego pieca nadmuchowego oraz zespołu urządzeń i przewodów do transportu oraz rozdziału powietrza. Celem modernizacji było wykonanie instalacji wentylacyjnej. Ponieważ dom jest mały nie było możliwości technicznej wykonania dwóch oddzielnych instalacji – instalacji centralnego ogrzewania i instalacji wentylacyjnej. Zdecydowano się na jedną instalację spełniającą obie funkcje. Projekt instalacji ogrzewania powietrznego obejmuje pomieszczenia ujęte w tabeli 2, a bilans ciepła w domu podano w tabeli 3. Nasłonecznienie określono na podstawie literatury (Recknagel i in., 1994). Pominięto zyski od urządzeń elektrycznych, ze względu na ich niewielki udział procentowy w całkowitych zyskach ciepła.

Bilans zapotrzebowania na energię cieplną określono na podstawie normy PN-B-02025:2001 *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego* i podano w tabeli 4. Zestawienie strumieni powietrza wentylacyjnego zamieszczono w tabeli 5, a zestawienie nawiewników i wywiewników podano w tabeli 6.

Latem nie przyjęto do sumy zysków ciepła zysków od oświetlenia, gdyż oświetlenie jest używane w okresach, gdy zyski ciepła od nasłonecznienia są małe.

Do obliczeń przyjęto 604 m<sup>3</sup>/h powietrza wentylacyjnego. Na podstawie obliczeń całkowitej projektowej straty ciepła (PN-EN 12831:2006 *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*) w celu wstępnego dogrzewu powietrza dobrano nadmuchowy kondensacyjny piec grzewczy z zamkniętą komorą spalania, o sprawności ponad 106%, charakteryzujący się wyjątkowo cichą pracą oraz bardzo niską awaryjnością. Z uwagi na pracę przez większość czasu w trybie słabego ogrzewania, zużywa on do 80% mniej energii, niż piece jednostopniowe. Piec posiada płynną regulację obrotów wentylatora, dwustopniowy palnik oraz mechaniczny filtr powietrza. Przy doborze pieca brano pod uwagę potrzeby użytkowników. Zdecydowano się na ten model, ponieważ spełniał wszystkie oczekiwania inwestora.

#### *Przewody i inne wyposażenie dodatkowe*

Zaprojektowana instalacja kanałowa wykonana jest w specjalnej technologii zapewniającej cichy i sprawny przesył powietrza przy jednoczesnej dobrej izolacji termicznej. Kanały ogrzewania nadmuchowego prowadzono w posadzce ocieplonej styropianem. Kanały wywiewne zostały poprowadzone na poddaszu. Układ posiada cyfrowy sterownik z funkcją kontroli wilgotności, czujnikiem temperatury zewnętrznej i regulacją wydajności wentylacji. Dzięki cyfrowej komunikacji z piecem sterownik w pełni kontroluje jego pracę oraz umożliwia pełną diagnostykę i kalibrację systemu.

Tab. 2. Charakterystyka pomieszczeń z ogrzewaniem powietrznym

| Numer pomieszczenia | Nazwa pomieszczenia       | Powierzchnia [m <sup>2</sup> ] | Wysokość [m] | Kubatura [m <sup>3</sup> ] | Nawiew [m <sup>3</sup> /h] | Wywiew [m <sup>3</sup> /h] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1                   | Wiatrołap                 | 4,58                           | 2,7          | 12                         | 25                         | 25                         |
| 2                   | Holl                      | 7,3                            | 2,7          | 20                         | 39                         | 39                         |
| 3                   | WC                        | 1,41                           | 2,7          | 4                          | 8                          | 8                          |
| 4                   | Garderoba                 | 2,74                           | 2,7          | 7                          | 15                         | 15                         |
| 5                   | Pokój                     | 12,1                           | 2,7          | 33                         | 65                         | 65                         |
| 6                   | Pokój                     | 14,71                          | 2,7          | 40                         | 79                         | 79                         |
| 7                   | łazienka                  | 8,65                           | 2,7          | 23                         | 47                         | 47                         |
| 8                   | kuchnia                   | 11,7                           | 2,7          | 32                         | 111                        | 111                        |
| 9                   | pomieszczenie gospodarcze | 6,02                           | 2,7          | 16                         | 33                         | 33                         |
| 10                  | salon                     | 33,3                           | 2,7          | 90                         | 180                        | 180                        |
| Razem               |                           |                                |              | 277                        | 601                        | 601                        |

