

ANALIZA ENERGETYCZNA ZASTOSOWANIA ODZYSKU CIEPŁA NA PRZYKŁADZIE DOMU JEDNORODZINNEGO

A. Szelański

Instytut Techniki Ciepłej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska

STRESZCZENIE

W artykule opisano różne systemy odzysku ciepła stosowane w układach wentylacji mechanicznej. W oparciu o analizę zapotrzebowania energii na ogrzewanie dla wybranego budynku domu jednorodzinnego wyznaczono możliwości odzysku ciepła przez układ wentylacji oraz wyznaczono koszty ogrzewania dla różnych źródeł ciepła. W artykule przedstawiono również jak zastosowanie instalacji wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego z budynku wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania energii na cele ogrzewania oraz koszty eksploatacyjne.

WPROWADZENIE

Warunki panujące w pomieszczeniach bezpośrednio wpływają na stan samopoczucia i zdrowie osób przebywających wewnątrz nich. Utrzymanie warunków zapewniających odczucie komfortu klimatycznego jest zadaniem wysoce energochłonnym, przez co i kosztownym. Dlatego dąży się do ograniczenia zużycia energii przez budynki. Można wyróżnić trzy kierunki rozwoju, poprzez:

- zmniejszenie zapotrzebowania na energię;
- zmniejszenie zużycia energii;
- zmianę paliwa pierwotnego.

Minimalizację zapotrzebowania na energię, możemy osiągnąć poprzez izolację przegród budowlanych, rodzaj szkła w oknach, orientację względem stron świata, minimalizację wymagań komfortu cieplnego i ilości powietrza świeżego nawiewanego do budynku. Efektywne wykorzystanie energii można osiągnąć instalując wysokosprawne układy urządzeń oraz precyzyjne sterowanie procesami zachodzącymi w instalacjach budynku (Jędrzejuk H., Wieczorkiewicz A., 2013).

Zmniejszenie zużycia energii można osiągnąć m. in. poprzez odzysk energii wyprowadzonej z budynku. W tym celu stosuje się odzysk ciepła. Odzysk ciepła jest możliwy tylko w przypadku zastosowania układu wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej (Lipska B., 2012). Można wtedy odzyskiwać część energii, jaką zawiera w sobie powietrze wywiewane z budynku do podgrzania powietrza świeżego dostarczanego do budynku. Poza aspektami ekonomicznymi stosowanie odzysku ciepła w pewnych przypadkach wymuszają przepisy prawne (Hendinger J., Zietek P., Chludzińska M., 2009). W celu odzysku ciepła do układu wentylacji należy wprowadzić odpowiednie urządzenie, które odbierze ciepło

z powietrza wywiewanego i przekaże je do powietrza nawiewanego. Takim urządzeniem jest wymiennik ciepła. Wymienniki stosowane w układach wentylacyjnych można usystematyzować w następujący sposób:

- rekuperatory:
 - wymienniki bez medium pośredniczącego;
 - wymienniki z medium pośredniczącym:
 - wymiennik typu rurka ciepła;
 - wymiennik z cieczą pośredniczącą;
- regeneratory:
 - z nieruchomą masą akumulacyjną;
 - z wirującą masą akumulacyjną.

WYMIENNIKI CIEPŁA STOSOWANE W WENTYLACJI

Płytkowy wymiennik ciepła

Rekuperatory są przepływowymi wymiennikami ciepła, w których strumienie płynów wymieniających ciepło płyną w sposób ciągły po obu stronach rozdzielającej je przepony (ściany). Ciepło przekazywane jest od strumienia o wyższej temperaturze do strumienia o temperaturze niższej na drodze przenikania poprzez rozdzielającą je ściankę.

