

## WYKORZYSTANIE CIEPŁA ODPADOWEGO W DOMU JEDNORODZINNYM

Szymon Fidewicz<sup>1</sup>

**Komentarz profesora-opiekuna.** Raport jest częścią Projektu dydaktycznego (tytuł Projektu: ENERGETYKA PROSUMENCKA w kontekście Modelu Interaktywnego Rynku Energii Elektrycznej), który został zrealizowany w ramach przedmiotu Energetyka rynkowa prowadzonego przez niżej podpisanego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej na Kierunku Studiów Elektrotechnika, specjalność Elektroenergetyka. Jest to przedmiot realizowany na pierwszym semestrze studiów drugiego stopnia (studia magisterskie), stacjonarnych (dziennych). Wcześniej, na studiach pierwszego stopnia (inżynierskich) studenci mieli standardowe wykłady z elektroenergetyki. Praktycznie nie zetknęli się jednak z energetyką prosumencką i przebudową energetyki, zwłaszcza przedstawionymi w systemowy sposób. W programie przedmiotu formalnie jest tylko 30-godzinny wykład (nie ma ćwiczeń, laboratoriów, seminarium). Stąd wynikają daleko idące ograniczenia, które trzeba brać pod uwagę w budowaniu koncepcji wykładu. Projekt dydaktyczny, w ramach którego studenci zostali zobowiązani do opracowania indywidualnych Raportów stanowiących podstawę zaliczenia przedmiotu jest ważną częścią tej koncepcji.

Raport opracowany przez inż. Sz. Fidewicza potwierdza ogólną tezę, że zdolni studenci, korzystając odpowiedzialnie z zasobów internetowych i ze wsparcia profesora-opiekuna są w stanie rozwiązywać całościowo wybrane, nowe zagadnienia praktyczne z obszaru energetyki EP.

Wnioski wynikające z Raportu opracowanego przez Fidewicza potwierdza zamieszczony (równocześnie) w bibliotece BŻEP inny studencki Raport, mianowicie Raport opracowany przez inż. R. Wichra ([Biogazownie rolnicze jako źródła pracujące w trybie semi off-grid](#), BŻEP, Dział 2.2.08, [www.klaster3x20.pl](#), podstrona CEP). Obydwa Raporty zostały opracowane w tym samym czasie, w podobnych projektach dydaktycznych.

Pole obserwacji studenckich możliwości działań w energetyce EP rozszerzają oczywiście Raporty studenckie wcześniej zamieszczone w bibliotece BŻEP. Były to Raporty: Ł. Kordasa ([Mapa drogowa 2050 przebudowy energetyki miasta 100-500 tys. mieszkańców](#), Dział 2.2.04), R. Larischa ([Car Sharing – doświadczenia niemieckie](#), Dział 1.3.14), W. Kwoczaka ([Kogeneracja gazowa/biogazowa](#), Dział 1.3.15), J. Mostowskiej ([Car Sharing – Pyskowice](#), Dział 1.3.14), A. Musialik ([Modernizacja oświetlenia – hala sportowa](#), Dział 1.3.03). Podkreśla się, że wymienione Raporty zostały zrealizowane w zróżnicowanych uwarunkowaniach (odmiennych od tych, w których swoje Raporty realizowali Fidewicz i Wicher).

Syntetyzując doświadczenia wynikające z RAPORTÓW studenckich dotychczas zamieszczonych w bibliotece BŻEP widać, że młodemu pokoleniu inżynierów będzie znacznie łatwiej, w porównaniu z pokoleniem będącym obecnie u szczytu kariery zawodowej, odpowiedzieć na wyzwania związane z przebudową energetyki. Łatwiej mu będzie zaadoptować się do nowych wymagań, wynikających z całkowicie nowych właściwości energetyki EP. W szczególności łatwiej dlatego, że mamy tu do czynienia ze zgodnością

<sup>1</sup> Inż. Szymon Fidewicz, student pierwszego semestru drugiego stopnia studiów (studia magisterskie) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, Kierunek Elektrotechnika, rok akademicki 2014/2015.

systemową. Mianowicie, energetyka EP jest/będzie osadzona w środowisku inteligentnej infrastruktury i w prosumenckim społeczeństwie. Jest to zarazem naturalne środowisko studentów (inaczej niż w wypadku pokolenia energetyków będącego obecnie u szczytu kariery zawodowej, dla którego naturalnym środowiskiem zawodowym jest środowisko korporacyjne).

To w gruncie rzeczy oznacza, że młode pokolenie inżynierów w kolejnych latach upomni się o należną mu rolę wiodącą w energetyce. Jest to oczywiście szansa na uwolnieniu się Polski od dalszej, niebezpiecznej petryfikacji energetyki.

Jan Popczyk

## **Wprowadzenie**

W dobie dokonujących się zmian oraz panujących trendów w światowej energetyce zachodzi konieczność rozwijania odnawialnych źródeł energii, a także redukcja zużycia energii elektrycznej i ciepła [Popczyk] (*Model interaktywnego rynku energii elektrycznej*. BŻEP, Dział 1.2.06, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP). Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii możliwe jest ponowne wykorzystanie ciepła odpadowego w budynkach mieszkalnych, które w innym wypadku, zostałyby bezpowrotnie odprowadzone do atmosfery. Budynki mieszkalne są bardzo ważnym elementem systemu elektroenergetycznego, ponieważ przez znaczną liczebność oraz cykliczny charakter poboru energii elektrycznej wpływają w sposób istotny na kształt energetyki krajowej. Atrakcyjność technologii wykorzystujących ciepło odpadowe polega na poprawie bilansu energetycznego gospodarstw domowych, w których są one stosowane, co bezpośrednio wiąże się z redukcją kosztów przeznaczanych na cele grzewcze.

Celem niniejszego raportu jest wskazanie możliwych do wykorzystania źródeł ciepła odpadowego w budynku jednorodzinny oraz oszacowanie korzyści ekologicznych i ekonomicznych wynikających z kompleksowego wykorzystania tych źródeł. Ponadto została podjęta próba oceny wpływu wspomnianych technologii na gospodarkę energetyczną w ujęciu systemowym oraz na realizację założeń unijnego pakietu klimatycznego 3x20. W raporcie został wyliczony czas zwrotu nakładów związanych z instalacją nowoczesnych urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe w zależności od sposobu ogrzewania budynku oraz wody użytkowej.

Tezą raportu jest stwierdzenie, że kompleksowe wykorzystanie ciepła odpadowego w jednorodzinnych budynkach mieszkalnych jest działaniem zwiększającym efektywność energetyczną gospodarki, a także wpływa ono w sposób znaczny na profil obciążenia KSE, co przekłada się na skuteczniejszą realizację założeń pakietu klimatycznego 3x20 oraz w dalszej perspektywie postanowień unijnej klimatyczno-energetycznej Mapy Drogowej 2050.

Zakres niniejszego opracowania obejmuje charakterystykę wybranych źródeł ciepła odpadowego występujących w budynkach mieszkalnych wraz z opisem technologii pozwalających na ich efektywne wykorzystanie. Dla dobranych kompleksowo urządzeń pozwalających na wykorzystanie wspomnianych źródeł ciepła przeprowadzono oszacowanie opłacalności ekonomicznej oraz korzyści ekologicznych. Na podstawie wykonanych obliczeń, zakładając ilość budynków jednorodzinnych wykorzystujących ciepło odpadowe, dokonano oceny ich wpływu na profil obciążenia systemu elektroenergetycznego, do którego są one przyłączone. Bazując na otrzymanych wartościach, wykazano potencjał tych technologii w procesie realizacji postanowień unijnej klimatyczno-energetycznej Mapy Drogowej 2050.

Raport zawiera również opis wybranych urządzeń i zasadę ich działania, lokalizację czujników oraz propozycję sterownika zarządzającego współpracą systemów wykorzystujących ciepło odpadowe z podstawowym układem ogrzewania i wentylacji budynku mieszkalnego w celu uzyskania optymalnego działania wspomnianych instalacji.

Niniejszy raport został oparty na rzeczywistym budynku, przedstawionym na rys.1. Jest nim nowym jednorodzinny dom parterowy o powierzchni użytkowej mieszkalnej wynoszącej 128,52 m<sup>2</sup> oraz powierzchni garażu równej 31,9 m<sup>2</sup>. Wysokość budynku wynosi 7,32 m.