Tab. 3. Zestawienie zysków ciepła

| Źródło          | Zima       |               |                        | Lato       |               |                        |
|-----------------|------------|---------------|------------------------|------------|---------------|------------------------|
|                 | Ciepło [W] | Wilgoć [kg/s] | CO <sub>2</sub> [kg/s] | Ciepło [W] | Wilgoć [kg/s] | CO <sub>2</sub> [kg/s] |
| Ludzie          | 194        | 0,000051      | 0,000029               | 140        | 0,000066      | 0,000029               |
| Oświetlenie     | 410        |               |                        | -          |               |                        |
| Nasłonecznienie | -          |               |                        | 450        |               |                        |
| Razem           | 604        | 0,000051      | 0,000029               | 590        | 0,000066      | 0,000029               |

Tab. 4. Bilans zapotrzebowania na energię ciepłą

| Miesiąc     | $N_d$ | $Tem,m$<br>[°C] | $Q_D$<br>[GJ/rok] | $Q_{iw}$<br>[GJ/rok] | $Q_g$<br>[GJ/rok] | $Q_{ve}$<br>[GJ/rok] | $h_{H,g_n}$ | $Q_{sol}$<br>[GJ/rok] | $Q_{int}$<br>[GJ/rok] | $Q_{H,n_d}$<br>[GJ/rok] |
|-------------|-------|-----------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Styczeń     | 31    | -4,8            | 4,85              | 0                    | 1,42              | 4,11                 | 0,959       | 0,68                  | 2,57                  | 7,26                    |
| Luty        | 28    | -4,2            | 4,27              | 0                    | 1,34              | 3,6                  | 0,917       | 1,37                  | 2,32                  | 5,82                    |
| Marzec      | 31    | -0,3            | 3,92              | 0                    | 1,42              | 3,22                 | 0,831       | 2,25                  | 2,57                  | 4,55                    |
| Kwiecień    | 30    | 6,6             | 2,4               | 0                    | 1,21              | 1,81                 | 0,638       | 2,84                  | 2,49                  | 2,02                    |
| Maj         | 10    | 12,4            | 0,42              | 0                    | 0,33              | 0,25                 | 0,395       | 1,16                  | 0,83                  | 0,21                    |
| Czerwiec    | 0     | 16,5            | 0                 | 0                    | 0                 | 0                    | 0           | 0                     | 0                     | 0                       |
| Lipiec      | 0     | 17,6            | 0                 | 0                    | 0                 | 0                    | 0           | 0                     | 0                     | 0                       |
| Sierpień    | 0     | 16,6            | 0                 | 0                    | 0                 | 0                    | 0           | 0                     | 0                     | 0                       |
| Wrzesień    | 10    | 12,2            | 0,43              | 0                    | 0,2               | 0,25                 | 0,431       | 0,74                  | 0,83                  | 0,21                    |
| Październik | 31    | 7,1             | 2,38              | 0                    | 0,8               | 1,77                 | 0,708       | 1,44                  | 2,57                  | 2,1                     |
| Listopad    | 30    | 2,3             | 3,27              | 0                    | 0,99              | 2,63                 | 0,888       | 0,66                  | 2,49                  | 4,09                    |
| Grudzień    | 31    | -2              | 4,27              | 0                    | 1,25              | 3,56                 | 0,948       | 0,5                   | 2,57                  | 6,17                    |
| W sezonie   | 232   | 1,7             | 26,19             | 0                    | 8,96              | 21,21                | 0,775       | 11,64                 | 19,24                 | 32,43                   |

gdzie:  $N_d$  jest liczbą dni w miesiącu sezonu grzewczego,  $Tem,m$  jest średnią temperaturą zewnętrzną w miesiącu sezonu grzewczego,  $Q_D$  jest stratą energii cieplnej przez przegrody zewnętrzne,  $Q_{iw}$  jest stratą energii cieplnej przez przegrody wewnętrzne,  $Q_g$  jest stratą energii cieplnej przez przegrody przyległe do gruntu,  $Q_{ve}$  jest stratą energii potrzebnej na ogrzanie powietrza wentylacyjnego,  $h_{H,g_n}$  jest współczynnikiem wykorzystania energii,  $Q_{sol}$  jest zyskiem ciepła od promieniowania słonecznego przez okna,  $Q_{int}$  jest bytowym zyskiem ciepła, a  $Q_H$  jest łącznym zapotrzebowaniem na ciepło.