Najpopularniejszym rekuperatorem, który znalazł zastosowanie w układach wentylacyjnych jest krzyżowo-prądowy płytkowy wymiennik ciepła. Charakteryzuje się on prostą konstrukcją. Zbudowany jest on z płaskich płyt ułożonych na przemian z wkładkami szczelinującymi. Co druga wkładka szczelinująca obrócona jest o 90°. W ten sposób uzyskuje się prostopadłe szeregi szczelin, którymi płyną wymieniające ciepło strumienie powietrza. Dobrze wykonany wymiennik płytkowy zapewnia szczelność, przez co nie ma ryzyka mieszanania się strumieni. Dodatkowo zaletą jest ich stosunkowo niska cena. Pewną wadą tych urządzeń jest to, że przy ich zastosowaniu nie osiąga się zbyt dużej efektywności odzyskiwania ciepła. W warunkach pracy wentylacji mechanicznej, maksymalną efektywność wymienników płytkowych krzyżowo-prądowych, przy przepływie strumieni nawiewnego i wywiewnego w stosunku 1: 1 wynosi 70%. Najczęściej jednak efektywność utrzymuje się w granicach 60% (Rosiński M., 2012). W zależności od temperatur czynników przepływających przez rekuperator, efektywność odzysku może jednak spaść nawet do 20%. W celu zwiększenia efektywności odzysku ciepła można

stosować układy dwóch wymienników krzyżowo-prądowych.

Obecnie zamiast wymiennika krzyżowo-prądowego coraz częściej wybierany jest wymiennik krzyżowo-przeciwprądowy. Charakteryzują go one nieco inną budową. Wpływ i wypływ strumienia nawiewanego do wymiennika odbywa się pod kątem prostym do przepływu strumienia powietrza wywiewanego, natomiast przepływ w środkowej części wymiennika jest w przeciwprądzie. W ten sposób wymienniki te mają większą powierzchnię przekazywania ciepła, przez co skuteczność odzysku ciepła jest większa.

W obliczeniach projektowych płytowych wymienników krzyżowo-prądowych przyjmuje się, że prędkości czynników i warunki wymiany ciepła we wszystkich elementach wymiennika są jednakowe. W rzeczywistości przepływ przez elementy wymiennika jest nierównomierny. Poprawę rozkładu przepływu można uzyskać stosując kierownice powietrza. Po za tym płytowy wymiennik stawia dość duży opór przepływu powietrza, a przy niskich temperaturach powietrza nawiewanego istnieje ryzyko zamarznięcia wody wykraplającej się ze strumienia powietrza wywiewanego i zatkania wymiennika.

Wymiennik z cieczą pośredniczącą

W tym układzie w przewody wentylacyjne powietrza nawiewanego i wywiewanego wmontowane są wymienniki ciepła z rurami ożebrowanymi. Wymienniki te połączone są ze sobą przewodami. Całość jest napełniona cieczą, która krąży przez układ. Ciecz pobiera ciepło w wymienniku umieszczonym w kanale, przez który płynie ciepłe powietrze i oddaje je w wymienniku umieszczonym w kanale, w którym płynie chłodne powietrze. Największą korzyścią tego układu jest to, że strumienie powietrza nawiewanego i usuwanego mogą być od siebie oddalone. W przypadku, gdy temperatura powietrza przepływającego przez wymiennik jest ujemna, to, jako czynnik w układzie należy zastosować płyn niezamarzający. Przy kalkulacji kosztów eksploatacji należy pamiętać, że na skutek strat ciśnienia na wymiennikach ciepła, oraz z uwagi na pracę pompy obiegowej występuje dodatkowe zużycie energii.

Wymienniki z rurkami ciepła

Rurki ciepła dzielą się na:

- rurki ciepła grawitacyjne (konwencjonalne);
- rurki ciepła z knotem (niekonwencjonalne).

