

Vyacheslav PISAREV  
Sławomir RABCZAK  
Politechnika Rzeszowska

## MOŻLIWOŚĆ POZYSKANIA ENERGII CIEPLNEJ Z SAMOCHODU OSOBOWEGO W GARAŻU

Kwestie zmniejszenia zużycia energii stanowią obecnie obszar, wokół którego skupia się większość prac badawczych i ich technicznych aplikacji. W pracy przedstawiono możliwości pozyskania energii z garażowanego samochodu osobowego, jej rozkład jakościowy i ilościowy oraz trudności w wykorzystaniu tego typu ciepła. Dokonano analizy wynikającej z transformacji odebranego ciepła na potrzeby przygotowania ciepłej wody w domu jednorodzinnym oraz technicznego aspektu wynikającego z konieczności jego magazynowania. Wykonano uproszczoną analizę czasu zwrotu kosztów, związaną z wykorzystaniem ciepła z zastosowaniem tego typu źródła energii.

### Oznaczenia

- $c$  – właściwa pojemność cieplna materiału akumulacyjnego [kJ/kg·K]
- $c_w$  – właściwa pojemność cieplna wody [kJ/kg·K]
- $E_p$  – zużycie energii z zewnątrz w ciągu roku eksploatacji [kWh]
- $k_p$  – koszt jednostkowy energii elektrycznej [zł/kWh]
- $m$  – masa materiału akumulującego ciepło w samochodzie [kg]
- $m_{PCM}$  – masa materiału akumulującego PCM [kg]
- $m_w$  – masa wody [kg]
- $m_{wd}$  – dobową masę c.w.u. dla 3-osobowej rodziny, 150 dm<sup>3</sup>
- $N$  – moc grzewcza [kW]
- $Q_c$  – roczna podaż energii [kWh/rok]
- $Q_{cwu}$  – moc cieplna potrzebna do przygotowania c.w.u. [kWh]
- $Q$  – ciepło [kJ, MJ]
- $r_{PCM}$  – ciepło przemiany fazowej materiału PCM [kJ/kg]
- $T_a$  – temperatura otoczenia [°C]
- $T_{sav}$  – średnia temperatura silnika [°C]
- $t_a$  – czas pracy instalacji w ciągu roku [dni]
- $t$  – czas [h]
- $\Delta T_w$  – stopień podgrzewania c.w.u., 45°C

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach szczególną uwagę koncentruje się na problemie zmniejszenia zużycia energii przez budynek oraz na zastosowaniu technologii umożliwiającej wykorzystanie energii w sposób racjonalny i efektywny. Rozwój techniczny umożliwił wykorzystanie energii pochodzącej ze słońca, energii zgmagazynowanej w ziemi, wodzie i powietrzu. Transformację energii na potrzeby grzewcze, przygotowania c.w.u. oraz klimatyzacji umożliwił powszechny dostęp do technologii pomp ciepła. Ograniczenia tej technologii wynikają z silnego powiązania wydajności energetycznej ze zmianą temperatury dolnego źródła, z którego ciepło transformowane jest na wyższy poziom, umożliwiający jego fizyczny odbiór i wykorzystanie przez instalacje wewnętrzne budynku. W miarę obniżania się temperatury dolnego źródła maleją możliwości techniczne pozyskania energii, przez co moce cieplne urządzeń transformujących energię ulegają zmniejszeniu. Jest to obecnie jeden z najważniejszych aspektów transformacji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Z uwagi na nieustającą tendencję nie tyle do zmniejszenia konsumpcji energii, co do jej bardziej efektywnego wykorzystania poszukuje się miejsc w działalności ludzkiej generujących energię odpadową, nawet w przypadku znikomej jej ilości lub jakości. Przykładem takich rozwiązań jest częściowe wykorzystanie zysków ciepła pochodzących od ludzi, wyposażenia budynków oraz oświetlenia do podgrzewania powietrza wentylacyjnego na różnego typu wymiennikach ciepła, również wymiennikach transformujących energię na wyższy poziom, bardziej atrakcyjny energetycznie. Problemem w tym przypadku jest czasowy rozkład zysków ciepła. O ile konsumpcja energii występuje ciągle, o tyle możliwości przynajmniej częściowego jej zaspokojenia zyskami generowanymi przez użytkowników budynku są ograniczone w czasie.

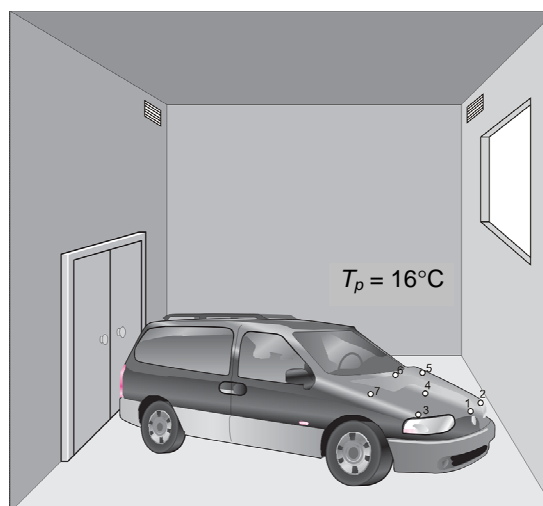
Sytuacja jest podobna, jeśli weźmie się pod uwagę rozkład generowanej ilości ciepła odpadowego pochodzącego od samochodu osobowego. Możliwości odzysku tego ciepła i jego transformacji do użytecznego poziomu przez instalację c.w.u., grzewczą lub klimatyzacyjną zaczynają się w momencie, w którym kończy się normalna praca silnika samochodowego. W czasie unieruchomienia pojazdu możliwe jest odebranie części ciepła zakumulowanego w masie rozgrzanych elementów pojazdu (najczęściej silnika i skrzyni biegów) oraz jego transformacja. Wstępną analizę takich możliwości oraz efekt energetyczny przedstawiono w dalszej części artykułu.