Tab. 5. Zestawienie strumienia powietrza wentylacyjnego

| Rodzaj zanieczyszczeń | Obliczony strumień powietrza wentylacyjnego [m <sup>3</sup> /h] | Wskaźnik krotności wymian [h <sup>-1</sup> ] | Uwagi |
|-----------------------|---|--|-------|
| Ciepło                | 604   | 2,2  | -     |
| Wilgoć                | 0,02  | <1   | -     |
| CO <sub>2</sub>       | 3,1   | <1   | -     |

Tab. 6. Zestawienie liczby nawiewników i wywiewników

| Numer pomieszczenia | Nazwa pomieszczenia       | Nawiew<br>[m <sup>3</sup> /h] | Liczba nawiewników<br>[sztuk] | Wywiew<br>[m <sup>3</sup> /h] | Liczba wywiewników<br>[sztuk] |
|---------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1                   | wiatrołap                 | 0                             | 0                             | 0                             | 0                             |
| 2                   | holl                      | 0                             | 0                             | 0                             | 0                             |
| 3                   | WC                        | 8                             | 1                             | 8                             | 1                             |
| 4                   | garderoba                 | 0                             | 0                             | 15                            | 1                             |
| 5                   | pokój                     | 65                            | 1                             | 65                            | 1                             |
| 6                   | pokój                     | 79                            | 1                             | 79                            | 1                             |
| 7                   | łazienka                  | 47                            | 1                             | 47                            | 1                             |
| 8                   | kuchnia                   | 63                            | 1                             | 63                            | 2                             |
| 9                   | pomieszczenie gospodarcze | 0                             | 0                             | 33                            | 1                             |
| 10                  | salon                     | 180                           | 3                             | 180                           | 1                             |
|                     | Σ                         | 442                           | 8                             | 489                           | 9                             |

### 3. Obliczenia oraz dobór elementów instalacji

Średni dobowy rozbiór wody użytkowej oblicza się ze wzoru:

$$Q_{dsr} = U \cdot q_c = 3 \cdot 110 = 330 \text{ dm}^3 / d \quad (1)$$

gdzie:  $U$  jest liczbą osób, natomiast  $q_c$  jest to jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na c.w.u. na jedną osobę.

Jednostkowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową przedstawiono w tablicy 7, według normy PN-EN 1717:2003 *Ochrona przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w instalacjach wodociągowych i ogólne wymagania dotyczące urządzeń zapobiegających zanieczyszczeniu przez przepływ zwrotny*.

Tab. 7. Jednostkowe zapotrzebowanie na c.w.u. na 1 osobę

| Wyposażenie mieszkania  | Jednostkowe zapotrzebowanie na c.w.u. na 1 osobę [dm <sup>3</sup> /Md] |
|-------------------------|--|
| zlew, umywalka, wanna   | 130  |
| zlew, umywalka, natrysk | 110  |

Średnie godzinowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową wyznacza się ze wzoru:

$$Q_{hsr} = \frac{Q_{dsr}}{\tau} = \frac{330}{18} = 18 \text{ dm}^3 / h \quad (2)$$

gdzie  $\tau$  jest liczbą godzin użytkowania instalacji w ciągu doby. Do obliczeń przyjęto 18 h/d.

