

# ANALIZA EKONOMICZNO-ŚRODOWISKOWA ROZWIĄZAŃ GRZEWCZYCH BUDYNKU JEDNORODZINNEGO W PERSPEKTYWIE ZMIAN LEGISLACYJNYCH

**Błażej GAZE\*, Michał KAMIŃSKI, Agnieszka BIERNACIK, Arkadiusz DYJAKON**

Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. C. K. Norwida 25, 50-375 Wrocław

**Streszczenie:** W dniu 1 stycznia 2017 roku weszły w życie nowe przepisy dotyczące warunków technicznych nowo powstających budynków. W pracy przeanalizowano trzy rodzaje budynków, które odpowiadają starym i nowym przepisom. Rozpatrzono przykładowe trzy warianty rozwiązania systemu grzewczego, podgrzewania ciepłej wody użytkowej i źródła pochodzenia energii elektrycznej dla typowego domu jednorodzinnego. Porównano efekt ekonomiczny i środowiskowy przedstawionych wariantów. Określony został także prosty okres zwrotu inwestycji. Omówiono wady oraz zalety poszczególnych rozwiązań.

*Słowa kluczowe:* efektywność energetyczna, budownictwo pasywne, domy energooszczędne, prawo budowlane.

## 1. Wprowadzenie

Z dniem 1 stycznia 2017 roku weszło w życie zaostrzenie przepisów dotyczących maksymalnego rocznego obliczeniowego zapotrzebowania budynku na energię nieodnawialną *EP* (Dz.U. 2013 poz. 926), jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Nowe wymagania dotyczą budynków których pozwolenie na budowę zostało/zostanie wydane po 1 stycznia 2017 roku. Celem końcowym nowych przepisów jest obniżenie ilości energii niezbędnej do zaspokojenia zapotrzebowania na ciepło w nowych budynkach do poziomu pełnej samowystarczalności (dla budynków użyteczności publicznej do roku 2019, a dla pozostałych budynków mieszkalnych do roku 2021). W przepisach określone są wartości graniczne dla współczynnika przenikania ciepła *U* oraz wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (*EP*). Docelowo, każdy nowy budynek w 2021 roku musi osiągnąć wskaźnik *EP* na poziomie nie wyższym niż  $70 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$  dla budownictwa niskoenergetycznego (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 201 z 2008r, poz. 1238). W wyniku zmian prawa wpływającego na sektor budownictwa w niniejszej pracy rozpatrzone zostaną trzy warianty budynku posiadające różne wskaźniki *EP*. Głównym celem jest pokazanie, iż dom pasywny jest najlepszym rozwiązaniem wedle zmieniających się przepisów oraz pod względem ekonomiczno-środowiskowym.

## 2. Klasyfikacja energetyczna budynków jednorodzinnych

Klasyfikacja budynków oparta jest o wartości powierzchniowego wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło (tab. 1). Budynki pasywne charakteryzują się niskim zapotrzebowaniem energii zużywanej przez ogrzewanie (do  $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ). Roczne zapotrzebowanie odpowiada wartości energii powstałej ze spalania  $1,5 \text{ dm}^3$  oleju opałowego,  $1,7 \text{ m}^3$  gazu lub  $2,3 \text{ kg}$  węgla. Obecne standardy budynków sprawiają, iż ich zapotrzebowanie energetyczne wynosi około  $100\text{-}180 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$  (Foit, 2010).

Tab. 1. Klasyfikacja energetyczna budynków (Żurawski, 2011)

Klasa energetyczna	Rodzaj budynku	$E_a$ $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$
A++	Zeroenergetyczny	poniżej 5
A+	Pasywny	5 - 15
A	Nisko energooszczędny	15 - 45
B	Energooszczędny	45 - 80
C	Średnio energooszczędny	80 - 100
D	Średnio energochłonny	100 - 150
E	Energochłonny	150 - 200
F	Wysoko energochłonny	ponad 200

Objaśnienia:  $E_a$  - wartość powierzchniowego wskaźnika zapotrzebowania na ciepło.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: blazej.gaze@upwr.edu.pl

### 3. Założenia projektowe

W celu dokonania obliczeń i symulacji przyjęto następujące założenia projektowe:

- lokalizacja budynku – okolice Wrocławia,
- liczba mieszkańców – 4 osoby,
- powierzchnia – 192 m<sup>2</sup>,
- kubatura – 500 m<sup>3</sup>.