Rys. 1. Wizualizacja budynku parterowego

### **1. Źródła ciepła odpadowego w jednorodzinny budynku mieszkalnym**

Ciepło odpadowe jest energią nie wykorzystaną użytecznie, która towarzyszy przemianom energetycznym zachodzącym w urządzeniach. W ujęciu ścisłym wynika ona z parametru sprawności elementów przekształcających energię, która dla rzeczywistych obiektów zwykle jest mniejsza od jedności. Wspomniana sprawność urządzeń może zostać zwiększona, jeśli energia odpadowa z nich pochodząca zostanie zagospodarowana w odpowiedni sposób. Celowym działaniem jest odzyskiwanie ciepła z układów, które cechują się niską sprawnością oraz, których działanie odbywa się w sposób cykliczny, co upraszcza ich eksploatację. W budynkach mieszkalnych znajdują się elementy spełniające powyższy warunek, dlatego w raporcie zostaną rozpatrzone koncepcje wykorzystania ciepła odpadowego z:

- 1.** układu odprowadzania spalin np. z kotła na biomasę lub kominka.
- 2.** układu wentylacji budynku.
- 3.** instalacji kanalizacyjnej.

Energia odpadowa w budynkach mieszkalnych może być wykorzystana między innymi w celu wstępnego lub całkowitego podgrzania wody do zadanej przez użytkownika temperatury lub do ogrzania powietrza nawiewanego w układzie wentylacji budynku. Takie działanie zmniejsza ilość zużywanej energii do celów grzewczych przez gospodarstwo domowe, a to w efekcie przekłada się na sumaryczne zużycie energii elektrycznej i ciepła.

#### **1.1. Układ odprowadzania spalin z kominka**

W ostatnim czasie dużą popularnością, szczególnie w budynkach jednorodzinnych cieszą się kominki. Jest to spowodowane ich walorami estetycznymi, niską ceną paliwa w postaci drewna opałowego, a także nieznacznymi kosztami eksploatacji tego rodzaju ogrzewania. Kominki są instalowane najczęściej w budynkach nowych, ponieważ wiąże się to z koniecznością odprowadzenia spalin do komina, doprowadzeniem powietrza z zewnątrz w celu zapewnienia wystarczającej ilości tlenu gwarantującego odpowiednie spalanie drewna.

Inwestycje te są możliwe do zrealizowania także w istniejących budynkach, jednak wymagają one większych nakładów inwestycyjnych. Na rys. 2 przedstawiono przykładowy wkład kominkowy do palenia ciągłego.



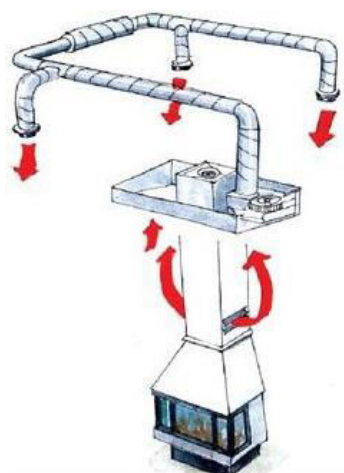
Rys. 2. Wkład kominkowy do palenia ciągłego

Tabela 1 zestawia wybrane parametry techniczne wkładu kominkowego przeznaczonego do palenia ciągłego drewnem opałowym.

Tab. 1. Parametry techniczne wkładu kominkowego

Nazwa parametru	Wartość
Moc grzewcza - $P_n$ [kW]	15
Sprawność - $\eta$ [%]	73
Możliwości grzewcze [ $m^3$ ]	365

Wkład kominkowy o danych przedstawionych w tab. 1 przeznaczony jest do ogrzewania średniej wielkości budynku. Zakładając wysokość pomieszczeń  $h=2,4$  m uzyskuje się maksymalną powierzchnię budynku, dla której odpowiedni jest ten wkład na poziomie około 150 m. Oznacza to, że wkład ten posiada wystarczającą moc aby ogrzać rozpatrywany budynek. W celu dostarczenia ciepła z kominka do odleglejszych pomieszczeń stosuje się specjalny układ rozprowadzania ciepła, którego uproszczony schemat pokazano na rys. 3. Układ ten jest wyposażony w wentylator wymuszający przepływ ogrzanego powietrza oraz przepustnicę powietrza świeżego sterowaną elektrycznie. Istnieje możliwość zarządzania tymi elementami za pomocą standardowego sterownika ogrzewania.



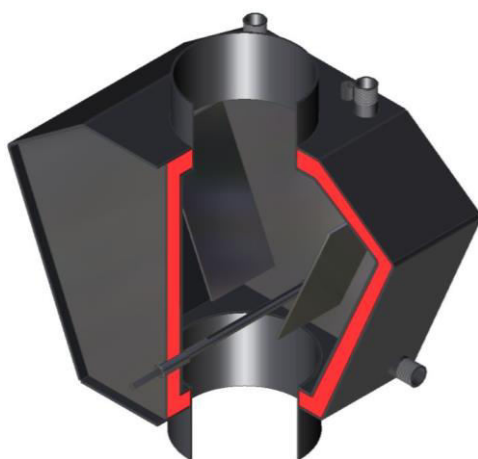
Rys. 3. Ilustracja pogładowa układu rozprowadzania ciepła z kominka

## 1.2. Wymiennik ciepła - metoda wykorzystania ciepła odpadowego z kominka

Poniżej wyliczono moc strat  $\Delta P$  rozpatrywanego wkładu kominkowego na podstawie mocy znamionowej  $P_n$  oraz sprawności  $\eta$ :

$$\Delta P = \frac{(100 - \eta)}{100} \cdot P_n = \frac{100 - 73}{100} \cdot 15 = 4,1 \text{ kW} , \quad (1)$$

Wyznaczone straty mocy odpowiadają w znacznej mierze ciepłu, które jest odprowadzane wraz ze spalinami do kanału kominowego. W celu wykorzystania tego ciepła stosuje się specjalnie zaprojektowane i zbudowane wymienniki ciepła odbierające ciepło ze spalin. Jednym z dostępnych na rynku rozwiązań jest wymiennik o mocy  $P_w=4 \text{ kW}$  przedstawiony na rys. 4. W wymienniku ciepła znajduje się przestrzeń wypełniona czynnikiem (zwykle jest nim woda), który odbierając ciepło ze spalin nagrzewa się. Za pomocą pompy wymuszany jest obieg czynnika, który przekazuje zgromadzone ciepło do zbiornika ciepłej wody użytkowej. Pompa obiegowa jest włączana automatycznie, sygnał sterujący pochodzi z czujnika temperatury, który zlokalizowany jest w pobliżu wymiennika ciepła. W wyniku rozpalenie ognia przez użytkownika sterownik realizuje odpowiednie wysterowanie osprzętu współpracującego z kominkiem oraz redukcję intensywności lub całkowite wyłączenie podstawowego ogrzewania budynku. Intensywność spalania paliwa w kominku również może być regulowana automatycznie poprzez zastosowania przepustnicy powietrza sterowanej elektrycznie. Odpowiednie sterowanie przepustnicą umożliwia utrzymywanie temperatury w palenisku lub wymienniku ciepła na stałym poziomie. Rozwiązanie to uprasza obsługę oraz eliminuje ewentualne błędy eksploatacyjne, jakim może być nadmierny wzrost temperatury we wnętrzu wymiennika ciepła. Wymiana ciepła w zbiorniku odbywa się przez wężownicę, co oznacza, że woda użytkowa nie ma bezpośredniego kontaktu z kominkowym wymiennikiem ciepła. Charakteryzowany wymiennik ciepła w niewielkim stopniu może wpływać na osłabienie ciągu powietrza w palenisku, który odpowiada za intensywność spalania się paliwa, dlatego wymiennik posiada dźwignię umożliwiającą skierowanie spalin bezpośrednio do komina na czas rozpalania drewna. Wymaga się aby nad wymiennikiem ciepła zainstalowany był zbiornik wyrównawczy gwarantujący obecność odpowiedniej ilości czynnika w układzie grzewczym. Kominkowy wymiennik ciepła wyposażony jest również w zawór bezpieczeństwa, działający w przypadku nadmiernego wzrostu ciśnienia w układzie grzewczym w wyniku awarii np. układu sterowania.