## 2. Podstawowe założenia

Możliwość wykorzystania ciepła pochodzącego z samochodu osobowego wiąże się przede wszystkim z czasem jego postoju w miejscu garażowania, w którym znajduje się instalacja umożliwiająca pozyskanie i transformację ciepła. Ponieważ użytkowanie pojazdu wiąże się z jego okresową eksploatacją,

w godzinach dziennych samochód jest najczęściej poza miejscem garażowania, nie ma więc możliwości pozyskania ciepła. Pojawia się ona dopiero w czasie, kiedy użytkownik wraca z pracy do domu i wyłącza silnik. Od tego momentu do godzin rannych (momentu wyjazdu) możliwe jest odbieranie ciepła z rozgrzanego silnika. Daje to w sumie od 8 do 14 godz., w których można wykorzystywać ciepło na potrzeby energetyczne budynku. Najważniejszą kwestią jest określenie czasu, w jakim silnik osiągnie temperaturę powietrza otaczającego, tj. czasu ostygnięcia masy silnika i skrzyni biegów. Będzie on decydował o tym, czy czas postoju pozwoli na osiągnięcie przez silnik temperatury otoczenia i czy możliwe będzie odebranie całości lub tylko części ciepła zmagazynowanego w rozgrzanej masie pojazdu. Gdyby czas potrzebny na ochłodzenie pojazdu okazał się krótszy od czasu garażowania, wówczas instalacja odbierająca ciepło z samochodu działałaby tylko przez krótki czas, co czyniłoby ją nieefektywną. Korzyści z tego płynące malałyby wraz ze skróconym okresem całkowitego wychłodzenia silnika pojazdu.

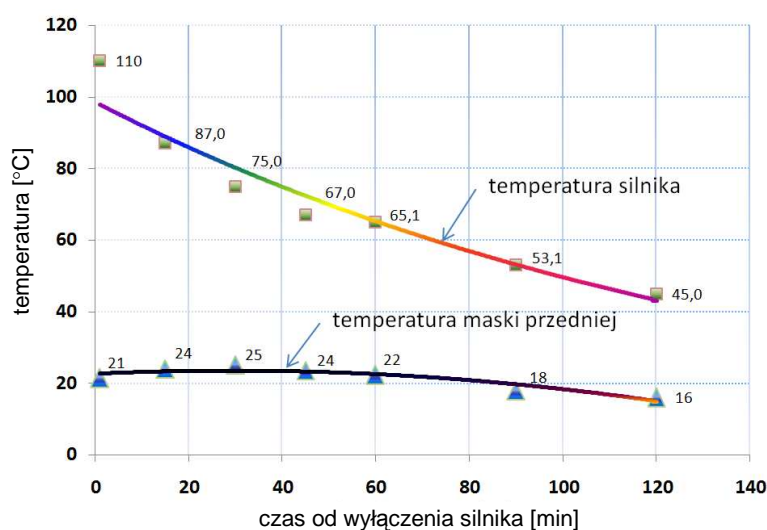
Analizie poddano samochód osobowy o masie silnika i skrzyni biegów ok. 200 kg. Pomiary temperatury powierzchni maski pojazdu oraz temperatury samego silnika wykonywane były po ok. 1,5-godzinnej jeździe. Po zakończonej eksploatacji pojazd był parkowany w garażu wbudowanym, nieogrzewanym. W okresie wykonywania pomiarów temperatura zewnątrz wynosiła ok. 16°C. Wysokość temperatury wpływa na intensywność wymiany ciepła pomiędzy powietrzem a silnikiem. Należy zaznaczyć, że wraz ze spadkiem temperatury zewnętrznej czas potrzebny na schłodzenie silnika będzie krótszy, zmniejszy się więc okres, w którym można odbierać ciepło od samochodu. Wszystkie pomiary wykonano w określonych odstępach czasu, wynikających z szybkości obniżania się temperatury na powierzchni mierzonych elementów. Temperatura maski pojazdu była mierzona w punktach oznaczonych na rys. 1.



Rys. 1. Punkty pomiarowe temperatury zlokalizowane na masce samochodu (od 1 do 7)

Do dalszej analizy wyznaczone zostały wartości średnie temperatury na powierzchni maski w poszczególnych interwałach czasowych. Temperatura silnika została określona jako wartość uśredniona temperatury silnika i skrzyni biegów – elementów posiadających największą masę i możliwość akumulacji ciepła. Pomiary wykonano z wykorzystaniem pirometru LaserSight firmy Optris.