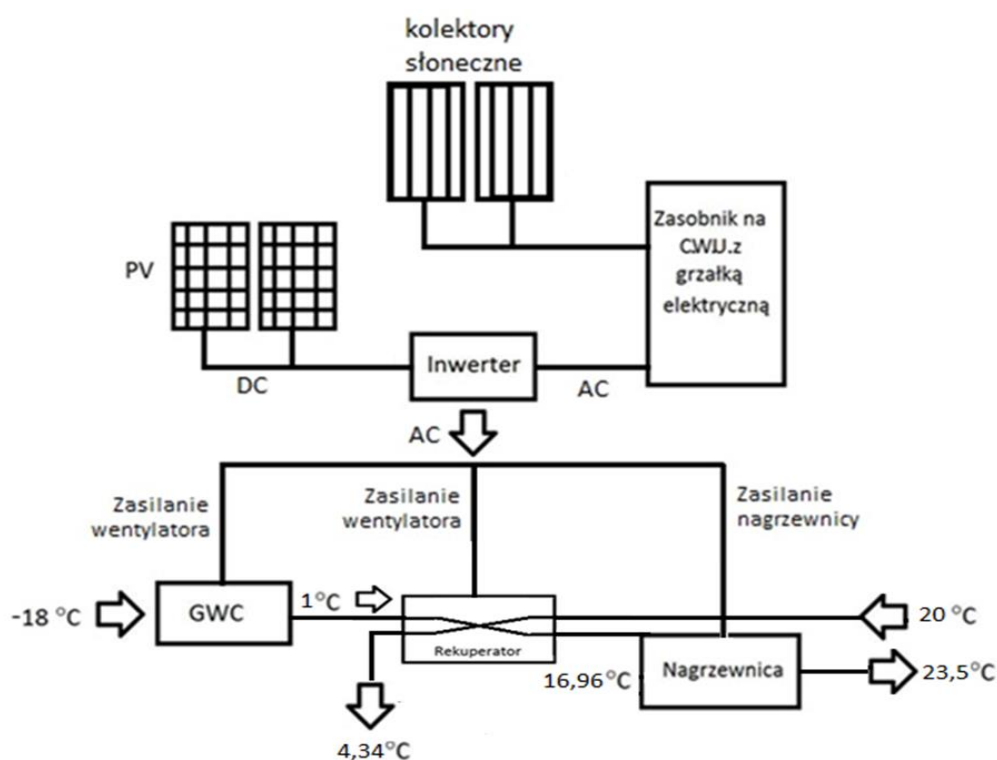
Zapotrzebowanie na energię elektryczną wyznaczono biorąc pod uwagę wszystkie sprzęty AGD i RTV oraz inne urządzenia, oświetlenie i tym podobne, niezbędne do funkcjonowania współczesnego domu jednorodzinnego. Do obliczeń przyjęto cenę za 1 kWh energii elektrycznej w wysokości  $Z = 0,65$  PLN. Całkowite zapotrzebowanie gospodarstwa domowego na energię elektryczną wyniosło 4 422 kWh·rok<sup>-1</sup>.

### 4. Charakterystyka trzech proponowanych wariantów budynków

#### 4.1. Wariant I-budynek zeroemisyjny

W proponowanym rozwiązaniu zastosowano mechaniczną

wentylację. Pierwszym elementem układu jest gruntowy wymiennik ciepła, którego zadaniem jest wstępne podgrzanie powietrza. W kolejnym etapie, powietrze przepływa do rekuperatora i nagrzewnicy elektrycznej, gdzie jego parametry temperaturowe zostają doprowadzone do wartości wymaganych przez użytkownika. Następnie, powietrze kanałami wentylacyjnymi rozprowadzane jest do odpowiednich pomieszczeń w budynku. Ciepła woda użytkowa zapewniona zostanie przez system kolektorów słonecznych, których zadaniem będzie podgrzewanie wody w buforze ciepła. Z kolei, zainstalowane na dachu panele PV pokrywają całkowicie zapotrzebowanie na energię elektryczną danego wariantu budynku, w którego skład wchodzi zapotrzebowanie na prąd urządzeń RTV i AGD, oświetlenia, wentylacji, instalacji przygotowania c.w.u. (grzałka elektryczna wspomagająca prace kolektorów w pochmurne dni). Zeroenergetyczność rozpatrywanego wariantu zależy od odpowiedniej konfiguracji i pracy wszystkich systemów zintegrowanych z centralą sterowniczą (rys. 1). Zadaniem centrali jest regulowanie pracy poszczególnych instalacji w taki sposób, aby utrzymać zadane warunki wewnętrzne budynku na odpowiednim poziomie.