Maksymalny godzinowy rozbiór ciepłej wody użytkowej:

$$q_{hmax} = q_{hsr} \cdot N_h = 18 \frac{\text{dm}^3}{h} \cdot 9,32 \cdot 3^{-0,244} = 128 = 0,035 \frac{\text{dm}^3}{s} \quad (3)$$

gdzie  $N_h$  prezentuje wskaźnik godzinowej nierównomierności rozbioru ciepłej wody użytkowej i wynosi

$$N_h = 9,32 \cdot U^{-0,244}$$

Maksymalne obliczeniowe zapotrzebowanie na moc ciepłą na cele ciepłej wody użytkowej:

Parametry pracy instalacji ciepłej wody użytkowej: 45/10°C

$$\varphi_{max}^{cwu} = \frac{q_{hmax} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (t_{cw} - t_{wz})}{3600} \quad (4)$$

$$\varphi_{max}^{cwu} = \frac{128 \frac{\text{dm}^3}{h} \cdot 0,95 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (318 \text{ K} - 283 \text{ K})}{3600} = 5 \text{ kW}$$

gdzie:  $\rho$  jest gęstością wody,  $c_w$  oznacza ciepło właściwe wody, natomiast  $t_{cw}$  oznacza temperaturę ciepłej wody,  $t_{wz}$  jest temperaturą wody zimnej.

Średnie obliczeniowe zapotrzebowanie na moc ciepłą na cele ciepłej wody użytkowej:

$$\varphi_{sr}^{cwu} = \frac{\varphi_{max}^{cwu}}{N_h} = \frac{5 \text{ kW}}{7,12} = 0,7 \text{ kW} \quad (5)$$

Przyjęto 4 kolektory słoneczne. Wpływ na optymalne wyznaczenie powierzchni kolektora, pojemnościowego podgrzewacza jak i całej instalacji solarnej do przygotowania ciepłej wody użytkowej mają następujące parametry:

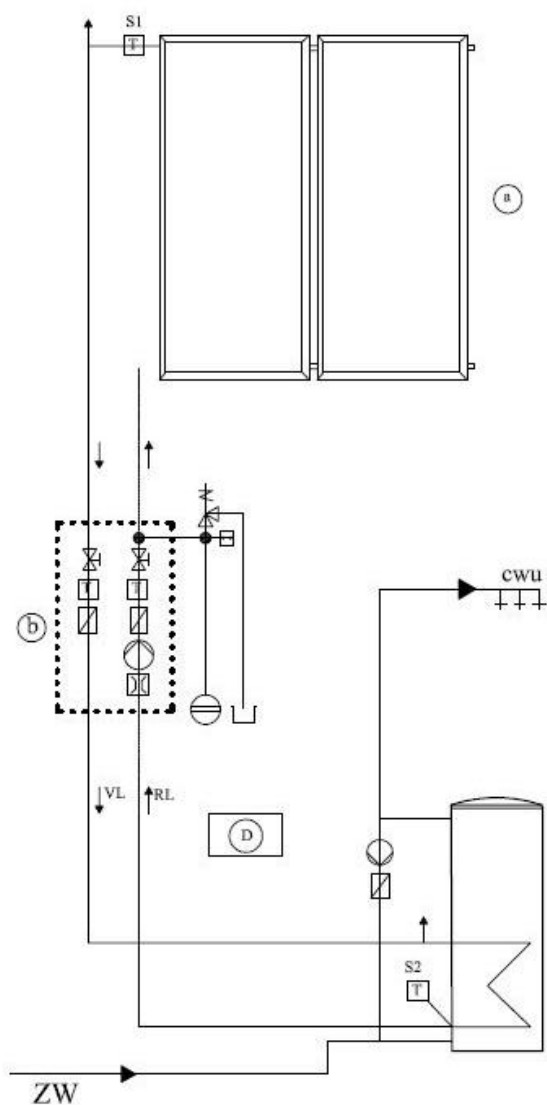
- miejsce montażu – dach,
- kąt nachylenia kolektorów – 45°,
- kierunek skierowania kolektorów – południe,
- rozbiór ciepłej wody –  $Q_{dsr} = 330 \text{ dm}^3 / d$ ,
- miejscowość – Zambrów,
- temperatura c.w.u. – 45°C,
- przeznaczenie instalacji solarnej – wyłącznie cele podgrzewu c.w.u.,
- powierzchnia zewnętrzna (powierzchnia brutto) – 2,37 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia czynna (dopływu światła) – 2,25 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia absorbera (powierzchnia netto) – 2,23 m<sup>2</sup>,
- uzysk kolektora – 525 kWh/(m<sup>2</sup> a),
- sprawność  $\eta_o$  – 77 %.