Rys. 4. Przekrój kominkowego wymiennika ciepła

## 1.3. Oszacowanie potencjału wykorzystania ciepła odpadowego z kominka

Przedstawione poniżej obliczenia potwierdzają zasadność wykorzystania wymiennika ciepła kominkowego do ogrzewania wody użytkowej w budynku jednorodzinny.

W sposób analityczny został wyznaczony czas potrzebny do ogrzania danej objętości wody przy użyciu wymiennika ciepła. W zaprezentowanym toku obliczeniowym posłużono się przykładem mogącym znaleźć pełne odzwierciedlenie w rzeczywistym gospodarstwie domowym. Założenia oraz potrzebne wielkości fizyczne zamieszczono w tab. 2.

Tab. 2. Założenia do obliczeń – kominkowy wymiennik ciepła

Nazwa parametru	Wartość
Temperatura początkowa wody - $T_p$ [°C]	10
Temperatura końcowa wody - $T_k$ [°C]	50
Objętość ogrzewanej wody - $V$ [dm <sup>3</sup> ]	200
Moc źródła ciepła (wymiennik kominkowy)- $P_z$ [kW]	4
Współczynnik strat w zbiorniku z wodą ogrzewaną i przewodach doprowadzających - $\vartheta_z$ [%]	30
Ciężar właściwy wody w 20°C - $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	999,8
Ciepło właściwe wody - $\gamma$ [J/kg*K]	4189

1. Wyznaczanie masy wody przeznaczonej do ogrzania na podstawie danej objętości:

$$m = V \cdot \rho = 200 \cdot 999,8 \cdot 10^{-3} = 200 \text{ kg} , \quad (2)$$

2. Wyznaczanie oczekiwanego przyrostu temperatury wody:

$$\Delta T = T_k - T_p = 50 - 10 = 40 \text{ } ^\circ\text{C} , \quad (3)$$

3. Wyznaczanie ilości energii cieplnej  $E_c$  pochodzącej z kominkowego wymiennika ciepła potrzebnej do ogrzania 200 litrów wody o 40 °C:

$$E_c = m \cdot \gamma \cdot \Delta T \cdot (1 + \vartheta_z) = \frac{200 \cdot 4189 \cdot 40 \cdot (1 + 0,3)}{3600 \cdot 10^3} = 12,1 \text{ kWh} , \quad (4)$$

4. Wyznaczanie czasu potrzebnego do ogrzania wody do zadanej temperatury (czas palenia w kominku):

$$t = \frac{E_c}{P_z} = \frac{12,10}{4} = 3 \text{ godz} , \quad (5)$$

Zastosowanie kominkowego wymiennika ciepła jest rozwiązaniem bardzo korzystnym, ponieważ pozwala ono – stosując odpowiednie urządzenia i osprzęt dodatkowy – na ogrzewanie wody użytkowej w relatywnie krótkim czasie. Co najważniejsze w tym rozwiązaniu wykorzystuje się ciepło odpadowe, które w innym przypadku zostałyby odprowadzone bezpowrotnie wraz ze spalinami.

## 2. Rekuperacja - metoda wykorzystania ciepła odpadowego z układu wentylacji

Drugim ważnym źródłem ciepła odpadowego, jakie występuje w budynkach jednorodzinnych jest układ wentylacji. Szacuje się, że ilość ciepła tracona przez tradycyjne układy wentylacji osiąga w niektórych przypadkach wartość nawet 40% całkowitych strat ciepła. Informacja ta dotyczy okresu zimowego. Na rys. 5 przedstawiono w sposób schematyczny udział procentowy źródeł strat ciepła w budynku jednorodzinym.

Stosowanie wentylacji w budynkach jest konieczne i wymagane odpowiednimi normami. Ponadto widocznymi objawami złej wentylacji są: skropliny pary wodnej na szybach oraz innych powierzchniach w pomieszczeniu, pleśń, wyczuwalny podwyższony poziom wilgotności powietrza oraz pojawienie się ciągu wstecznego powietrza przez kratki wentylacyjne.



Rys. 5. Udział procentowy źródeł strat ciepła w budynku jednorodzinnym

Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie wentylacji budynków mieszkalnych w celu odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego pozwala na ich pracę ze sprawnością około 80%. W rozwiązaniach takich dodatkowym kosztem eksploatacyjnym jest jedynie nieco wyższe zużycie energii elektrycznej, koniecznej do zasilania silników wentylatorów wymuszających właściwy przepływ powietrza w omawianym układzie.

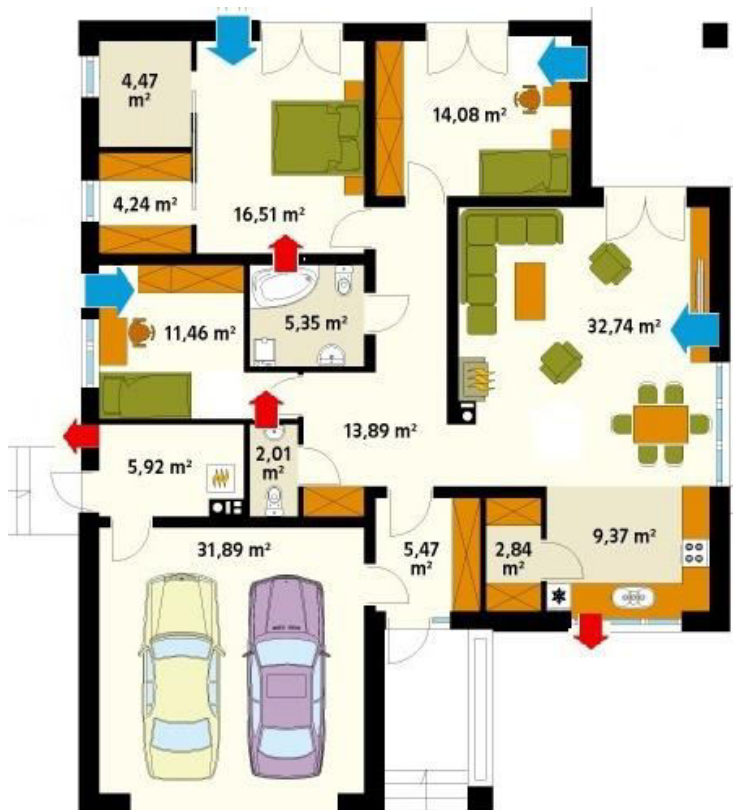
## 2.1. Charakterystyka układu wentylacji w budynku jednorodzinnym

Prawidłowo zaprojektowana wentylacja powinna zapewniać odprowadzanie zużytego powietrza z kuchni, łazienki, ubikacji oraz pomocniczego pomieszczenia bezokiennego, a także doprowadzenie świeżego powietrza do pokoi. Takie rozwiązanie wymusza odpowiednią cyrkulację powietrza. Ilość powietrza nawiewanego powinna być skompensowana taką samą ilością powietrza wywiewanego, aby nie doprowadzić do powstania efektu nadciśnienia lub podciśnienia w budynku. W tab. 3 umieszczono wymagane wartości strumieni powietrza wywiewanego z pomieszczeń budynku jednorodzinnego w zależności od przeznaczenia i zastosowanych w nich urządzeniach.

Tab. 3. Wartości strumienia powietrza wywiewanego z pomieszczeń budynku jednorodzinnego

Rodzaj pomieszczenia	Wartość strumienia powietrza
Kuchnia wyposażona w kuchenkę gazową	70 m <sup>3</sup> /h
Kuchnia wyposażona w kuchenkę elektryczną	50 m <sup>3</sup> /h
Łazienka	50 m <sup>3</sup> /h
Wydzielone WC	30 m <sup>3</sup> /h
Pomocnicze pomieszczenie bezokienne (np. garderoba)	15 m <sup>3</sup> /h

Biorąc jako przykład scharakteryzowany we wstępie raportu dom jednorodzinny z kuchenką gazową mamy cztery pomieszczenia, w których wymagane jest zastosowanie wywiewu powietrza. Są nimi kuchnia, łazienka, wydzielone WC oraz garderoba, na podstawie tab. 3 wymagana wartość strumienia powietrza wywiewanego wynosi  $165 \text{ m}^3/\text{h}$ . W czasie, gdy w domu nie przebywają osoby intensywność wentylacji może zostać zredukowana. Na rys. 6 pokazano rzut budynku jednorodzinnego parterowego wraz z zaznaczonymi wywiewnikami (kolor czerwony) i nawiewnikami (kolor niebieski) powietrza wentylacyjnego.