Rys. 1. Schemat wentylacji mechanicznej z rekuperacją oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynku zeroemisyjnego

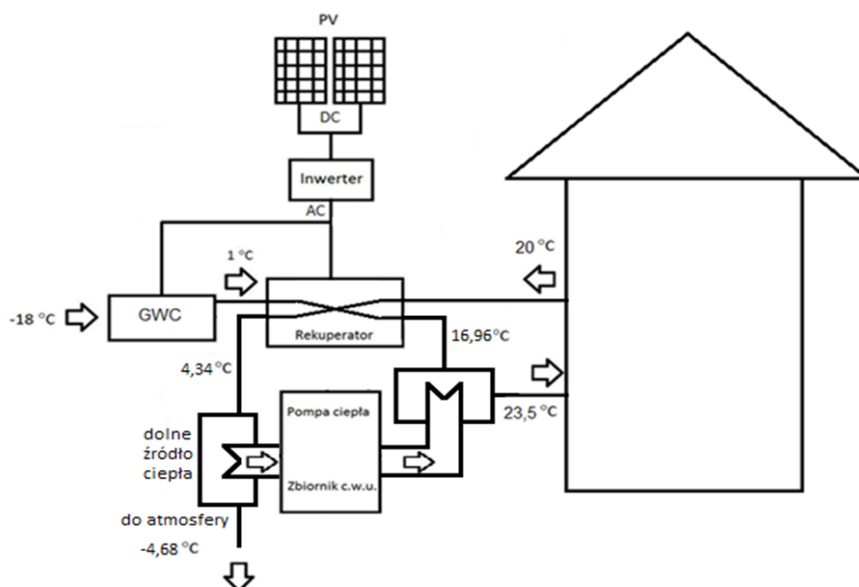
#### 4.2. Wariant II-budynek niskoemisyjny

Budynek niskoemisyjny jest wyposażony w mechaniczną wentylację pomieszczeń. System składa się z GWC, który wstępnie podgrzewa powietrze pobierane z zewnątrz. Rekuperator i nagrzewnica wylotowa zasilana przez powietrzną pompę ciepła zapewnia wymagana temperaturę powietrza, które poprzez kanały wentylacyjne wdmuchiwane jest do pomieszczeń. Dolnym źródłem ciepła dla powietrznej pompy jest zużyte powietrze wyrzucane za rekuperatorem. Dodatkowym zadaniem pompy jest zapewnienie c.w.u. mieszkańcom, która podgrzewana jest w wbudowanym zbiorniku o pojemności 300 dm<sup>3</sup>. W sytuacji, gdy instalacja z różnych przyczyn nie jest w stanie zapewnić odpowiedniej temperatury powietrza i c.w.u. różnice są niwelowane przy pomocy grzałek elektrycznych. W proponowanym rozwiązaniu (rys. 2) wykorzystany jest także system paneli PV, którego zadaniem jest pokrycie zapotrzebowania na energię

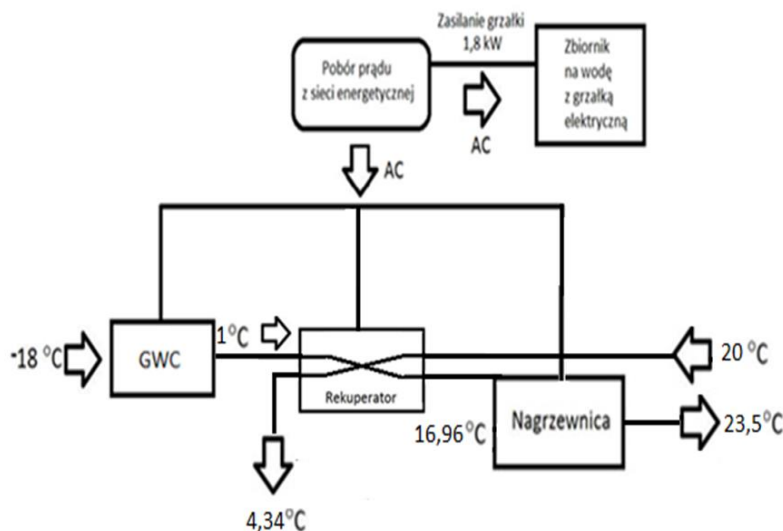
elektryczną wszystkich urządzeń systemu wentylacji z odzyskiem ciepła oraz przygotowania c.w.u. Reszta zapotrzebowania na energię elektryczną pokrywana jest przez energię pobraną z sieci energetycznej.