Dobrano bivalentny podgrzewacz c.w.u. ładowany pojemnościowo za pomocą wężownicy, w którym cała objętość wody podgrzewana jest równomiernie do określonej temperatury. Skuteczna izolacja zapewnia ekonomiczną eksploatację, a termogłazura – w połączeniu z anodą magnezową – nienaganną higienę oraz trwałość. Schemat zaprojektowanej instalacji solarnej (Bobryk, 2012) zaprezentowano na rysunku 1:

- średnica – 850 mm,
- wysokość – 1850 mm,
- zalecany pobór ciepłej wody na dobę w dm<sup>3</sup> (przy temperaturze w podgrzewaczu 60°C oraz temperaturze poboru 45°C) – do 400 dm<sup>3</sup>,
- pojemność podgrzewacza – 490 dm<sup>3</sup>.

Do pośredniego podgrzewania wody użytkowej przez obieg grzewczy z użyciem energii elektrycznej. Zastosowanie, gdy występują dłuższe okresy dni złej pogody.

Gruntowy wymiennik ciepła dobrano ze względu na wydajność rekuperatora do 800 m<sup>3</sup>. Schemat GWC płytowego przy modernizowanym domu (Bobryk, 2012) prezentuje rysunek 2.



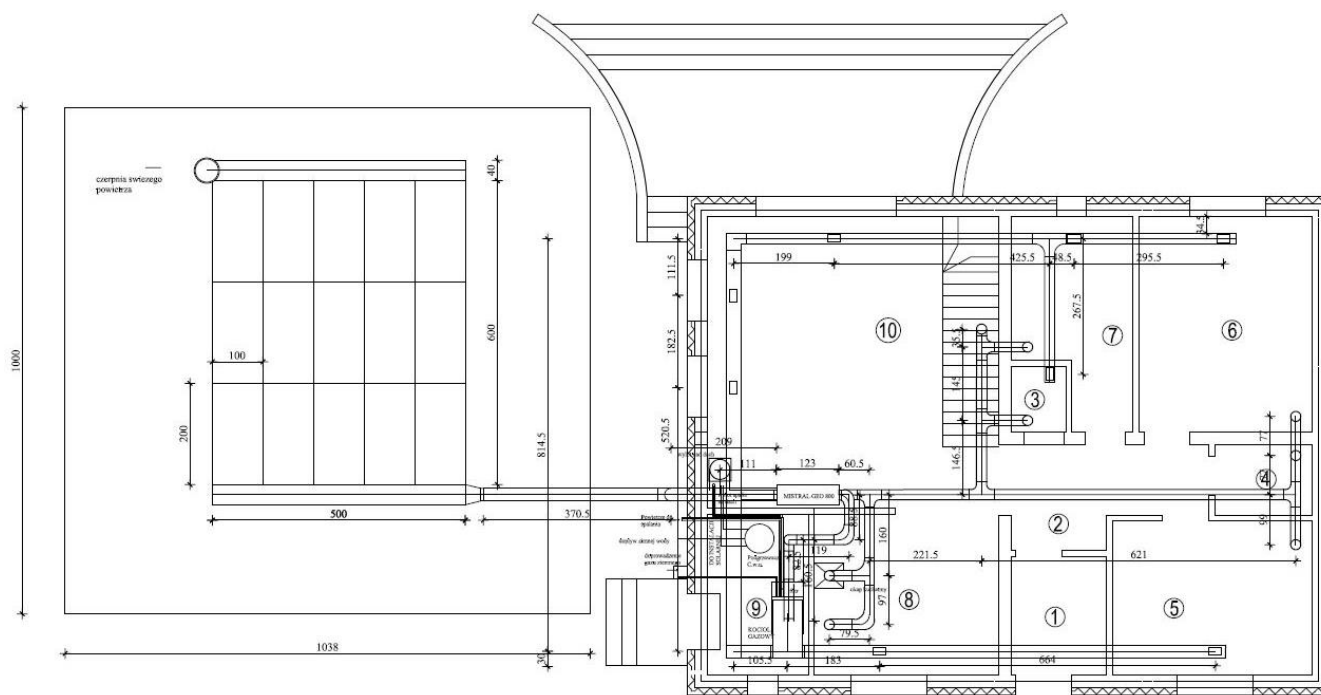
Zestaw elementów dla wydajności 800 m<sup>3</sup>/h. W skład zestawu wchodzi:

- płyty GWC bezprzeponowego: 15 szt.,
- kolektor 2 szt.,
- czerpnia 1 szt.,
- łącznik,
- kolano 90,
- rura czerpni 3mb.

Elementy dodatkowe niezbędne do wykonania wymiennika gruntowego to:

- folia budowlana 0,1mm – około 35 m<sup>2</sup>,
- folia budowlana 0,5mm PEHD lub PP – około 100 m<sup>2</sup>,
- geowłóknina – około 100 m<sup>2</sup>,
- styropian (2 warstwy) grubość całkowita minimum 14 cm – 12,6 m<sup>3</sup>.
- żwir 10-20 mm płukany – 3,0 t,
- piasek (żwirek) płukany – 7,0 t,
- kanały do transportu powietrza do wnętrza budynku.

Rys. 1. Schemat zaprojektowanej instalacji solarnej (Bobryk, 2012): ZW – zimna woda, cwu – ciepła woda użytkowa, VR – zasilanie, RL – powrót, A – kolektor słoneczny, B – zestaw pompowy, C – podgrzewacz ciepłej wody użytkowej, D – regulator solarny, sterownik, S1 – czujnik temperatury w kolektorze, S2 – czujnik temperatury w podgrzewaczu



Rys. 2. Schemat GWC płytowego przy modernizowanym domu (Bobryk, 2012)



Koszt uzyskania energii dla opracowanego rozwiązania prezentuje tabela 8.

Tab. 8. Koszt uzyskania energii

| Rodzaj paliwa                | Gaz ziemny E<br>taryfa W3<br>(z dnia 8.07.2013) | Energia<br>elektryczna<br>taryfa G11<br>(z dnia 8.07.2013) |
|------------------------------|---|--|
| Wartość opałowa              | 9,97 kWh/m <sup>3</sup>                         | 1 kWh  |
| Cena PLN brutto<br>jednostki | 1,30  | 0,2825   |
| Cena 1 kWh                   | 0,13  | 0,2825   |
| Sprawność<br>urządzenia w %  | 105   | 99   |
| Koszt uzyskanego<br>1 kWh    | 0,1365  | 0,2796   |

Liczba dni sezonu grzewczego – 232 dni

Pobór prądu przez piec nadmuchowy:

$$373 \text{ W} \times 232 \text{ dni} \times 24 \text{ h} = 2032,1 \text{ kWh/sezon}$$

Pobór prądu przez centralę wentylacyjną:

$$270 \text{ W} \times 232 \text{ dni} \times 24 \text{ h} = 1503,4 \text{ kWh/sezon}$$

Rzeczywisty pobór mocy będzie mniejszy gdyż centrala nie będzie pracowała przez cały czas na najwyższym biegu.

Roczny koszt zużytej energii elektrycznej:

$$(2032,1 + 1503,4) \times 0,2825 = 998,78 \text{ zł}$$

Koszt gazu używanego przez piec nadmuchowy:

$$V = \frac{N}{\eta \cdot W} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Maksymalne zużycie gazu przez piec:

$$V = \frac{7}{1,05 \cdot 9,97} = 0,67 \frac{m^3}{h}$$

gdzie:  $V$  jest to ilość używanego gazu w m<sup>3</sup>/h,  $N$  jest to moc kotła wyrażona w kW,  $\eta$  określa sprawność kotła, a  $W$  jest wartością opałową paliwa w m<sup>3</sup>.