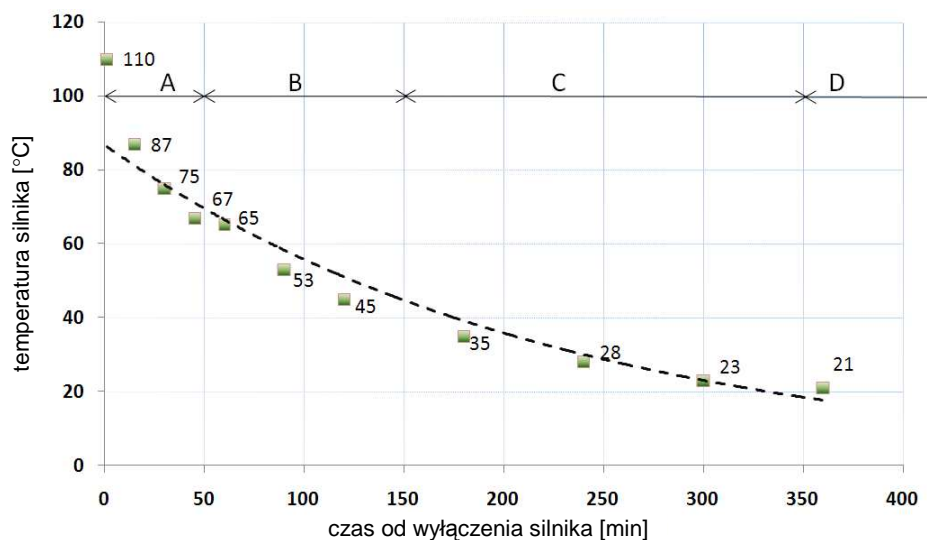
Przedstawione na rys. 2. wartości pomiarowe temperatury pozwalają stwierdzić, że jedynie silnik nadaje się jako źródło dodatkowego ciepła do dalszego wykorzystania. Temperatura maski osiąga swoje maksimum po pewnym czasie od wyłączenia silnika i wyłączenia chłodzenia wymuszonego silnika, następnie zaczyna się szybko obniżać do poziomu temperatury otoczenia. Maksymalna zarejestrowana temperatura 25°C po ok. 30 min garażowania nie pretenduje tego źródła ciepła do dalszych analiz. Temperatury te zmierzono w sytuacji bez odbioru ciepła od samochodu w czasie pomiaru.



Rys. 2. Rozkład temperatury mierzonej na powierzchni silnika i na masce samochodu

Z kolei temperatura silnika zaczyna początkowo szybko spadać, po czym następuje łagodne przejście w powolne ochładzanie. Aby określić dalsze zachowanie się temperatury silnika, wykonano pomiary w dłuższym okresie, co umożliwiło odpowiedź na pytanie, jak długo będzie się utrzymywać temperatura silnika powyżej temperatury otoczenia. Taka informacja pozwoliłaby na określenie ewentualnej mocy urządzeń niezbędnych do odebrania ciepła od pojazdu.

W przypadku pomiarów temperatury samego silnika w samochodzie osobowym o masie 200 kg okazało się, że w czasie 350 min od momentu wyłączenia silnika możliwe jest jeszcze odebranie ciepła (rys. 3.).



Rys. 3. Rozkład mierzonej temperatury silnika w czasie

Na podstawie analizy danych dotyczących szybkości obniżania się temperatury powierzchni silnika określono przewidywany czas, niezbędny do zrównania się z temperaturą powietrza wynoszącą 16°C na ok. 10 godz. Jest to czas, w którym samochód pozostaje w garażu, co umożliwi instalacji odebranie całości ciepła.

W celu przybliżonego określenia ilości ciepła zakumulowanego w czasie postoju pojazdu cały okres, w którym temperatura silnika dochodzi do temperatury otoczenia, podzielono na kilka przedziałów czasowych. W przedziałach tych wyznaczono średnią wartość temperatury silnika, co pozwoliło ustalić różnicę temperatur, o jaką teoretycznie możliwe będzie podniesienie temperatury powietrza z pomieszczenia trafiającego na pompę ciepła (rys. 3.). W tabeli 1. zestawiono różnice temperatur pomiędzy pomieszczeniem a średnią wartością temperatury silnika w rozpatrywanym przedziale.

Tabela 1. Wartość różnicy temperatur pomiędzy pomieszczeniem i średnią temperaturą silnika w analizowanym obszarze

Obszar	$T_{sav}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$t$ [h]
A	72	16	56	0,8
B	50	16	34	1,7
C	31	16	15	3,3
D	18	16	2	4,2

Zakładając masę silnika pojazdu  $m$  oraz średnią pojemność cieplną  $c = 0,5$  kJ/kg · K, można określić ilość ciepła oraz moc grzewczą możliwą do uzyskania

przy teoretycznie 100% sprawności zachodzącego procesu odbioru ciepła z pojazdu samochodowego. W praktyce sprawność odbioru ciepła należałoby przyjmując szacunkowo w granicach od 0,5 do 0,75, w zależności od bliskości ssawek odciągających ciepłe powietrze od źródła ciepła:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$N = Q / \Delta t \quad (2)$$

Dla danych założeń zależności (1), (2) przyjmują postać:

$$Q = 200 \cdot 0,5 \cdot \Delta T = 100 \cdot \Delta T \text{ [kJ]} \quad (3)$$

$$N = 100 \cdot \Delta T / (3600 \cdot \Delta t) \text{ [kW]} \quad (4)$$

Na tej podstawie określono ilość ciepła możliwą do pozyskania w poszczególnych przedziałach czasowych (tab. 2.).