Konwencjonalna rurka ciepła to w najprostszej formie szczelnie zamknięta pionowa rura, wypełniona płynem niskowrzącym w taki sposób, że część płynu jest w stanie ciekłym (część rurki wypełnioną cieczą nazwiemy parownikiem), a część w postaci gazowej (tę część rurki nazwiemy skraplaczem). Jeżeli do części z cieczą dostarczymy ciepło to równowaga termodynamiczna układu zostanie zachwiana. Ciecz zacznie odparowywać, a powstała para na skutek różnicy ciśnień przepłynie do skraplacza, tam w wyniku jej ochłodzenia skropli się i spłynie do parownika w wyniku działania sił grawitacji.

Skraplająca się para odda ciepło skraplania do otoczenia.

W niekonwencjonalnych rurkach ciepła do ich wnętrza wprowadza się dodatkowy materiał (knot) o strukturze porowatej. Skondensowany w skraplaczu czynnik powraca do parownika w kanałkach knota pod wpływem sił lepkości. Wprowadzenie knota do budowy rurki ciepła sprawia, że nie musi ona być dłużej usytuowana pionowo. Może ona być usytuowana w przestrzeni niemal w dowolnej orientacji. Po za tym może ona również nabierać różne kształty geometryczne.

Do zalet rurek ciepła należą: brak części ruchomych i wynikająca z tego niezawodność pracy. Dużą zaletą jest szczelne odizolowanie kanału nawiewnego i wywiewnego. Za wadę wymiennika z rurkami ciepła można uznać jego wysoki koszt.

Regeneratory

Regeneratory to wymienniki o okresowym charakterze pracy, w których płyny wymieniające ciepło przepływają na zmianę tymi samymi kanałami. Strumień gorący oddaje ciepło do masy akumulacyjnej, następnie ciepło to jest odbierane przez strumień zimny. Oprócz wymiany ciepła, wymienniki regeneracyjne są w stanie wymieniać również wilgoć. W zależności od budowy i zasady działania, urządzenia te dzielą się na dwa rodzaje:

- nieobrotowe regeneratory ciepła z masą akumulacyjną;
- regeneratory z wirującą masą akumulacyjną.

W nieobrotowych regeneracyjnych układach wymiany ciepła w dwóch równoległych kanałach umieszczone są masy akumulacyjne ciepła i wilgoć. Zasada pracy takiego układu wygląda w ten sposób, że przez jeden kanał przepływa strumień powietrza nawiewanego, a przez drugi strumień powietrza wywiewanego. Następnie za pomocą przepustnic strumienie powietrza są przekierowywane tak, że przez kanał, w którym płynął strumień powietrza nawiewanego będzie przepływać strumień powietrza wywiewanego, a przez kanał, w którym płynął strumień powietrza wywiewanego będzie przepływać strumień powietrza nawiewanego. W przypadku układów z regeneracyjnym obrotowym wymiennikiem ciepła głównym elementem składowym wymiennika jest wirująca masa akumulacyjna w postaci wirnika. Wirnik ma postać walca z kanalikami wzdłuż osi obrotu. Strumienie powietrza przepływając przez kanaliki wirnika oddając lub odbierając od niego ciepło w zależności od wartości temperatur powietrza i wirnika. Wirnik zainstalowany jest w centrali wentylacyjnej/klimatyzacyjnej w taki sposób, że jego jedna połowa znajduje się w przewodzie wywiewnym, a druga – w nawiewnym. Konstrukcja taka sprawia, że może dochodzić do częściowego mieszania się strumieni. Aby temu zapobiec instaluje się sekcję czyszczącą, w której kanały wirnika przepłukiwane są przez część strumienia świeżego, który następnie odprowadzany jest na zewnątrz z powietrzem wywiewanym. W efekcie kanaliki opuszczające sekcję czyszczącą pozbawione są powietrza wywiewanego.

Współczynniki efektywności odzysku ciepła i wilgoci (zależnie od prędkości przepływu powietrza i spadku ciśnienia) osiągają wartości w granicach 70 – 90% (Recknagel, Sprenger, Honmann, Schramek, 1994). Stopień wymiany, a tym samym temperaturę powietrza nawiewanego można zmienić przez prędkość obrotową wymiennika.