**Rys. 6. Rozmieszczenie nawiewników i wywiewników w budynku jednorodzinny**

Zaprezentowane rozwiązanie zapewni około 0,6 wymiany całkowitego powietrza w budynku na godzinę, gdzie według normy wskaźnik ten powinien zawierać się w przedziale 0,5-0,8. W celu osiągnięcia wymaganych parametrów zaproponowano rekuperator AERIS posiadający przeciwprądowy wymiennik ciepła o bardzo wysokiej sprawności, którego wybrane parametry techniczne przedstawiono w tab. 4.



**Rys. 7. Rekuperator AERIS 350**



Rekuperator AERIS 350 ma celowo większą wydajność od wymaganej, ponieważ pozwala to na intensywne przewietrzenie budynku, gdy wentylacja była przez dłuższy okres wyłączona np. z powodu nieobecności domowników. Większa wydajność od wymaganej pozwala również na pracę w normalnych warunkach z niższą prędkością obrotową wentylatorów co redukuje zużycie energii oraz zmniejsza hałas.

Tab. 4. Parametry techniczne rekuperatora

Nazwa parametru	Wartość
Wydajność maksymalna [m <sup>3</sup> /h]	350
Sprawność [%]	do 95
Napięcie zasilania [V]	230
Częstotliwość napięcia zasilania [Hz]	50
Pobierana moc elektryczna na biegu 1 [W]	80
Pobierana moc elektryczna na biegu 2 [W]	140
Pobierana moc elektryczna na biegu 3 [W]	240

## 2.2. Oszacowanie potencjału wykorzystania ciepła odpadowego z układu wentylacji

Dla rozpatrywanego budynku jednorodzinnego oraz dla zaproponowanego rekuperatora dokonano oszacowania ilości odzyskanego ciepła w tej instalacji. Do obliczeń przyjęto okres zimowy, w którym średnia temperatura zewnętrzna  $T_{zew}$  wynosi  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , natomiast wewnętrzna  $T_{wew}$  (średnia w budynku)  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Założono również, że wartość strumienia powietrza  $S_1$  na poziomie  $165\text{ m}^3/\text{h}$  wymagana jest przez 8 godzin dziennie, a dla pozostałego czasu średni strumień powietrza  $S_2$  wynosi  $40\text{ m}^3/\text{h}$ , co odpowiada godzinom nocnym oraz nieobecności domowników. Takie założenia pozwalają z dobrą dokładnością przybliżyć faktyczne cykle użytkowania układu wentylacji z rekuperatorem powietrza w budynku jednorodzinny. Do obliczeń przedstawionych poniżej przyjęto średnią sprawność rekuperatora  $\mathcal{G}_r$  na poziomie 80%. Ciepło właściwe powietrza  $\gamma_p$  wynosi  $1005\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ , a ciężar właściwy powietrza  $\rho_p$  jest równy  $1,3\text{ kg}/\text{m}^3$ :

1. Wyznaczenie objętości powietrza wymienianego w ciągu doby:

$$V_p = S_1 \cdot t_1 + S_2 \cdot t_2 = 165 \cdot 8 + 40 \cdot 16 = 1960\text{ m}^3, \quad (6)$$

2. Wyznaczenie dobowej ilości energii potrzebnej do ogrzania wyznaczonej objętości powietrza od temperatury zewnętrznej  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  do temperatury wewnętrznej  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (brak rekuperacji):

$$E_p = V_p \cdot \rho_p \cdot \gamma_p \cdot \Delta T = \frac{1960 \cdot 1,3 \cdot 1005 \cdot (20 - (-3))}{3600 \cdot 10^3} = 16,4\text{ kWh}, \quad (7)$$

3. Wyznaczenie temperatury powietrza nawiewanego przy wykorzystaniu rekuperatora:

$$T_n = T_{zew} + \mathcal{G}_r \cdot (T_{wew} - T_{zew}) = -3 + 0,8 \cdot (20 - (-3)) = 15,4\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (8)$$

4. Wyznaczenie dziennej ilości energii potrzebnej do ogrzania wyznaczonej objętości powietrza od temperatury zewnętrznej  $-15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  do temperatury wewnętrznej  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (z wykorzystaniem układu rekuperacji):

$$E_r = V_p \cdot \rho_p \cdot \gamma_p \cdot \Delta T = \frac{1960 \cdot 1,3 \cdot 1005 \cdot (20 - 15,4)}{3600 \cdot 10^3} = 3,3\text{ kWh}, \quad (9)$$

5. Wyznaczenie dobowego zużycia energii elektrycznej przez wentylatory rekuperatora (praca odpowiednio na pierwszym i drugim biegu wentylatorów):

$$\Delta E_e = P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 = \frac{140 \cdot 8 + 80 \cdot 16}{1000} = 2,4 \text{ kWh} , \quad (10)$$

6. Wyznaczenie dobowych korzyści energetycznych wynikających z zastosowania rekuperatora w porównaniu do tradycyjnego układu wentylacji:

$$E_{rek} = E_p - E_r - \Delta E_e = 16,36 - 3,27 - 2,4 = 10,7 \text{ kWh} , \quad (11)$$

Przeprowadzone wyżej obliczenia pokazują, że zastosowanie układu rekuperacji w budynku jednorodzinym wiąże się ze znacznymi korzyściami w postaci odzyskanego ciepła. Ponadto takie rozwiązanie zwiększa komfort oraz bezpieczeństwo użytkownika budynku, ponieważ prawidłowa wentylacja uniemożliwia gromadzenie się szkodliwych substancji w pomieszczeniach które powstają w procesie spalania. Oprócz tego zaproponowane urządzenie współpracuje z czujnikiem CO<sub>2</sub>, który może wymusić wzmożoną wymianę powietrza w sytuacji przekroczenia dopuszczalnego poziomu tego gazu. Rekuperator posiada również specjalny układ filtracyjny zmniejszający ilość pyłów przedostających się do wnętrza budynku. Zastosowanie odpowiedniego układu sterowania ułatwia jego użytkowanie i pozwala w sposób optymalny osiągnąć pożądane parametry. Widok panelu przedniego dedykowanego sterownika LUXE przedstawiono na rys. 7.



Rys. 8. Panel dotykowy LUXE

Pokazany na rysunku panel ma następujące zalety:

1. Możliwość podłączenia czujnika temperatury.
2. Możliwość programowania tygodniowego cyklu pracy rekuperatora.
3. Łatwość obsługi przy pomocy ekranu dotykowego.
4. Opcje odczytywania i zamiany intensywności wentylacji.

Montaż układu rekuperacji jest możliwy zarówno w nowych jak i starszych domach jednorodzinnych, jednak w drugim przypadku wymaga to znacznej ingerencji w strukturę budynku. Najlepszym rozwiązaniem jest zaplanowanie takiej instalacji już na etapie projektowania budynku, ponieważ wiąże się to z koniecznością zainstalowania centrali nawiewno – wywiewnej, sieci przewodów wentylacyjnych, czerpni oraz wyrzutni powietrza. W wymienniku ciepła dochodzi do wytrącania się skroplin, dlatego konieczne jest podłączenie rekuperatora do pionu kanalizacyjnego, co w niektórych przypadkach może komplikować instalację tego urządzenia.



### 3.1 Oszacowanie potencjału wykorzystania ciepła odpadowego z układu kanalizacji

Do obliczeń przyjęto dane zestawione w tab. 5.