Tabela 2. Liczba i moc urządzeń niezbędne do przejścia ciepła ( $m = 200 \text{ kg}$ )

Czas [min]	Obszar	$Q$ [kJ]	$N$ [kW]
50	A	5 587	1,86
100	B	3 415	0,57
200	C	1 526	0,13
50	D	186	0,01
Suma		10 740	

Obszar D, o najniższej temperaturze średniej na powierzchni silnika, posiada względnie małą ilość ciepła zakumulowanego w całej masie samochodu (ok. 1,7%), stąd może być on pominięty w dalszej części rozważań. Do wykorzystania pozostaje zatem ciągle ok. 10,53 MJ ciepła w czasie ok. 6 godz.

Taka ilość ciepła może posłużyć do ogrzania ciepłej wody użytkowej w ilości (przy założeniu podgrzania wody od 10 do 55°C, tj.  $\Delta T_w = 45^\circ\text{C}$ ):

$$m_w = \Sigma Q / (c_w \cdot \Delta T_w) = 10,53 \cdot 10^3 / (4,19 \cdot 45) = 55,8 \text{ kg H}_2\text{O} \quad (5)$$

gdzie  $\Delta T_w$  – różnica temperatur pomiędzy c.w.u. i wodą zimną [ $^\circ\text{C}$ ].

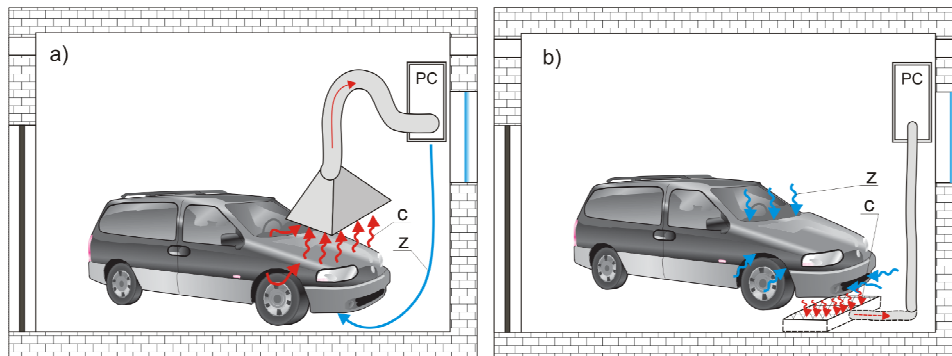
Jest to ilość ciepłej wody użytkowej, jaką można przygotować w ciągu 6 godz. pracy instalacji. Pokrywa ona zapotrzebowanie ciepłej wody dla ok. 2 osób w budynku mieszkalnym energooszczędnym w ciągu doby jego użytkowania [1]. Należy pamiętać o harmonogramie pracy instalacji, tj. woda może być przygotowywana w okresie nocnym, kiedy samochód jest garażowany po jego

wcześniejszym użytkowaniu. W okresach dłuższego postoju samochodu nie ma możliwości odzyskania wystarczającej porcji energii do przygotowania wody w tak krótkim czasie przez urządzenie, którego moc nie przekracza 2 kW. Ponieważ ilość ciepła jest funkcją temperatury powietrza, które chłodzi silnik, można określić procentowy stopień wzrostu ilości produkowanego ciepła w zależności od zmieniającej się temperatury powietrza w otoczeniu samochodu. Garaż jest na ogół nieogrzewany, stąd istnieje zależność pomiędzy temperaturą zewnętrzną i temperaturą panującą w pomieszczeniu. Temperatura w pomieszczeniu zależy przede wszystkim od strat ciepła przez przenikanie i od wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego czy temperatury zewnętrznej. Dlatego największą moc osiągnie urządzenie pracujące przy niskich temperaturach powietrza otaczającego samochód, kosztem zmniejszenia czasu niezbędnego na schłodzenie silnika do temperatury otoczenia.

Ilość odebranego ciepła będzie zależeć od przyjętego strumienia powietrza wentylacyjnego oraz jego kierunku przepływu. Zaproponowano kilka rozwiązań mających na celu pozyskanie ciepła pochodzącego od silnika za pomocą powietrza pobieranego od samochodu z pomieszczenia garażu (rys. 4.). Powietrze po ogrzaniu się będzie przekazywać ciepło do parownika pompy ciepła typu powietrze–woda, a następnie po ochłodzeniu w parowniku pompy ciepła będzie doprowadzone do nawiewu w pobliżu źródła ciepła. Obecnie na rynku znajduje się wiele rozwiązań umożliwiających odzyskiwanie ciepła, najczęściej na potrzeby przygotowania c.w.u., z wykorzystaniem jako źródła dolnego powietrza zewnętrznego. Rozwiązania takie mają ograniczenia w stosowaniu, polegające na konieczności odszraniania parownika przy niskich temperaturach powietrza zewnętrznego. W praktyce poniżej temperatury  $-5^{\circ}\text{C}$  może dochodzić do wykraplania wilgoci z powietrza i szronienia wymiennika. Aby pompa ciepła mogła kontynuować swoje działanie, stosuje się grzałki elektryczne do usuwania szronu z parownika, co z jednej strony umożliwia ich pracę przy temperaturach dochodzących do  $-15^{\circ}\text{C}$ , z drugiej zaś strony stosowanie grzałek obniża opłacalność takiego rozwiązania poprzez zmniejszenie współczynnika wydajności grzejnej COP. Zastosowanie pompy ciepła powietrze–woda do pobierania ciepła nie z powietrza, lecz z pomieszczenia garażu ogrzewanego przez ciepłe elementy konstrukcyjne samochodu wydłuża okres, w którym możliwe jest pozyskiwanie ciepła z powietrza. Dalej przedstawiono kilka możliwych wariantów takiego rozwiązania.