W celu zapobiegania tworzenia się lodu można stosować niewielkie nagrzewnice wstępne powietrza zewnętrznego lub zmniejszenie obrotów wirnika. Wirujące masy akumulacyjne są mniej podatne na tworzenie się lodu niż statyczne wymienniki ciepła (Staniszewski D., Targański W., 2007).

(Sprężarkowa) pompa ciepła

Pompy ciepła są urządzeniami, pozwalającymi na pobieranie ciepła z jednego ośrodka (o niższej temperaturze) i przekazywanie go do ośrodka drugiego (o wyższej temperaturze). Żeby takie urządzenie mogło pracować niezbędne jest doprowadzenie energii z zewnątrz. W sprężarkowych pompach ciepła energia elektryczna wykorzystywana jest do napędu sprężarki.

Do najważniejszych elementów budowy sprężarkowej pompy ciepła należą: wymienniki ciepła - parownik i skraplacz, sprężarka, oraz element rozprężny (zawór rozprężający). Elementy te są ze sobą połączone w zamknięty obieg. Układ napełniony jest czynnikiem niskowrzącym, który krążąc w układzie ulega kolejnym przemianom termodynamicznym. Wewnątrz parownika czynnik odparowuje pod niskim ciśnieniem i niskiej temperaturze. Podczas parowania czynnik pobiera ciepło z otoczenia. Następnie, odparowany czynnik zasysany jest przez sprężarkę i w niej sprężony do wysokiego ciśnienia. Kolejno trafia do skraplacza, w którym skrapla się w wysokiej temperaturze oddając do otoczenia ciepło. Skroplony czynnik jest rozprężany do niskiego ciśnienia (najczęściej w zaworze rozprężnym) i trafia ponownie do parownika i cykl przemian się zamyka. Sprężarkową pompę ciepła można wykorzystać w układach wentylacji mechanicznej. Parownik i skraplacz instaluje się w kanały wentylacyjne odpowiednio w kanał wylotowy i wlotowy. Pompa ciepła wykorzystuje ciepło powietrza wywiewanego z budynku i dostarcza ciepło do kanału nawiewanego. Ciepło dostarczone do kanału nawiewanego jest większe od ciepła odebranego z kanału wylotowego o pracę, jaką wykonała sprężarka pompy ciepła. Pompa ciepła w takich układach po za funkcją odzysku ciepła może pełnić funkcję źródła ciepła do ogrzewania (Buczowski W., Gładysiak J., Kowalski J., Kuiński M., Pawlicki D., Podwójski W., Skibiński B. 2000). Poza tym zastosowanie taką pompę ciepła można wykorzystać do chłodzenia powietrza nawiewanego, kiedy zachodzi taka potrzeba funkcję wymienników pompy ciepła można zamienić i wymiennik w kanale nawiewnym może pełnić funkcję parownika, a wymiennik w kanale wywiewnym funkcję skraplacza. Taki układ nazywa się układem rewersyjnym.

WYBÓR UKŁADU DO ODZYSKU CIEPŁA

Kryteria brane pod uwagę przy wyborze rodzaju wymiennika ciepła

Kryterium efektywności ekonomicznej, chociaż niezwykle istotne, nie jest jedynym, jakie należy wziąć pod uwagę podczas procedury doboru urządzenia do odzysku ciepła. Na tę decyzję mogą wpłynąć także następujące względy (Rosiński M., 2012):

- przepisy prawne;
- specyfikacja i przeznaczenie pomieszczeń;
- uwarunkowania przestrzenne, wielkość maszynowni i nośność elementów budowlanych;
- koszt inwestycyjny;
- jakość wykonania;
- minimalizacja zużycia energii;
- szczelność układu (brak przecieków powietrza wywiewanego do nawiewanego);
- odzysk wilgoci;
- rewersyjność działania;
- niebezpieczeństwo szronienia;
- głośność pracy;
- bezpieczeństwo i wygoda użytkowania.