Tab. 5. Założenia do obliczeń – system DWHR

Nazwa parametru	Wartość
Temperatura wody z sieci wodociągowej – $T_{zas}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	10
Temperatura wody w kabinie prysznicowej - $T_{kab}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	38
Objętość zużywanej wody w kabinie w ciągu doby - $V_w$ [ $\text{dm}^3$ ]	280
Sprawność systemu DWHR - $\mathcal{G}_{\text{DWHR}}$ [%]	65
Współczynnik strat w ciepła wody w kabinie oraz rurach doprowadzających do urządzenia DWHR - $x$ [%]	0,95
Ciężar właściwy wody w $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $\rho$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	999,8
Ciepło właściwe wody $\gamma$ - [ $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ]	4189

Jako urządzenie DWHR zastosowano wymiennik poziomy przeciwprądowy, który przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Urządzenie przeciwprądowe pionowe DWHR

Poniżej zaprezentowano obliczenia dotyczące urządzenia typu DWHR wykorzystującego ciepło odpadowe z instalacji kanalizacyjnej. Wyznaczono przyrost temperatury wody zasilającej ogrzewacz oraz dobową wartość energii zaoszczędzonej w tym układzie.

**1.** Wyznaczenie przyrostu temperatury wody zasilającej ogrzewacz wody uzyskanego przez zastosowanie systemu DWHR:

$$\Delta T = \mathcal{G}_w \cdot (T_{kab} \cdot x - T_{zas}) = 0,45 \cdot ((38 \cdot 0,95) - 10) = 11,8\text{ }^{\circ}\text{C} \quad , \quad (12)$$

**2.** Wyznaczenie dobowej ilości energii zaoszczędzonej dzięki wykorzystaniu systemu DWHR:

$$E_w = V_w \cdot \rho_w \cdot \gamma_w \cdot \Delta T = \frac{280 \cdot 999,8 \cdot 10^{-3} \cdot 4189 \cdot 11,75}{3600 \cdot 10^3} = 3,8\text{ kWh} \quad , \quad (13)$$

#### 4. Oszacowanie korzyści ekonomicznych wynikających z ponownego wykorzystania energii odpadowej w budynku jednorodzinnym

Przeprowadzona wcześniej analiza wykorzystania energii odpadowej w rozpatrywanym budynku mieszkalnym wykazuje sposobność osiągnięcia znacznych zysków energetycznych w postaci ciepła. Posługując się cenami nośników energii, w tym punkcie raportu, zostało przeprowadzone wyliczenie możliwych do osiągnięcia zysków ekonomicznych przez gospodarstwo domowe.

Uwzględniając fakt wynikający z charakteru pracy danej instalacji można zauważyć, że w sezonie grzewczym możliwa do ponownego wykorzystania ilość energii wynosi sumę energii pochodzącej z układu odprowadzania spalin  $E_c$ , układu wentylacji  $E_{rek}$  oraz instalacji kanalizacyjnej  $E_w$ . Natomiast w okresie letnim, gdy nie wykorzystuje się układu rekuperacji powietrza oraz ogrzewania budynku przy użyciu kominka, jedynym możliwym źródłem ciepła odpadowego jest instalacja kanalizacyjna. Poniżej wyznaczono wartość uzyskanej energii w okresie letnim i zimowym w budynku jednorodzinnym.

1. Obliczenie dobowej wartości energii pochodzącej z układów wykorzystujących ciepło odpadowe w budynku jednorodzinnym w okresie zimowym:

$$E_{zima} = E_c + E_{rek} + E_w = 12,10 + 10,69 + 3,83 = 26,6 \text{ kWh} , \quad (14)$$

2. Obliczenie dobowej wartości energii pochodzącej z układów wykorzystujących ciepło odpadowe w budynku jednorodzinnym w okresie letnim:

$$E_{lato} = E_w = 3,8 \text{ kWh} , \quad (15)$$

3. Zakładając, że sezon grzewczy trwa 160 dni rocznie, energia pochodzącej z układów wykorzystujących ciepło odpadowe w budynku jednorodzinnym przyjmuje wartość:

$$E_{rok} = 160 \cdot 26,2 + 205 \cdot 3,83 = 5,0 \text{ MWh} , \quad (16)$$

Aby ocenić korzyści ekonomiczne wynikające z kompleksowego wykorzystania ciepła odpadowego w budynku jednorodzinnym rozpatrzono 3 warianty ogrzewania domu i wody użytkowej:

1. Gazowe ogrzewanie budynku oraz wody użytkowej.
2. Węglowe ogrzewanie budynku oraz wody użytkowej.
3. Elektryczne ogrzewanie budynku oraz wody użytkowej.

Do obliczeń przyjęto następujące ceny nośników energii:

1. Średnią cenę sprzedaży energii elektrycznej  $C_e$  na poziomie 493 PLN/MWh. Wartość przyjęto zgodnie z informacją Prezesa URE w sprawie średniej ceny energii elektrycznej dla odbiorcy w gospodarstwie domowym z uwzględnieniem opłaty za świadczenie usług dystrybucji energii elektrycznej. Wartość brutto (z uwzględnieniem 23% stawki VAT) wynosi 606 PLN/MWh,
2. Cenę brutto sprzedaży gazu ziemnego  $C_g$  z uwzględnieniem opłat dystrybucyjnych na poziomie 200 PLN/MWh. Wartość przyjęto zgodnie z danymi PGNiG,
3. Cenę brutto detalicznej sprzedaży węgla kamiennego typu groszek  $C_w$  z uwzględnieniem akcyzy na poziomie 523 PLN/t (dane przyjęto na podstawie uśrednionego cennika internetowego). Przyjmując uzysk energii z węgla kamiennego na poziomie 6,5 MWh/t, koszt energii pochodzącej z węgla kamiennego wynosi 80 PLN/MWh.

Poniżej przedstawiono właściwe obliczenia korzyści ekonomicznych płynących z kompleksowego zastosowania urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe w budynku jednorodzinym. Rozpatrzone zostały trzy warianty różniące się sposobem ogrzewania budynku oraz wody użytkowej.

**1.** Roczne korzyści ekonomiczne wynikające z wykorzystania ciepła odpadowego dla pojedynczego domu jednorodzinnego realizującego **1. wariant** ogrzewania budynku i wody użytkowej:

$$K_{rok} = E_{rok} \cdot C_g = 5,0 \cdot 200 = 1000 \text{ PLN} , \quad (17)$$

**2.** Roczne korzyści ekonomiczne wynikające z wykorzystania ciepła odpadowego dla pojedynczego domu jednorodzinnego realizującego **2. wariant** ogrzewania budynku i wody użytkowej:

$$K_{rok} = E_{rok} \cdot C_w = 5,0 \cdot 80 = 400 \text{ PLN} , \quad (18)$$

**3.** Roczne korzyści ekonomiczne wynikające z wykorzystania ciepła odpadowego dla pojedynczego domu jednorodzinnego realizującego **3. wariant** ogrzewania budynku i wody użytkowej:

$$K_{rok} = E_{rok} \cdot C_e = 5,0 \cdot 606 = 3\,030 \text{ PLN} , \quad (19)$$

Przeprowadzone obliczenia pokazują, że korzyści ekonomiczne zależą znacznie od wariantu ogrzewania budynku jednorodzinnego. Wynika to ze zróżnicowania cen poszczególnych nośników energii. Wyznaczone wartości są silnie zależne od aktualnych cen gazu ziemnego, energii elektrycznej oraz węgla kamiennego.

### **5. Oszacowanie nakładów inwestycyjnych związanych z instalacją urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe w budynku jednorodzinym**

W obliczeniach dotyczących nakładów inwestycyjnych uwzględniono ceny brutto na podstawie cenników udostępnianych przez producentów urządzeń oraz szacunkowe koszty dodatkowe wynikające z instalacji tych systemów w nowobudowanym domu jednorodzinym. Zastosowanie rozpatrywanych rozwiązań w istniejących, starszych budynkach może wiązać się ze zwiększeniem zaprezentowanych poniżej kosztów, ze względu na konieczność ingerencji w strukturę budynku.

Dla układu wykorzystującego ciepło odpadowe ze spalin:

- 1.** Kominkowy wymiennik ciepła – 1 200 PLN.
  - 2.** Pompa elektryczna wymuszająca obieg czynnika – 150 PLN.
  - 3.** Zbiornik izolowany na ciepłą wodę użytkową, pojemność 200 dm<sup>3</sup>, z węzownicą – 550 PLN.
  - 4.** Osprzęt dodatkowy - 400 PLN.
  - 5.** Montaż – 800 PLN.
- Razem: 3 100 PLN.**

Dla układu wentylacji z rekuperacją powietrza:

- 1.** Rekuperator powietrza – 11 000 PLN.
- 2.** Sterownik – 350 PLN.
- 3.** Osprzęt dodatkowy – 1 000 PLN.
- 4.** Montaż – 2 000 PLN.