#### 4.3. Wariant III-budynek wysokoemisyjny

Wariant tego budynku (rys. 3) zakłada zastosowanie mechanicznej wentylacji, która współpracuje z GWC, jako wstępnym podgrzewaczem powietrza zewnętrznego. Kolejno, powietrze kierowane jest do rekuperatora, a następnie do nagrzewnicy elektrycznej celem dogrzania do zadanej temperatury. Ciepła woda użytkowa podgrzewana jest w zbiorniku przy pomocy grzałki elektrycznej. Całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną instalacji grzewczych, przygotowania c.w.u., jak i innych urządzeń (AGD, RTV i oświetlenia) pokrywana jest z sieci energetycznej. Wariant ten wykorzystuje najprostsze rozwiązania.



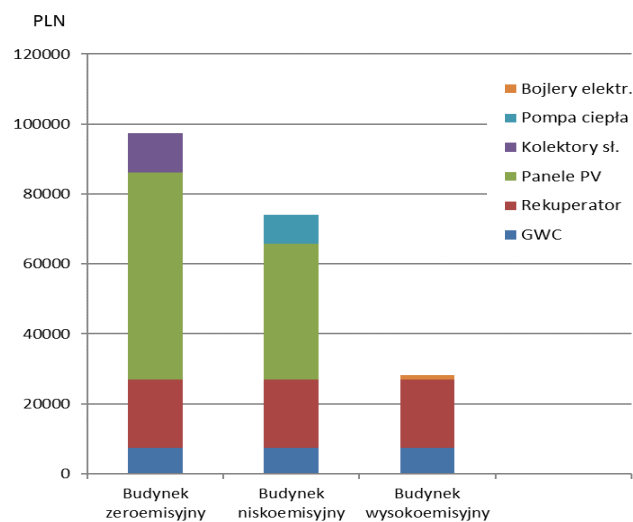
Rys. 2. Schemat instalacji wentylacji mechanicznej z rekuperacją, przygotowania c.w.u. oraz paneli PV



Rys. 3. Schemat instalacji GWC, rekuperatora i przygotowania ciepłej wody użytkowej

## 5. Kosztorys instalacji energetycznych dla trzech wariantów budynków

Koszty poszczególnych instalacji (rys. 4) zależą głównie od ich złożoności oraz urządzeń, z których są zbudowane. Wycena rozpatrywanych instalacji została przeprowadzona w oparciu o oferty rynkowe i rozmowy z przedstawicielami handlowymi. W kosztorysie wariantów uwzględniono także cenę montażu danych systemów oraz koszty eksploatacyjne.



Rys. 4. Koszt urządzeń oraz montażu poszczególnych elementów w omawianych budynkach

Najbardziej kosztownym wariantem jest budynek zeroemisyjny. Jest to wariant posiadający największą ilość urządzeń wchodzących w skład układu ogrzewania i przygotowania c.w.u. Największy koszt został poniesiony na instalację paneli PV, które pokrywają w całości zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną. Koszt wykonania instalacji dla tego wariantu wynosi 97 000 PLN. Budynek ten jest jednak samowystarczalny energetycznie.

Drugim, tańszym rozwiązaniem jest wariant budynku niskoemisyjnego, w którym zastosowano układ ogrzewania powietrza wykorzystującego GWC, rekuperator i pompę ciepła. Instalacja paneli fotowoltaicznych zapewnia pokrycie zapotrzebowania na energię wyłącznie instalacji ogrzewania i przygotowania c.w.u. Reszta zapotrzebowania pokrywana jest przez energię elektryczną pobieraną z sieci. Wariant w pewnym stopniu zależny od zewnętrznych źródeł zasilania. Koszt wykonania instalacji dla tego budynku wynosi 73 000 PLN.

Ostatnim i najtańszym wariantem jest budynek energochłonny, którego instalacja grzewcza i przygotowania c.w.u. jest najmniej skomplikowana. Wszystkie rozwiązania (na przykład bojler elektryczny) są dużo tańsze w porównaniu z urządzeniami zastosowanymi w dwóch poprzednich wariantach. Budynek ten jest jednak w całości uzależniony od energii pobieranej z sieci energetycznej. Wykonanie instalacji proponowanej w tym wariantcie wynosi 28 000 PLN.