Poszczególne rodzaje układów do odzysku ciepła posiadają specyficzne własności, stąd w różnym stopniu czynią zadość powyższym warunkom. Niezbędne, więc staje się wytypowanie najważniejszych kryteriów, zgodnie z oczekiwaniami inwestora i przyszłego użytkownika instalacji. Jasne sprecyzowanie preferencji zawęży zbiór możliwych rozwiązań i ułatwia wybór odpowiedniego wariantu.

Efektywność odzysku ciepła

Efektywność wymiennika określa stosunek ilości ciepła rzeczywiście odzyskanej do maksymalnej teoretycznie możliwej do odzyskania ilości ciepła. Maksymalną teoretycznie możliwą ilość ciepła, jaką można odebrać osiąga się, gdy temperatura czynnika ogrzewanego na wylocie z wymiennika osiągnie temperaturę czynnika ogrzewającego u wlotu (Pogorzelski J. A., 1976). Zakładając uproszczenie, że wymieniane jest tylko ciepło jawne, a ciepło właściwe powietrza nie zmienia się w rozpatrywanym zakresie temperatur wzór na efektywność odzysku ciepła można zapisać w postaci:

$$\eta_{odzysk} = \frac{\dot{m}c_p (T_{z,2} - T_{z,1})}{\dot{m}c_p (T_{w,1} - T_{z,1})} \quad (1)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień przepływającego czynnika [$kg * s^{-1}$],

c_p – ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu przepływającego czynnika [$J * K^{-1} * kg^{-1}$],

$T_{z,1}$ – temperatura powietrza zasysanego, na wlocie do wymiennika [K],

$T_{z,2}$ – temperatura powietrza zasysanego, na wylocie z wymiennika [K],

$T_{w,1}$ – temperatura powietrza wywiewanego, na wylocie z wymiennika [K].

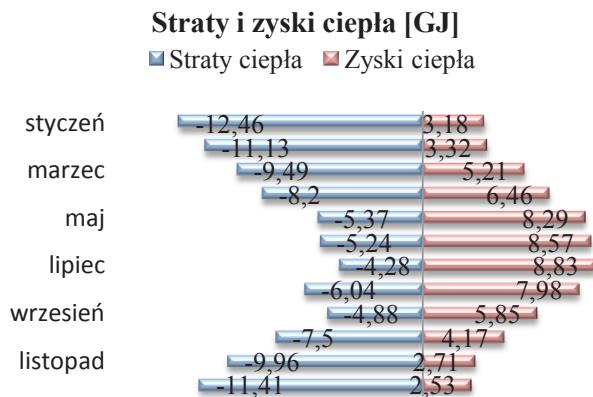
W przypadku rekuperatora w wentylacji strumienie masy powietrza po obu stronach są takie same. Po uproszczeniu można otrzymać równanie na temperaturową efektywność odzysku ciepła:

$$\eta_{odzysk} = \frac{T_{z,2} - T_{z,1}}{T_{w,1} - T_{z,1}} \quad (2)$$

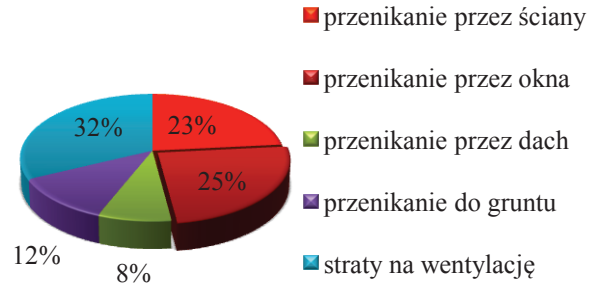
MOŻLIWOŚCI ODZYSKU CIEPŁA

Na przykładzie wybranego obiektu budowlanego, jakim jest dom jednorodzinny określone zostały możliwości zmniejszenia zapotrzebowania ciepła do ogrzewania w przypadku zastosowania instalacji wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z zainstalowanym urządzeniem do odzysku ciepła. Rozpatrzono kilka przypadków, dla których założono wartości średnich sezonowych współczynników efektywności odzysku ciepła i obliczono dla nich zmniejszenie zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie. Dla wybranego budynku zapotrzebowanie ciepła do ogrzewania w okresie 01 X – 31 III wynosi 11344,1 kWh, przy czym jest to wartość obliczona z uwzględnieniem wszystkich strat ciepła (17207,5 kWh) i zysków wewnętrznych oraz od promieniowania słonecznego (5863,4 kWh).

Na rysunku 1 pokazany jest rozkład zysków i strat ciepła dla analizowanego budynku dla wszystkich miesięcy roku. Na rys. 2 natomiast zaprezentowano jak wygląda rozkład poszczególnych strat zsumowanych w sezonie grzewczym (01.10–31.3).



Rys. 1. Miesięczne zapotrzebowanie na ciepło/chłód



Rys. 2. Procentowy rozkład strat ciepła dla budynku

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń największy udział w stratach ciepła związany jest z potrzebą ogrzewania powietrza wentylacyjnego. Dla analizowanego obiektu straty związane z wentylacją w sezonie grzewczym wynoszą 5530 kWh i stanowią 32 % wszystkich strat ciepła. W tabeli 1 przedstawiono obliczone zmniejszenie zapotrzebowania na ogrzewanie w przypadku zastosowania odzysku ciepła ze strumienia powietrza wentylacyjnego usuwanego z budynku. Uwzględniono kilka wariantów wartości średniego sezonowego współczynnika odzysku ciepła.

Tabela 1. Zmniejszenie zużycia zapotrzebowania energii do ogrzewania wynikające z zastosowania odzysku ciepła

Zapotrzebowanie na ciepło w całym sezonie [kWh]	11344,1 (=straty-zyski=17207,5-5863,4)				
Średnia sezonowa efektywność odzysku ciepła	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Zapotrzebowanie ciepła układu z odzyskiem [kWh]	9132	8303	8026	7473	6920
Zmniejszenie zapotrzebowania ciepła do ogrzewania [kWh]	2212	2765	3318	3871	4424
Procentowe zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło [%]	19	24	29	34	39

Tabela 2. Koszt wytwarzania 1kWh ciepła przy użyciu różnych źródeł wytwarzania

paliwo	Źródło ciepła	Jednostkowy koszt wytwarzania ciepła [zł/kWh]
Energia elektryczna	kocioł elektryczny	0,65
	pompa ciepła powietrzna	0,22
	pompa ciepła gruntowa	0,17
węgiel	kocioł z podajnikiem (ekogroszek)	0,19
olej opałowy	kocioł kondensacyjny	0,48
gaz ciekły (LPG)	kocioł kondensacyjny	0,49
gaz ziemny	kocioł kondensacyjny	0,25
	kocioł tradycyjny	0,27

Na podstawie wyznaczonego zmniejszenia zapotrzebowania energii na cele ogrzewania tabela 1 oraz cen jednostkowych ciepła tabela 2 wyznaczono dla poszczególnych przypadków oszczędności finansowe wynikające ze zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych dla różnych systemów grzewczych. Wyniki przedstawione są w tabeli 3. Oszczędności wynikające z zastosowania układu do odzysku energii są tym większe im droższe są koszty ogrzewania, oraz rosną w miarę wzrostu efektywności odzysku ciepła. Przyjmując możliwe do osiągnięcia oszczędności z tabeli 2 i zakładając koszt inwestycji związanej z budową instalacji wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła równy 20000 zł. Wyznaczono prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