**Razem: 14 350 PLN.**

Dla układu wykorzystującego ciepło odpadowe z instalacji kanalizacyjnej:

**1.** Urządzenie DWHR – 2 300 PLN.

**2.** Osprzęt dodatkowy – 800 PLN.

**3.** Montaż – 1 100 PLN.

**Razem: 4 200 PLN.**

Poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy dotyczący wyznaczenia okresu zwrotu inwestycji związanych z instalacją urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe. Przykład ten dotyczy pierwszego wiersza tab. 6.

Oznaczenia użyte we wzorze:  $K_c$  – koszt instalacji wykorzystującej ciepło odpadowe z układu odprowadzania spalin z kominka,  $E_c$  – dobową wartość energii odzyskanej,  $d$  – ilość dni wykorzystania układu w roku (sezon grzewczy),  $C_g$  – cena brutto 1 MWh energii pochodzącej z gazu ziemnego.

$$T_z = \frac{K_c}{E_c \cdot d \cdot C_g} = \frac{3100}{12,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1600 \cdot 200} \approx 8 \text{ lat} \quad , \quad (20)$$

W tab. 6 umieszczono okres zwrotu nakładów inwestycyjnych  $T_z$  dla poszczególnych metod wykorzystania ciepła odpadowego w zależności od wariantu ogrzewania budynku i wody użytkowej (analizowane warianty zostały zaprezentowane w punkcie 4 niniejszego raportu.).

Tab. 6 Analiza okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych

Źródło ciepła odpadowego	Wariant ogrzewania budynku i wody użytkowej	Okres zwrotu [lata]
Układ odprowadzania spalin z kominka	I	8
	II	20
	III	3
Układ wentylacji budynku	I	42
	II	104
	III	14
Instalacja kanalizacyjna	I	15
	II	38
	III	5

Oszacowanie przeprowadzone w tym punkcie raportu udowadnia, że czas zwrotu poniesionych środków różni się znacznie dla poszczególnych wariantów ogrzewania budynku i wody użytkowej. Obliczenia te wykazują również, że największe oszczędności, a tym samym najkrótszy czas zwrotu inwestycji jest osiągnięty dla wariantu opartym na wykorzystaniu energii elektrycznej, jest to związane bezpośrednio ze stosunkowo wysoką ceną tego nośnika energii. Obliczenia pokazują, że najmniejsze korzyści finansowe przynosi układ wentylacji budynku z rekuperatorem powietrza, jest to spowodowana przede wszystkim wysoką ceną tego urządzenia. Należy jednak zaznaczyć, że układ ten poprawia w dużym stopniu komfort przebywania w budynku i nie jest stosowany jedynie w celach oszczędnościowych. Godne polecenia są układy odzyskujące ciepło ze spalin oraz z instalacji kanalizacyjnej ze względu na niewielkie nakłady inwestycyjne i krótki okres zwrotu. Niewątpliwą zaletą tych układów jest również prostota eksploatacji i relatywnie mały wpływ

na strukturę budynku w czasie ich montażu, dzięki czemu mogą one zastosowane również w starszych budynkach.

## 6. Oszacowanie korzyści ekologicznych wynikających z ponownego wykorzystania energii odpadowej w budynku jednorodziennym

Oprócz zysków ekonomicznych wynikających z kompleksowego wykorzystania urządzeń przetwarzających ciepło odpadowe bardzo ważne są również korzyści ekologiczne. Poniżej dokonano kalkulacji ilości węgla i gazu ziemnego jaka musiałaby zostać spalona w celu uzyskania energii równej energii odzyskanej z ciepła odpadowego. W obliczeniach przyjęto 6 milionów domów przeznaczonych do modernizacji (budynki należące do PME 1), które stanowią potencjalne miejsce zastosowania opisanych wcześniej instalacji.

**1.** Roczna oszczędność energii przy zastosowaniu urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe w 6 mln budynków należących do PME 1:

$$E_{PME1} = E_{rok} \cdot 10^6 = 5,0 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^6 = 30,0 \text{ TWh} , \quad (21)$$

**2.** Roczna oszczędność gazu ziemnego (gaz wysokometanowy - **10 MWh/1000 m<sup>3</sup>**) przy zastosowaniu urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe w 6 mln budynków należących do PME 1:

$$V_{gaz} = E_{PME1} \cdot \frac{10^3}{10^7} = 30,0 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-4} = 30,0 \cdot 10^8 \text{ m}^3 , \quad (22)$$

**3.** Roczna oszczędność węgla kamiennego (**6,5 MWh/t**) przy zastosowaniu urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe w 6 mln budynków należących do PME 1:

$$m_{wagiel} = E_{PME1} \cdot \frac{1}{6,5^6} = 30,0 \cdot 10^{12} \cdot \frac{1}{6,5^6} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ t} , \quad (23)$$

Przedstawione w raporcie rozwiązania przyczyniają się w pewnej mierze do zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>, które jest gazem cieplarnianym odpowiadającym za zmiany klimatyczne zachodzące obecnie na świecie. Gospodarka Polski zobowiązana jest do realizacji założeń unijnego pakietu klimatycznego 3x20.

Poniżej przedstawiono oszacowanie ilości CO<sub>2</sub>, które zostałyby wyemitowane do atmosfery w ciągu jednego roku, w przypadku, braku zastosowania urządzeń wykorzystujących ciepło odpadowe, a energia równoważna byłaby wyprodukowana w procesie spalania odpowiednio węgla kamiennego i gazu ziemnego.

**1.** Wyznaczenie rocznych korzyści w postaci zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> w odniesieniu do spalania węgla kamiennego (masa cząsteczkowa dwutlenku węgla  $M_{CO_2}=44 \cdot 10^{-3}$  kg, masa cząsteczkowa węgla  $M_C=12 \cdot 10^{-3}$  kg):

$$m_{CO_2} = \frac{m_{wagiel} \cdot M_{CO_2}}{M_C} = \frac{4,6 \cdot 10^9 \cdot 44 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-3}} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ t} , \quad (24)$$

**2.** Wyznaczenie rocznych korzyści w postaci zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> w odniesieniu do spalania gazu ziemnego (masa cząsteczkowa dwutlenku węgla  $M_{CO_2}=44 \cdot 10^{-3}$  kg, masa cząsteczkowa metanu  $M_{CH_4}=14 \cdot 10^{-3}$  kg, ciężar właściwy metanu  $\delta_{CH_4}=0,72 \text{ t/1000m}^3$ ):



$$m_{CH_4} = \frac{V_{CH_4} \cdot \delta_{CH_4} \cdot M_{CO_2}}{M_{CH_4}} = \frac{30,0 \cdot 10^8 \cdot 0,72 \cdot 44 \cdot 10^{-3}}{14 \cdot 10^{-3}} = 676 \cdot 10^4 \text{ t} , \quad (25)$$

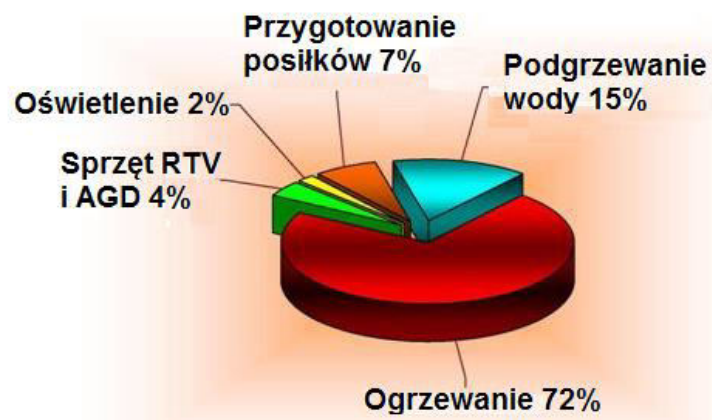
Produkcja energii w procesie spalania węgla jest jedną z najbardziej zanieczyszczających środowisko metod ponieważ powoduje znaczne pogorszenie jakości powietrza poprzez emisję toksycznych substancji oraz metali ciężkich takich jak np. rtęć i kadm. Wydobywanie i spalanie węgla powoduje również zanieczyszczenie wody lub poważne jej niedobory.