Ponieważ nie zostały przeprowadzone badania modelowe, należy jedynie przypuszczać, że większą skuteczność będzie miał system, który odbiera ciepło bliżej silnika. Oznacza to, że taki system będzie wymagał dodatkowych kosztów związanych z wykonaniem kanału oraz komory z kratką stalową w posadzce garażu. Cała konstrukcja biegnąca w posadzce powinna być dobrze izolowana termicznie przed stratami ciepła. Najprostsze rozwiązanie, wymagające jedynie wykonania okapu i podłączenia go przewodem elastycznym izolowanym do wlotu, ma parownik pompy ciepła. Będzie on posiadał mniejszą sprawność,

z uwagi na pobieranie ciepła ze strony silnika, która jest stosunkowo silnie osłonięta i zaizolowana, tj. od strony maski samochodu.



Rys. 4. Przykładowe rozwiązania odbioru ciepła od masy silnika: a) poprzez okap nad maską silnika, b) poprzez kratkę w podłodze pod silnikiem; z – powietrze zimne, c – powietrze ogrzane

Rozwiązania tego typu posiadają pewną wadę, która decyduje o efektywnej pracy układu pompy ciepła. W miarę upływu czasu od momentu wyłączenia silnika następuje redukcja temperatury wpływającej na parownik. Pociąga to za sobą konieczność obniżenia temperatury odparowania czynnika, a co za tym idzie, zmniejsza się współczynnik wydajności energetycznej COP. Dla obiegów idealnych wartość COP określa zależność pomiędzy temperaturą dolnego i górnego źródła ciepła:

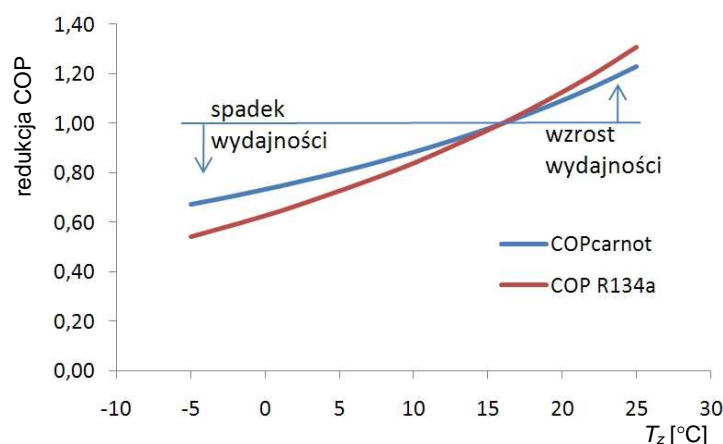
$$\text{COP} = \frac{T_e}{T_c - T_e} = \frac{Q_c}{N_{sp}} \quad (6)$$

Typowe pompy ciepła powietrze–woda stosowane na rynku umożliwiają wytworzenie wody grzewczej na poziomie od 50 do 60°C, przy jednoczesnym utrzymaniu temperatury powietrza na wlocie na parownik min. –5°C. Aby proces wymiany ciepła mógł przebiegać bezproblemowo, należy założyć różnicę temperatur pomiędzy parownikiem i powietrzem go omywającym ok. 7 K [2]. Na rysunku 5. przedstawiono zmiany wydajności grzewczej pompy ciepła w zależności od temperatury powietrza wpływającego na parownik dla przypadku idealnego oraz dla czynnika chłodniczego R134a. Czynnik ten jest często stosowany w pompach ciepła typu powietrze–woda.

Ponieważ w trakcie pomiarów występowała temperatura powietrza wewnętrznego garażu na poziomie ok. 16°C, dlatego zmiany na rys. 5. przedstawiono względem tej temperatury. Jednocześnie można dostrzec poważny minus rozwiązania bazującego na pompie ciepła powietrze–woda, tj. bardzo duży spadek wydajności przy niskich temperaturach powietrza kierowanego na parownik:



ponad 45% przy  $-5^{\circ}\text{C}$ . Pompa ciepła do przygotowania c.w.u. na ogół pracuje przy temperaturze powietrza zewnętrznego w granicach od  $6$  do  $35^{\circ}\text{C}$  i umożliwia podgrzanie wody do temperatury  $55^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 5. Zmiana wydajności grzewczej pompy ciepła w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego dla obiegu idealnego oraz rzeczywistego z czynnikiem R134a

Innego rodzaju rozwiązaniem, niewrażliwym na wahania temperatury powietrza wpływającego na parownik jest instalacja z akumulatorem ciepła w postaci odpowiednio dobranego materiału PCM. Materiał PCM (ang. *change material* – materiał zmieniający stan skupienia) pozwala na akumulację ciepła przy zmieniającej się temperaturze powietrza odpływającego z rozgrzanego silnika, najczęściej w postaci ciepła odparowania. Materiał, pobierając ciepło od powietrza cyrkulującego przez akumulator, pobiera ciepło potrzebne do odparowania. Ciepło jest przetrzymywane w akumulatorze w stałej temperaturze, można je odebrać za pomocą pompy ciepła typu glikol–woda, na potrzeby np. przygotowania ciepłej wody (rys. 6.).