## 6. Aspekt środowiskowy trzech rozpatrywanych wariantów budynków

Redukcja szkodliwych substancji dla środowiska powstałych podczas procesów spalania, to jest CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i pyłów wiąże się ściśle z efektywnością energetyczną budynków. Najbardziej rozpowszechnionym problemem klimatycznym w Europie, jak i w Polsce jest emisja CO<sub>2</sub>. Unia Europejska dąży do obniżenia emisji CO<sub>2</sub> o 40% do 2030 roku. Aby osiągnąć taki rezultat niezbędne jest zwiększenie efektywności energetycznej budynków i wzrost udziału OZE w sektorze wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Zastosowanie instalacji energetycznych z udziałem odnawialnych źródeł energii w budynkach pozwala znacząco zmniejszyć emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery ([www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)).

Na podstawie wartości zapotrzebowania na energię elektryczną poszczególnych wariantów obliczono emisję dla wszystkich szkodliwych substancji przy poborze energii elektrycznej z sieci. W Polsce, energetyka zawodowa oparta jest głównie o spalanie węgla. Stąd, wykorzystane w pracy wskaźniki dotyczą emisji pochodzącej ze spalania tego rodzaju paliwa. Wszystkie obliczenia wykonano na podstawie wzoru (1), a wykorzystywane przy obliczeniach współczynniki emisji (tab. 2) pochodzą z aktualnych danych Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE, 2015).

Tab. 2. Wskaźniki emisyjności szkodliwych substancji do powietrza (KOBiZE, 2015)

Wskaźniki emisji dla energii elektrycznej u odbiorców końcowych (KOBiZE, 2015)	
Emitowany związek	Wielkość emisji [kg·kWh <sup>-1</sup> ]
CO <sub>2</sub>	0,823
SO <sub>2</sub>	0,00157
NO <sub>x</sub>	0,00104
CO	0,000233
Pyły	0,0000638

Emisję szkodliwych substancji obliczono na podstawie wzoru:

$$E_{z_i} = W_e \cdot E_n \quad (1)$$

gdzie:  $E_{z_i}$  jest emisją wybranego zanieczyszczenia – CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pyłów – w kg·rok<sup>-1</sup>,  $W_e$  jest wskaźnikiem emisji (przyjęty według danych KOBiZE (2015), tab. 4) w kg CO<sub>2</sub>·kWh<sup>-1</sup>, natomiast  $E_n$  jest zużyciem energii elektrycznej przez budynek w kWh·rok<sup>-1</sup>.

## 7. Wyznaczenie emisji dla poszczególnych typów budynków:

W wariantcie I – budynku zeroemisyjnego zastosowano rozbudowany system energetyczny, który składa się z gruntowego wymiennika ciepła, wentylacji

mechanicznej z odzyskiem ciepła, kolektorów słonecznych oraz paneli PV. Zastosowanie wyżej wymienionych instalacji pozwoliło pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną mieszkańców oraz systemów energetycznych, ogrzewanie/klimatyzację oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną wyniosło 11 449 kWh·rok<sup>-1</sup> i zostało w całości pokryte energią wyprodukowaną przez panele fotowoltaiczne. W ten sposób nie odnotowano emisji szkodliwych substancji oraz kosztów związanych z zakupem energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej.