Jest to skutkiem ingerencji w naturalny przepływ wód gruntowych i podziemnych, a także produkcję ścieków negatywnie wpływających na rzeki, roślinność i zwierzęta. Najważniejszymi z drugoplanowych skutków spalania węgla są zakwaszenie oceanów i kwaśne deszcze.

Dlatego redukcja ilości paliwa koniecznego do spalania w celu produkcji energii przynosi szereg korzyści ekologicznych. Poza korzyściami w postaci zmniejszenia emisji do atmosfery CO<sub>2</sub> zastosowanie urządzeń odzyskujących ciepło odpadowe przyczynia się również do poprawy czystości powietrza, między innymi do zmniejszenia szkodliwych związków siarki, azotu oraz pyłu. Skutek ten jest bardzo ważny zwłaszcza dla wielkich miast, w których smog w sposób negatywny wpływa na mieszkańców.

## 7. Ocena wpływu wykorzystania energii odpadowej w budynku jednorodzinnym na zapotrzebowanie mocy w KSE

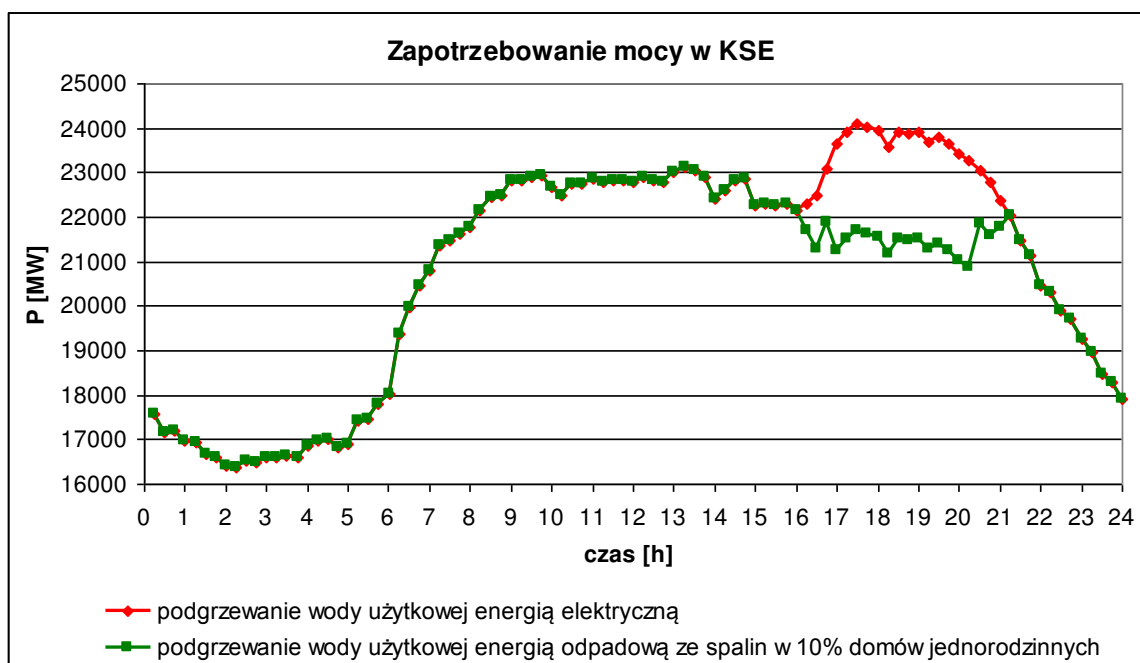
Warunki pracy systemu elektroenergetycznego podlegają ciągłym zmianom, dlatego konieczne jest utrzymywanie rezerwy mocy w celu pokrycia rosnącego gwałtownie zapotrzebowania wynikającego z ilości dołączanych jednocześnie odbiorników. Oznacza to, że infrastruktura odbiorcza jest czynnikiem wymuszającym właściwe działania regulacyjne i bilansujące w systemie elektroenergetycznym [Fice] (*Prosumencka mikroinfrastruktura energetyczna jako obiekt regulacji/sterowania*. BŻEP, Dział 1.1.06, www.klaster3x20.pl, podstrona CEP). Pobór mocy przez budynki jednorodzinne jest ściśle związany z cyklem aktywności dobowej człowieka. Na kształt krzywej obciążenia dobowego ma także wpływ pora roku, warunki atmosferyczne oraz wydarzenia kulturalno-sportowe. W okresie zimowym występuje doba z największym, natomiast w okresie letnim z najmniejszym zapotrzebowaniem na moc. Na rys. 11 zamieszczono diagram kołowy obrazujący przykładowe wykorzystanie całkowitej energii w budynku mieszkalnym z podziałem na poszczególne czynności.



Rys. 11. Wykorzystanie energii w budynku jednorodzinnym

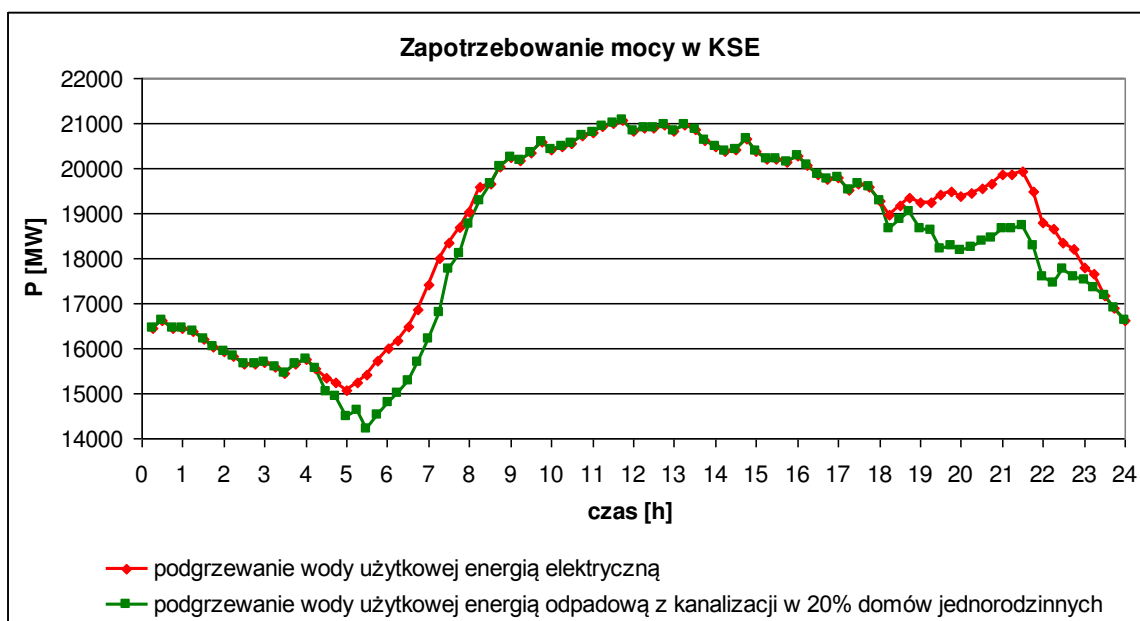
Na rys. 12. zamieszczono wykres przedstawiający zależność mocy obciążenia od czasu dla przykładowej doby w okresie zimowym 17.12.2014 r. (środa). Na wykresie zaznaczono również kształt krzywej obciążenia (kolor zielony) dla przypadku zastosowania w budynkach jednorodzinnych układu odzyskującego ciepło odpadowe ze spalin do podgrzewania wody użytkowej. Założono, że woda użytkowa jest podgrzewana przy użyciu energii elektrycznej jedynie w 10% z 6 milionów budynków należących do PME1. Założenie to wynika przede wszystkim z częstej lokalizacji takich domów poza obszarem miejskim, gdzie dostęp do sieci gazociągowej może być niemożliwy. Ponadto w części domów jednorodzinnych zastosowano już inne alternatywne źródła energii cieplnej, są nimi pompy ciepła lub kolektory słoneczne. Należy wziąć również pod uwagę fakt, że nie wszystkie budynki mieszkalne posiadają kominki, z których można w stosunkowo łatwy sposób odzyskać ciepło odpadowe.