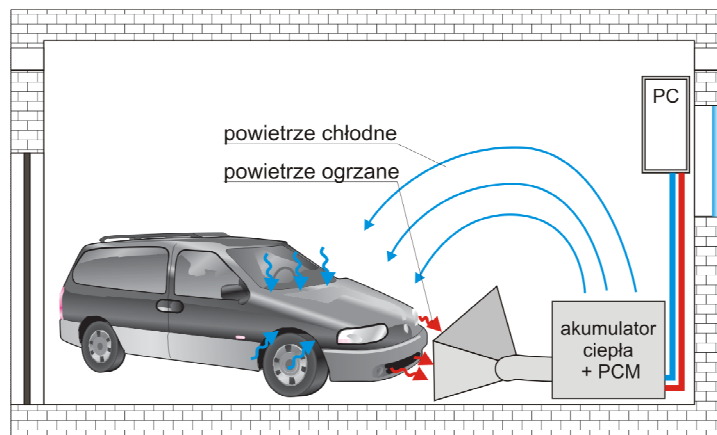
W rozwiązaniu tym pompa ciepła odbiera ciepło zakumulowane w zasobniku za pomocą ogólnie dostępnej mieszaniny wody i glikolu (np. Ergolid Eko), natomiast wentylator znajdujący się w akumulatorze odbiera ciepło za pomocą powietrza cyrkulacyjnego czerpanego przez ssawkę zlokalizowaną w przedniej części samochodu przy osłonie chłodnicy.

Przy założeniu najniższej temperatury powietrza trafiającego do akumulatora na poziomie ok.  $5^{\circ}\text{C}$  możliwe jest określenie typu materiału PCM. Temperaturę materiału akumulacyjnego przyjmuje się ok.  $4\text{ K}$  poniżej temperatury źródła ciepła. Dla tak określonych wielkości temperatur można przyjąć materiał PCM pod nazwą handlową A4, posiadający temperaturę zmiany fazy (ciało stałe/ciecz) na poziomie  $4^{\circ}\text{C}$  oraz ciepło przemiany wynoszące  $227\text{ kJ/kg}$  [3]. Po-

zwała to na pracę pompy ze stałą temperaturą dolnego źródła na poziomie ok. 0°C. Ponieważ materiał ma zakumulować ciepło w ilości ok. 10,5 MJ w okresie ładowania wynoszącym 6 godz., to można określić masę materiału na poziomie:

$$m_{\text{PCM}} = Q / r_{\text{PCM}} \quad (7)$$

Ilość materiału niezbędnego do zakumulowania ciepła wyniesie 46,4 kg. Należy przyjąć wartość większą, wynikającą z możliwości pozyskania ciepła na przygotowanie c.w.u. tylko z powietrza zewnętrznego, co oznacza masę materiału akumulacyjnego na poziomie ok. 125 kg (przygotowanie c.w.u. dla 3 osób przez ciepło przemiany fazowej). Pozwoli to również na zakumulowanie ciepła pochodzącego z powietrza otaczającego akumulator w sytuacji, kiedy jego temperatura wzrośnie powyżej temperatury przemiany fazowej materiału PCM, tj. powyżej 4°C.

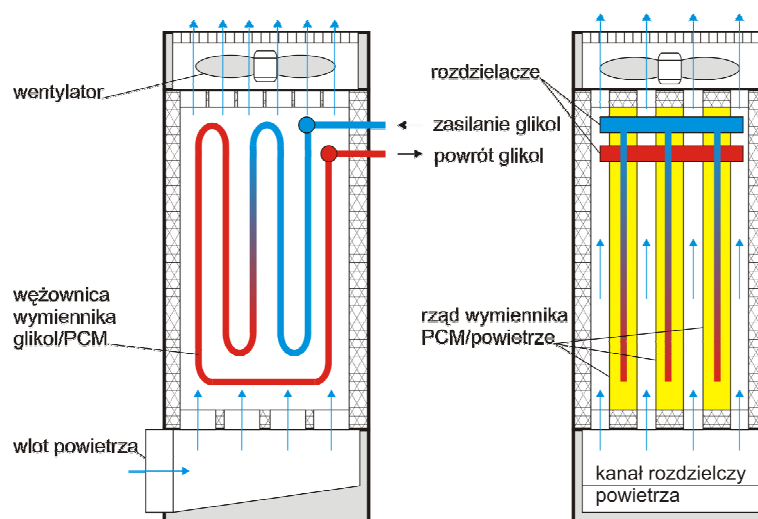


Rys. 6. Przykładowe rozwiązania odbioru ciepła od samochodu z wykorzystaniem akumulatora ciepła z materiałem PCM i pompy ciepła glikol-woda

Akumulator ciepła z materiałem PCM powinien mieć konstrukcję umożliwiającą pobór ciepła z powietrza, natomiast pompa ciepła powinna zapewnić odbiór ciepła z akumulatora za pomocą solanki, co zapobiegnie zamrożeniu czynnika pośredniczącego w przewodach w czasie niskich temperatur (rys. 7.).