Maksymalna ilość używanego gazu w sezonie grzewczym:

$$0,67 \cdot 232 \cdot 24 = 3730,6 \text{ m}^3/\text{sezon}$$

Szacunkowy koszt gazu ziemnego:

$$3730,6 \cdot 2 = 7.461 \text{ zł/sezon}$$

Całkowity koszt eksploatacyjny:

$$\text{Koszt gazu ziemnego} - 7.461 \text{ zł/sezon}$$

$$\text{Koszt poboru elektryczności} - 999 \text{ zł/sezon}$$

$$7.461 + 999 = 8.460 \text{ zł/sezon}$$

Zestawienie kosztów instalacji ogrzewania i podgrzewu c.w.u. przedstawia tabela 9.

Tab. 9. Zestawienie kosztów szacunkowych instalacji ogrzewania i podgrzewu c.w.u.

| Rodzaj instalacji     | Koszt<br>inwestycji<br>[zł] | Koszt<br>eksploatacji<br>[zł/rok] |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Ogrzewanie nadmuchowe | 17.200                      | 8.460                             |
| Podgrzew c.w.u.       | 10.000                      | 800                               |

#### 4. Podsumowanie

Zaproponowane rozwiązanie techniczne jest jedynym w sytuacji braku miejsca na dwie instalacje. Spełnia funkcję zarówno ogrzewania, jak i wentylacji. W sytuacji, gdy nie jest potrzebne ogrzewanie, spełnia rolę tylko instalacji wentylacyjnej. Koszt instalacji nadmuchowej jest niższy niż dwóch instalacji. Ponadto instalacja ta zajmuje mniej miejsca niż dwie instalacje. Nie bez znaczenia jest fakt, że podczas eksploatacji instalacja ma małą bezwładność termiczną, co pozwala na szybkie ogrzanie lub schłodzenie domu.

Ogrzewanie nadmuchowe zostało wybrane ze względów estetycznych, a także ponieważ łączyło dwie funkcje w jednej instalacji. Podłogowe kratki nawiewne i brak grzejników powodują, że w pomieszczeniach nie ma niezagospodarowanych miejsc. Stosowany kondensacyjny piec gazowy (o mocy 7,3-10,7 kW), centrala rekuperacyjna oraz podgrzewacze mogą być zainstalowane w niewykorzystywanej przestrzeni domu takiej, jak poddasze nieużytkowe, co również umożliwia „odzyskanie” dla celów mieszkalnych przestrzeni użytkowej innych pomieszczeń, na przykład kotłowni. Zrezygnowano z pionów wentylacyjnych, przez co obniżony został koszt budowy domu i odzyskano kilka metrów kwadratowych powierzchni.

Rozpatrując sprawność instalacji pod względem szybkości podniesienia temperatury w pomieszczeniach do zadanego poziomu, system nadmuchowy potrzebuje na to znacznie mniej czasu, ale również szybko się wychładza. Ogrzewanie powietrzne eliminuje również wszelkie awarie, typu: przecieki, korozja, zamrażanie czy osadzanie się kamienia w przewodach. Stosowane urządzenia są przyjazne dla środowiska.

Całkowite koszty inwestycyjne dla analizowanego domu wynoszą 27.200 zł (ogrzewania nadmuchowego i podgrzewu c.w.u.), natomiast koszty eksploatacyjne instalacji ogrzewania nadmuchowego (ogrzewania i wentylacji) – 8.460 zł oraz podgrzewu c.w.u. – 800 zł rocznie, w sumie koszty eksploatacyjne wynoszą 9.260 zł.

W sytuacji, gdy ze względów technologicznych nie można wykonać dwóch instalacji ogrzewania nadmuchowe jest idealnym rozwiązaniem.