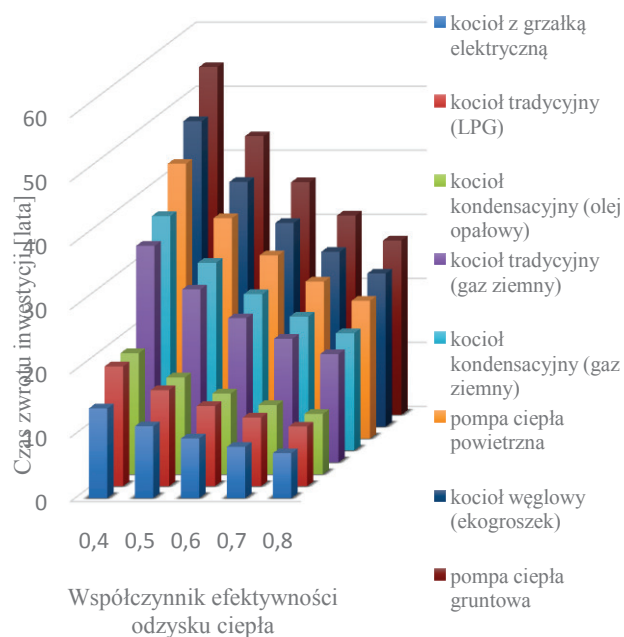
Tabela 3. Oszczędności eksploatacyjne wynikające z zastosowania odzysku ciepła

Średnia sezonowa efektywność odzysku ciepła	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
System grzewczy	Oszczędności finansowe z tytułu zakupu paliwa/energii [zł]				
kocioł z grzałką elektryczną	1427	1784	2141	2497	2854
pompa ciepła powietrzna	466	582	699	815	931
pompa ciepła gruntowa	368	460	551	643	735
kocioł węglowy (ekogroszek)	419	523	628	733	837
kocioł kondensacyjny (olej opałowy)	1060	1325	1590	1855	2120
kocioł kondensacyjny (LPG)	1070	1337	1605	1872	2140
kocioł kondensacyjny (gaz ziemny)	547	683	820	957	1093
kocioł tradycyjny (gaz ziemny)	592	740	888	1035	1183

Tabela 4. Szacunkowy okres zwrotu kosztów instalacji

Średnia sezonowa efektywność odzysku ciepła	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
System grzewczy	Okres zwrotu kosztów inwestycyjnych				
kocioł z grzałką elektryczną	14	11,2	9,3	8	7
pompa ciepła powietrzna	42,9	34,4	28,6	24,5	21,5
pompa ciepła gruntowa	54,3	43,5	36,3	31,1	27,2
kocioł węglowy (ekogroszek)	47,7	38,2	31,8	27,3	23,9
kocioł kondensacyjny (olej opałowy)	18,9	15,1	12,6	10,8	9,4
kocioł kondensacyjny (LPG)	18,7	15	12,5	10,7	9,3
kocioł kondensacyjny (gaz ziemny)	36,6	29,3	24,4	20,9	18,3
kocioł tradycyjny (gaz ziemny)	33,8	27	22,5	19,3	16,9

Okres zwrotu inwestycji



Rys. 3. Szacunkowy okres zwrotu kosztów instalacji

Z ekonomicznego punktu widzenia inwestycja jest opłacalna w przypadku, gdy koszty wytwarzania ciepła są wysokie, instalacje: z kotłem z grzałką elektryczną, z kotłem olejowym i z kotłem na skroplony gaz. Zakładając, że instalacja będzie pracować 20 lat według prostego okresu zwrotu inwestycja opłaca się dla układów ogrzewania wykorzystujących energię elektryczną, olej opałowy i skroplony gaz. Im większa efektywność odzysku ciepła systemu, tym okres zwrotu nakładów inwestycyjnych jest krótszy. Z pośród analizowanych systemów grzewczych najkrótszy okres

zwrotu inwestycji następuje dla ogrzewania kotłem elektrycznym. Dla systemu o wysokiej średniej efektywności odzysku ciepła (0,8), inwestycja zwraca się już po 7 latach. Z punktu widzenia prostej analizy ekonomicznej inwestycja jest nie opłacalna dla systemów grzewczych opartych na węglu, i pompach ciepła.