Powietrze przepływa ze ssawki do kanału rozdzielczego, gdzie następuje podział na poszczególne przestrzenie pomiędzy rzędami wymiennika z materiałem PCM. Materiał ten jest zamknięty w szczelnych przewodach, w ich środku umieszczona jest węzownica odbierająca ciepło od materiału PCM za pomocą czynnika pośredniczącego w przekazywaniu ciepła do parownika pompy ciepła. Celem zwiększenia sprawności wymiany ciepła należy zwiększyć powierzchnię

wymiany ciepła, np. poprzez lamelowanie przewodów, w których zamknięty jest materiał PCM. Niemniej jednak sprawność tego typu akumulatora należy szacować w granicach 70÷75%. Jest to mniejsza sprawność w porównaniu z systemem odbioru ciepła przez pompę ciepła typu powietrze–woda, w której może ona dochodzić do 90%. Należałoby ostatecznie uwzględnić wpływ ssawek lub okapów na pozyskiwanie ciepła z samochodu. Należy przypuszczać, że sprawność elementów czerpiących powietrze z ciepłem pochodzącym z samochodu jest najmniejsza i może osiągać wartości rzędu 50÷60%, co znacznie obniża sprawność całkowitą systemu zarówno bez akumulatora, jak i z akumulatorem.

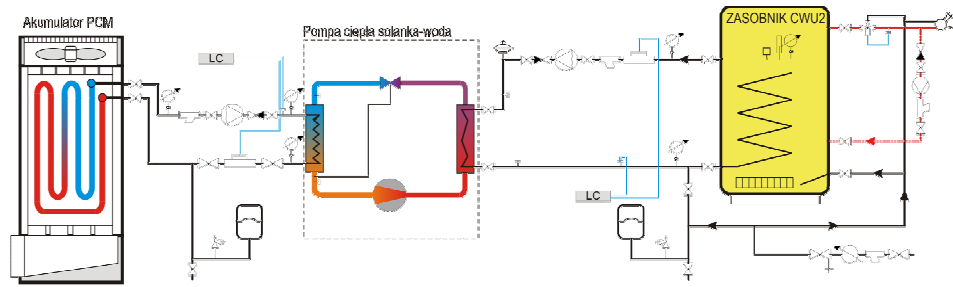


Rys. 7. Przykładowe rozwiązania akumulatora ciepła z materiałem PCM

Przykładowe rozwiązanie instalacji z zastosowaniem akumulatora z materiałem PCM ładowanym za pomocą powietrza cyrkulacyjnego przedstawiono na rys. 8. Dzięki rozwiązaniu instalacji z akumulatorem pompa ciepła pracuje w sytuacji, kiedy wymiennik z PCM został naładowany. Pompa ciepła pracując, ma do dyspozycji całość energii zgmagazynowanej w ciągu 6 godz. ładowania, w związku z czym można zastosować pompę o wyższej wydajności, aby podgrzać c.w.u. w zasobniku wodnym w dużo krótszym czasie.

Przy czasie rozładowywania akumulatora wynoszącym 1 godz. niezbędna jest moc pompy ciepła na poziomie 10,5 kW lub w przypadku 4 godz. moc pompy spadnie do 2,6 kW.

Zakładając, że akumulator będzie ładowany od godz. 20 przez 6 godz., następne godziny nocne pomiędzy 2 a 6 rano można przeznaczyć na rozładowywanie akumulatora i podgrzewanie zasobnika c.w.u. Oznacza to, że w czasie 4 godz. wystarczająca jest moc pompy ciepła na poziomie 3 kW.



Rys. 8. Przykładowe rozwiązania instalacji przygotowania c.w.u. przy współpracy akumulatora PCM oraz pompy ciepła glikol-woda

### 3. Opłacalność rozwiązania

Koszty eksploatacji tradycyjnych systemów energetycznych, służących do przygotowania ciepłej wody użytkowej stale rosną. Powodem jest przede wszystkim wzrost cen nośników energii. Jednocześnie zwiększa się atrakcyjność pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Warto się zastanowić, czy inwestowanie w budowę instalacji wykorzystujących energię pochodzącą ze źródeł odnawialnych jest opłacalne. W tym celu przedstawiono uproszczoną metodę oceny efektywności takiej inwestycji. Pozwala ona określić czas zwrotu nakładów inwestycyjnych poniesionych na budowę instalacji zarówno w wersji bez akumulatora, jak i z akumulatorem ciepła. Obliczanie kosztu jednostkowego energii  $K_j$  uzyskanej z instalacji jest następujące:

$$K_j = \frac{E_p k_p}{Q_c} \quad (8)$$

Koszt jednostkowy energii elektrycznej  $k_p$  przyjęto na poziomie 0,4789 zł/kWh. Można w przybliżeniu przyjąć, że roczne zużycie energii z zewnątrz  $E_p$  wynika z napędu pompy ciepła i pomp obiegowych i jest iloczynem mocy nominalnej silnika i czasu jej użytkowania w ciągu roku. Zakładając pracę pompy ciepła przy temperaturze wyższej od 0°C, można przyjąć czas pracy na poziomie ok. 4 godz. dziennie przez 200 dni w roku. W tabeli 3. zestawiono roczne zużycie energii dla dwóch wariantów instalacji.