Na drugim wykresie (rys. 13) zaprezentowano wpływ wykorzystania ciepła odpadowego z instalacji kanalizacyjnej. Zaprezentowany przykład dotyczy doby letniej 23.07.2014 r. (środa). Na podstawie przeprowadzonych wcześniej oszacowań stwierdzono, że średnia moc urządzenia DWHR odzyskującego ciepło odpadowe z instalacji odprowadzającej zużytą wodę np. z kabiny prysznicowej daje dzienną oszczędność energii na poziomie około 3,83 kWh. Można więc przyjąć, że moc urządzenia DWHR posiada moc grzewczą około 1 kW. Założono, że urządzenia DWHR zainstalowano w 20 % z 6 milionów budynków wymagających przebudowy i należących do PM1. Przyjęto wzmożone użytkowanie ciepłej wody w godzinach porannych oraz wieczornych. Przedstawiony na rys. 13 wykres wykazuje obniżenie zużycia energii elektrycznej oraz zmniejszenie jego stromości narastania w tych godzinach doby.



Rys. 12. Wpływ wykorzystania ciepła odpadowego ze spalin na kształt obciążenia dobowego

Zjawisko obniżenia zapotrzebowania na energię zgodnie z wykresami na rys. 12 i 13 jest bardzo korzystne, ponieważ nagły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną musi zostać natychmiast pokryty przez zintensyfikowaną produkcję energii elektrycznej, co wiąże się zarówno z problemami technicznymi oraz ze wzmożonymi kosztami. Ponadto obniżenie zużycia energii występuje w tych okresach czasowych, w których zapotrzebowanie na moc jest największe, a więc w chwilach, gdy może wystąpić przeciążenie urządzeń przesyłowo-rozdziałczych lub deficyt mocy w systemie elektroenergetycznym.



Rys. 13. Wpływ wykorzystania ciepła odpadowego z kanalizacji na kształt obciążenia dobowego

## 8. Charakterystyka układu sterowania układami wykorzystującymi ciepło odpadowe

Dostępny na rynku układów sterowania system KNX umożliwia zarządzanie instalacjami w ramach tzw. inteligentnego budynku [Wójcicki] (*Informatyka w EP*, BŻEP, Dział 1.2.06, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP). System ten działa w oparciu o programowalny sterownik umożliwiający zdalny dostęp do jego zasobów za pomocą łącza internetowego. Dzięki modułom wejściowym sterownik otrzymuje informacje z czujników pomiarowych. Na rys. 14 przedstawiono sterownik KNX.



Rys. 14. Sterownik KNX

W praktyce stosuje się czujniki temperatury instalowane w określonych punktach budynku umożliwiające utrzymywanie zróżnicowanych wartości temperatur w zależności np. od przeznaczenia pomieszczenia. Dzięki wykorzystaniu czujników światła możliwa jest optymalizacja pracy oświetlenia i napędu rolet okiennych. Do sterownika przyłączane są

także moduły wyjściowe (cyfrowe bądź analogowe) zadające sygnały sterujące do poszczególnych elementów wykonawczych. Elementami tymi są np. elektrozawory pozwalające na regulację intensywności ogrzewania danego pomieszczenia. Układ ten może również współpracować z systemem alarmowym, którego przejście w stan uzbrojenia sygnalizuje nieobecność domowników. Dzięki temu w sposób automatyczny może zostać zmniejszona intensywność wentylacji oraz ogrzewania pomieszczeń. Możliwe jest także zastosowanie czujników zewnętrznych przeznaczonych do pomiarów prędkości wiatru i intensywność opadów. Informacje uzyskane w ten sposób mogą oznaczać np. występowanie burzy, co spowoduje że sterownik zamknie rolety okienne aby padający grad nie spowodował zniszczeń.

System KNX może zarządzać również urządzeniami zaprezentowanymi w raporcie, które wykorzystują ciepło odpadowe w budynku jednorodzinnym oraz współpracować z inteligentnym licznikiem [Dębowski] (*Licznik inteligentny EP wg iLab EPRO*. BŻEP, Dział 1.2.06, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP). Takie rozwiązanie pozwoli w przyszłości odpowiednio dopasować intensywność działania poszczególnych instalacji do obowiązującej taryfy dynamicznej. Istnieje możliwość zaprogramowania automatycznego załączenia pompy wymuszającej obieg czynnika w kominkowym wymienniku ciepła po rozpaleniu ognia. W tym celu konieczne jest zastosowanie czujnika temperatury. Czujniki wilgotności powietrza i stężenia CO<sub>2</sub> przekazują informacje przydatne do sterowania układem wentylacji.

Przedstawione przykłady wpływają zarówno na zwiększenie efektywności energetycznej budynku oraz bezpieczeństwa i komfortu mieszkańców. Czynnikiem, który powoduje ograniczoną powszechność układów zarządzających instalacjami w budynkach jest ich stosunkowo wysoka cena. Szybki rozwój technologii elektronicznych i informatycznych może w przyszłości spowodować spadek cen układów sterowania.

## Podsumowanie

Na podstawie sporządzonego raportu jednoznacznie można stwierdzić, że wykorzystanie ciepła odpadowego w budynkach jednorodzinnych jest zjawiskiem korzystnym zarówno pod względem ekonomicznym, jak i ekologicznym. Koszt montażu urządzeń zależy w sposób znaczny od wariantu ogrzewania budynku oraz wody. Układ wentylacji z rekuperatorem jest rozwiązaniem najdroższym, ale oprócz korzyści energetycznych wpływa on znacznie na komfort przebywania w budynku. Nowoczesne technologie gwarantują wysoką skuteczność wykorzystania ciepła odpadowego oraz poprawiają bezpieczeństwo eksploatacji podstawowych instalacji budynków mieszkalnych. Układy sterowania obecne na rynku ułatwiają obsługę urządzeń, pozwalają na optymalizację ich działania zmniejszając w efekcie zużycie energii.

W analizie wpływu technologii wykorzystującej ciepło odpadowe na kształtowanie się krzywej zapotrzebowania na moc w systemie elektroenergetycznym założono jedynie zastosowanie tych urządzeń w niewielkiej części gospodarstw domowych. Pokazuje to wielki potencjał technologii, mogący przyczynić się do znacznego zmniejszenia zużycia energii elektrycznej, a co za tym idzie zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>.

Wykorzystanie urządzeń odzyskujących ciepło odpadowe w budynkach jednorodzinnych wpływa również korzystnie na kształtowanie się zapotrzebowania na moc w systemie elektroenergetycznym minimalizując ryzyko wystąpienia deficytu mocy i awarii elementów systemu elektroenergetycznego spowodowanych przeciążeniem.

## Literatura

[Popczyk] [Model interaktywnego rynku energii elektrycznej. Od modeli WEK-IPP-EP do modelu EP-IPP-WEK](#). BŻEP, Dział 1.1.06, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP.

- [Wójcicki] [\*Informatyka w EP\*](#). BŻEP, Dział 1.2.06, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP.
- [Dębowski] [\*Licznik inteligentny EP wg iLab EPRO\*](#). BŻEP, Dział 1.2.02, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP.
- [Fice] [\*Prosumencka mikroinfrastruktura energetyczna jako obiekt regulacji/sterowania\*](#). BŻEP, Dział 1.1.06, [www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl), podstrona CEP.
- [Rosiński] *Odzyskiwanie ciepła w wybranych technologiach inżynierii środowiska*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2012.
- [Słyś, Kordana] *Odzysk ciepła odpadowego w instalacjach i systemach kanalizacyjnych*. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2013.
- [Lipska] *Projektowanie wentylacji i klimatyzacji*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
- Polskie Sieci Elektroenergetyczne: Zapotrzebowanie mocy KSE, [www.pse.pl](http://www.pse.pl).
- Serwis internetowy: [www.automatykabudynkowa.com](http://www.automatykabudynkowa.com).
- Serwis internetowy: [www.pracownia-projekty.dom.pl](http://www.pracownia-projekty.dom.pl).
- Katalog producenta: [www.abb.pl](http://www.abb.pl).

*Datowanie RAPORTU (wersja oryginalna) – 4.07.2015 r.*