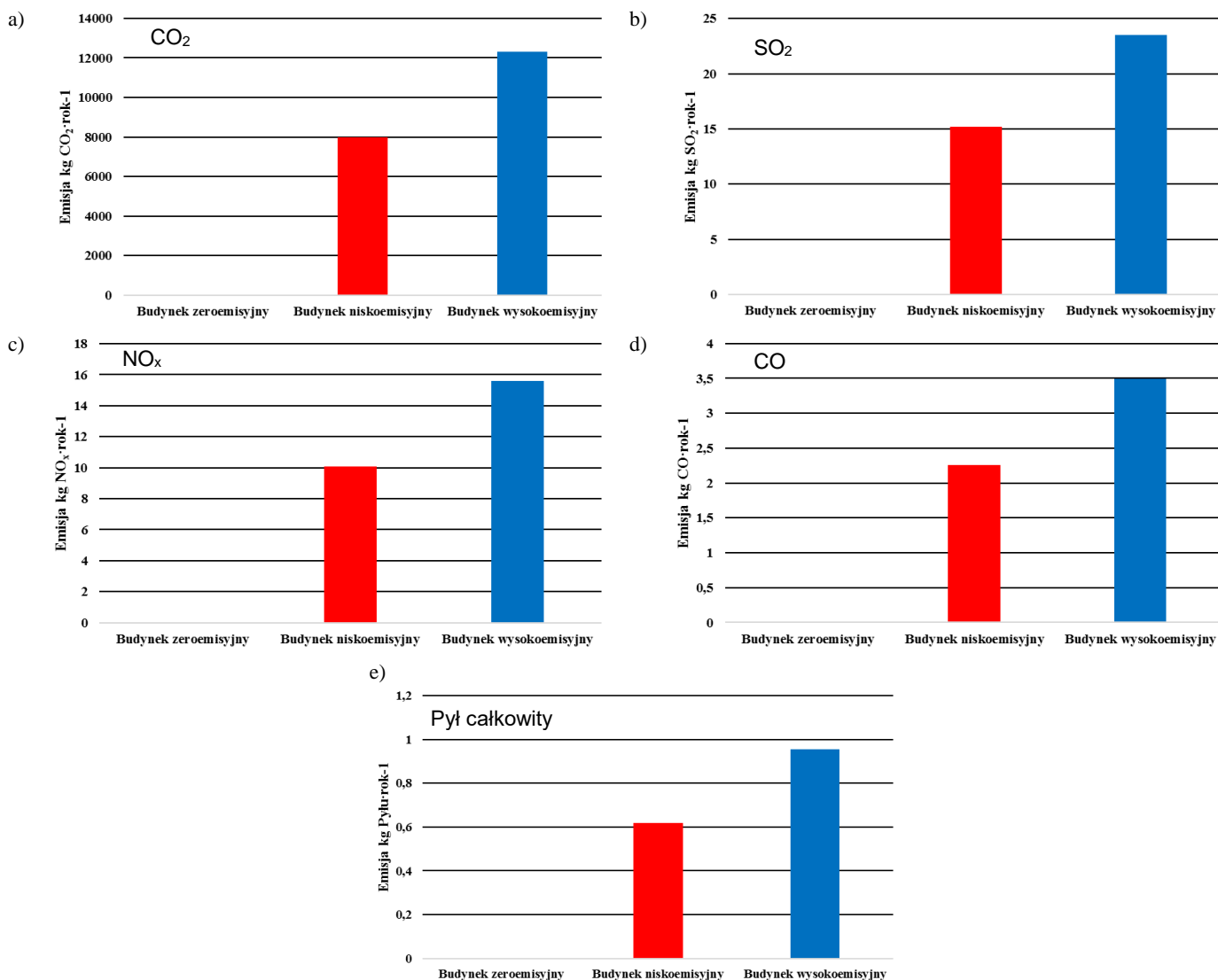
Wielkość emisji dla poszczególnych wariantów zależy od zużycia energii elektrycznej przez dany budynek oraz stopnia pokrycia zapotrzebowania ze źródeł odnawialnych.

W wariantcie II zastosowano mniej skomplikowany system energetyczny, którego zapotrzebowanie na energię elektryczną zostało częściowo pokryte przez panele PV.

Zapotrzebowanie budynku wynikające z bytowania mieszkańców (sprzęt RTV, AGD i oświetlenie) pokrywane jest z sieci energetycznej. Jest to wariant o umiarkowanej emisji szkodliwych substancji i średnich kosztach poniesionych z tytułu pobierania energii elektrycznej w wysokości 9 682 kWh·rok<sup>-1</sup> z sieci.

Ostatni wariant cechuje się zużyciem energii na poziomie 14 979 kWh·rok<sup>-1</sup>. Wszelkie użyte w tym budynku urządzenia pobierają prąd z zewnętrznej sieci energetycznej, co powoduje zwiększoną emisję szkodliwych substancji. Rozwiązanie to charakteryzujące się prostą budową jednak w największym stopniu jest niekorzystne dla środowiska. Również koszt eksploatacji jest najwyższy ze wszystkich rozpatrywanych wariantów.

Wyniki obliczeń (rys. 5a-e) dotyczące emisji dla poszczególnych wariantów zależą od zużycia energii elektrycznej przez dany budynek oraz stopnia pokrycia zapotrzebowania ze źródeł odnawialnych.