Roczna podaż energii  $Q_c$  z pompy ciepła jest następująca:

$$Q_c = Q_{c.w.u.} t_a \quad (9)$$

Czas korzystania z c.w.u. w ciągu roku  $t_a$  przyjęto na poziomie 365 dni:

$$Q_{c.w.u.} = m_{wd} c_w \Delta T_w \text{ [kWh]} \quad (10)$$

$$Q_{c.w.u.} = 7,86 \text{ kWh,}$$

$$Q_c = 2\,867 \text{ kWh/rok.}$$

Tabela 3. Roczne zużycie energii przez system

Urządzenie	Czas pracy [h]	Moc urządzenia [kW]	$E_p$ [kWh]
układ bez akumulatora			
Pompa ładująca zasobnik c.w.u.	800	0,30	240
Sprężarka pompy ciepła	800	0,67	533
Wentylator pompy ciepła	800	0,35	280
Suma	-	-	<b>1053</b>
układ z akumulatorem			
Pompa ładująca zasobnik c.w.u.	800	0,30	240
Sprężarka pompy ciepła	800	0,67	533
Pompa glikolowa	800	0,40	320
Wentylator akumulatora	1200	0,60	720
Suma	-	-	<b>1813</b>

Koszty modernizacji instalacji wyniosą ok. 3000 zł w przypadku pompy ciepła powietrze–woda oraz ok. 7500 zł w przypadku instalacji z akumulatorem. Stąd  $K_j$  dla instalacji bez akumulatora i z nim wyniesie odpowiednio 0,176 i 0,303 zł/kWh.

Zmniejszenie kosztów ciepła na podgrzanie c.w.u. za 1 kWh w stosunku do energii elektrycznej wyraża wzór:

$$O = k_p - K_j \text{ [zł/kWh]} \quad (11)$$

Dla systemu bez akumulacji i z akumulacją ciepła wartości  $O$  wynoszą odpowiednio 0,303 oraz 0,176 zł/kWh.

Ilość pieniędzy zaoszczędzonych przez użytkownika w wyniku eksploatacji systemu w ciągu roku to:

$$\Delta K = O \cdot Q_c \text{ [zł/kWh]} \quad (12)$$

Dla systemu bez akumulacji i z akumulacją ciepła wartości  $\Delta K$  wynoszą odpowiednio 869 oraz 506 zł/rok (za ogrzewanie elektryczne należałoby zapłacić 1373 zł/rok).

Prosty okres zwrotu nakładów SPBT poniesionych na budowę instalacji wyraża wzór:

$$\text{SPBT} = \frac{I_o}{\Delta K} \quad (13)$$

Dla systemu bez akumulacji i z akumulacją ciepła prosty czas zwrotu kosztów SPBT wyniesie odpowiednio 3,5 i 14,9 roku.

#### 4. Podsumowanie

Spośród wielu rozwiązań mających na celu zmniejszenie rocznych kosztów eksploatacyjnych budynku zaproponowane rozwiązanie jest stosunkowo nowatorskim podejściem do kwestii wyboru źródła ciepła dolnego dla pompy ciepła. Ilość ciepła pochodzącego z samochodu osobowego kształtuje się na poziomie ok. 10,5 kWh dziennie. Możliwość pozyskania takiej ilości energii i jej dalsze wykorzystanie na potrzeby przygotowania c.w.u. wydają się racjonalne. W zależności od zastosowanego rozwiązania instalacji pozyskującej ciepło z silnika samochodu osobowego garażowanego realnie staje się pozyskanie od 50 do 75% ciepła dla odbiorcy końcowego. Pozwala to na zmniejszenie jednostkowych kosztów energii na przygotowanie c.w.u. do poziomu minimalnie  $(100 + 50\%) \cdot 0,303 = 0,45$  zł/kWh. Jest to rozwiązanie atrakcyjne, niemniej porównywalne z energią elektryczną (0,47 zł/kWh). Prosta analiza, bez uwzględnienia amortyzacji wykazała, że czas zwrotu nakładów poniesionych na instalację może wynosić maksymalnie do 15 lat przy rozwiązaniu z akumulatorem, przy założeniu 3 osób w rodzinie. Czas zwrotu kosztów przy najdroższym rozwiązaniu może się skrócić do 5 lat przy rodzinie 5-osobowej.

#### Literatura

1. Kisielewicz T.: Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych, Wydawn. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.
2. Rubik M.: Pompy ciepła. Poradnik, Wydawn. INSTAL, Warszawa 1999.
3. Mehling H., Cabeza L.F.: Heat and cold storage with PCM, Springer, Heidelberg 2008.

#### UTILIZATION OF HEAT ENERGY GAIN FROM CAR IN GARAGE

##### Summary

Analysis of taken heat and its transformation to hot water in semidetached house has been presented in this work. The technical problem of that heat storage has also taken into consideration. Some interesting practical possibility of application of heat from garaged car has discussed and as well as simple payback time (SPBT) for selected installation.

*Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2010 r.*