## Literatura

- Albers J., Dommel R., Montaldo-Ventsam H., Nedo H., Uebelacker E., Wagner J. (2007). Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla projektantów i instalatorów. WNT, Warszawa.
- Baranowski A., Ferdyn-Grygierek J. (2013). Wpływ wymiany powietrza na zużycie ciepła w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej. *Rynek Energii*, 4/2013.
- Bobryk T. (2012). Modernizacja centralnego ogrzewania na ogrzewanie powietrzne domu jednorodzinnego. Praca magisterska pod kierunkiem K. Gładyszewskiej-Fiedoruk. *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Danielewicz J., Gołcki K. (2010). Poradnik projektanta systemów grzewczych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław.
- Dąbrowska K. (2008). Czy instalacja nadmuchowa wyprze instalację grzejnikową? *Inżynier Budownictwa*, 11/2008.
- Fanger P.O., Toftum J. (2002). Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, Vol. 34, Issue 6, 533-536.
- Gładyszewska-Fiedoruk K., Krawczyk D.A. (2015). Mikroklimat pomieszczeń biurowych. Badania empiryczne i ankietowe – studium przypadku. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- González S.M., Larsen S.F., Hernández A., Lesino G. (2014). Thermal evaluation and modeling of a double-pass solar collector for air heating. *Energy Procedia*, Vol. 57, 2275-2284.
- Jakhar S., Misra R., Bansal V., Soni M.S. (2015). Thermal performance investigation of earth air tunnel heat exchanger coupled with a solar air heating duct for northwestern India. *Energy and Buildings*, Vol. 87, 360-369.
- Joudi K.A., Farhan A.A. (2014). Greenhouse heating by solar air heaters on the roof. *Renewable Energy*, Vol. 72, 406-414.
- Kępa A. (2014). Strata ciepła na wentylację i sposoby jej zmniejszenia. *Rynek Energii*, 5/2014.
- Koczyk H. (2005). Ogrzewnictwo praktyczne. Projektowanie. Montaż. Eksploatacja. H. Koczyk (red.), *Systherm Service*, Poznań, 95-96.
- Kowalczyk Z. (2010). Charakterystyka energetyczna budynków. Z. Kowalczyk (red.), *PWNT*, Gdańsk, 71-72.
- Kramer K.S., Thoma Ch., Mehnert S., Fahr S. (2014). Testing solar air-heating collectors. *Energy Procedia*, Vol. 48, 137-144.
- Krygier K., Klinke T., Sewerynik J. (2000). Ogrzewnictwo, wentylacja, klimatyzacja. *WSiP SA*, Warszawa.
- Nantka M. B. (2006). Ogrzewnictwo i ciepłownictwo. Tom I, *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Pieńkowski K., Krawczyk D.A., Tumel W. (1999). Ogrzewnictwo. T. 1-2. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Rastogi M., Chauhan A., Vaish R., Kishan A. (2015). Selection and performance assessment of phase change materials for heating, ventilation and air-conditioning applications. *Energy Conversion and Management*, Vol. 89, 260-269.
- Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E.R. (1994). Ogrzewanie i klimatyzacja z uwzględnieniem chłodnictwa i zaopatrzenia w wodę. Poradnik (tł. z niem.). *EWFE*, Gdańsk.
- Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E.R. (2008). Kompendium ogrzewnictwa i klimatyzacji łącznie z zagadnieniami przygotowania ciepłej wody i techniki chłodniczej (tł. z niem.). *Omni Scala*, Wrocław.
- Toftum J., Langkilde G., Fanger P.O. (2004). New indoor environment chambers and field experiment offices for research on human comfort, health and productivity at moderate energy. *Energy and Buildings*, Vol. 36, Issue 9, 899-903.
- Yu Z., Ji J., Sun W., Wang W., Li G., Cai J., Chen H. (2014). Experiment and prediction of hybrid solar air heating system applied on a solar demonstration building. *Energy and Buildings*, Vol. 78, 59-65.

#### MODERNIZATION OF A SINGLE-PIPE WATER HEATING SYSTEM INTO AN AIR HEATING SYSTEM IN A SINGLE FAMILY HOUSE

**Abstract:** The paper shows the possibility of modernization of the heating systems in single family houses. The air heating was compared with a radiator heating and underfloor heating in terms of energy sources, heating systems elements, inertia of system, failure rates, costs, an impact on the aesthetics of the interior area and the possibility of expansion of the functions for the ventilation and air-conditioning systems. Moreover the alternative ways for heating such as ground heat exchangers and solar collectors were described. The project for a single-family home heating were presented. It was an air heating using the air handling unit with heat recovery and the ground exchangers. The exhaust ventilation cooperated with a cooker hood. For a DHW system solar installation with DHW tank was proposed. The paper also stated capital and operating costs for the proposed solution.