PODSUMOWANIE

Przez cały rok w obiekcie budowlanym występują zarówno straty, jak i zyski ciepła. Jeżeli suma strat przewyższa sumę zysków, to w celu utrzymania temperatury wewnątrz budynku na stałym poziomie, trzeba do niego doprowadzić ciepło stosując instalacje grzewczą, bądź miejscowe źródło ciepła.

Największe straty ciepła zimą związane są z podgrzewaniem świeżego powietrza pobieranego przez wentylację budynku. W analizowanym obiekcie wynosiły one aż 32% wszystkich strat. Straty związane z potrzebą ogrzewania powietrza wentylacyjnego stanowią 49% w odniesieniu do zapotrzebowania na ciepło w okresie grzewczym. Istnieją techniczne możliwości zmniejszenia strat ciepła związanych z wentylacją pomieszczeń. Wymagana jest do tego wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna. Odzysk ciepła możliwy jest dzięki zastosowaniu wymienników. Eksploatacyjne koszty ogrzewania budynków zależne są od wyboru źródła wytwarzania ciepła i przetwarzanych paliw. Zależą od cen paliw i sprawności systemów wytwarzania/przetwarzania energii.

To czy instalacja wentylacji nawiewno – wywiewnej z odzyskiem ciepła się zwróci w trakcie okresu jej eksploatacji silnie zależy od jednostkowych kosztów ogrzewania. Jeżeli ceny paliw i nośników energii ulegną w przyszłości podwyżkom to może okazać się, że instalowanie instalacji nawiewno-wywiewnej może opłacać się z ekonomicznego punktu widzenia w szerszym stopniu.

Należy pamiętać, że instalacja taka przynosi wiele korzyści niewymiernych finansowo, jak poprawę jakości powietrza wewnątrz, czy zmniejszenie zużycia energii pierwotnej. Jeżeli decyzja o instalowaniu układu wentylacji nawiewno –wywiewnej zapadnie przed budową budynku już na etapie projektowania, to zastosowanie wymienionych rozwiązań może być

znacznie tańsze. Można wtedy również pomyśleć o wyborze powietrznego układu ogrzewania. Instalowanie takich układów ma duży sens w nowoczesnym budownictwie, gdzie straty do otoczenia przez przegrody są coraz mniejsze, a głównie spowodowane są potrzebą ogrzewania powietrza wentylacyjnego.

LITERATURA

- Buczowski W., Gładysiak J., Kowalski J., Kuiński M., Pawlicki D., Podwójski W., Skibiński B. 2000. *Jak zbudować nowoczesnie dom jednorodzinny*, wydanie drugie. Państwowe Wydawnictwo Rolne i Leśne. Poznań.
- Hendinger J., Zietek P., Chludzińska M., 2009. *Wentylacja i Klimatyzacja materiały pomocnicze do projektowania*. Venture Industries. Warszawa.
- Jędrzejuk H., Wieczorkiewicz A., *Ocena wielokryteriowa wybranych zabiegów termomodernizacyjnych na przykładzie budynku jednorodzinne*, Polska energetyka słoneczna 1- /2013.
- Lipska B., 2012. *Projektowanie wentylacji i klimatyzacji podstawy uzdatniania powietrza*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.
- Pogorzelski J. A., 1976. *Fizyka cieplna budowli*. PWN. Warszawa.
- Recknagel, Sprenger, Honmann, Schramek, 1994. *Poradnik Ogrzewanie i Klimatyzacja*, tłumaczenie polskie oparte na 66 wydaniu niemieckim - wydanie pierwsze. EWFE. Gdańsk.
- Rosiński M., 2012. *Odzyskiwanie ciepła w wybranych technologiach inżynierii środowiska*, wydanie drugie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
- Staniszewski D., Targański W., 2007. *Odzysk ciepła w instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych*. IPPU Masta. Gdańsk.