Rys. 5. Roczne emisje obliczone dla poszczególnych budynków: a) CO<sub>2</sub>, b) SO<sub>2</sub>, c) NO<sub>x</sub>, d) CO, e) pyłu całkowitego



## 8. Zwrot inwestycji w perspektywie 25 lat eksploatacji

Aspekt zwrotu kosztów (rys. 6) poniesionych na zakup i wykonanie instalacji jest jednym z głównych czynników, który wpływa na podjęcie decyzji, co do wybrania odpowiedniego wariantu przez inwestora. Do obliczeń dodano również koszty eksploatacyjne poniesione z tytułu funkcjonowania danej instalacji. Według wytycznych projektowych okres analizy został wyznaczony na 25 lat, co stanowi średni okres projektowy żywotności tego rodzaju rozwiązań technicznych.

Z przeprowadzonej symulacji wynika, że najdroższy w fazie inwestycji wariant zeroemisyjny jest najtańszy w eksploatacji. Zwrot inwestycji nastąpi po 15 latach od zakupu. Spowodowane jest to oszczędnościami, które powstają w wyniku uzyskania samowystarczalności energetycznej. Brak kosztów ponoszonych z tytułu zakupu energii z sieci generuje oszczędności. Ponadto, w przypadku nadprodukcji energii elektrycznej, może być ona odsprzedana do sieci energetycznej generując dodatkowe przychody pieniężne. Po około 7 latach od daty zakupu instalacji wariant I oraz wariant II uzyskują sumaryczne koszty na podobnym poziomie, to jest około 50 000 PLN.

Dla wariantu II (budynek niskoemisyjny) zwrot poniesionych nakładów początkowych osiągnięty zostanie dopiero pod koniec okresu eksploatacyjnego, czyli po 25 latach. Jest to spowodowane mniejszymi oszczędnościami związanymi z częściowym pokryciem zapotrzebowania na energię elektryczną przez panele PV. Większość kosztów eksploatacyjnych pochodzi z zakupu energii pobranej z sieci wykorzystanej do pokrycia reszty zapotrzebowania budynku. Po 13 latach od daty zakupu, koszty ponoszone na potrzeby wariantu II i III wyrównują się, osiągając wartość około 38 000 PLN.

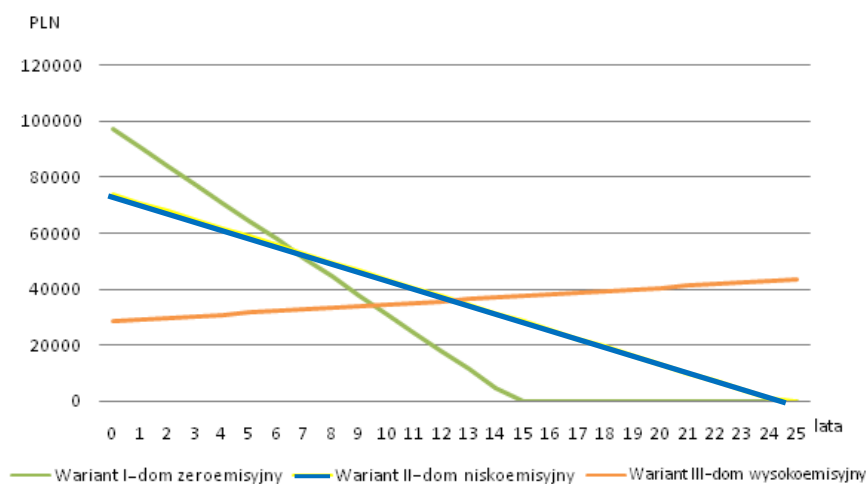
Budynek energochłonny nie generował żadnych oszczędności, gdyż całe zapotrzebowanie na energię było pokrywane z sieci. Na podstawie przeprowadzonej symulacji, zauważono, że w 10-tym roku zwrotu inwestycyjnego, koszt budynku zeroemisyjnego i wysokoemisyjnego będzie na tym samym poziomie.

Podsumowując, w krótkim okresie czasu korzystnym

rozwiązaniem jest wariant III z uwagi na niskie koszty inwestycyjne. Biorąc jednak pod uwagę wieloletnią eksploatację, najbardziej opłacalna staje się instalacja wariantu I (budynek zeroemisyjny), ze względu na generowane oszczędności i niezależność energetyczną. Mimo wysokich kosztów początkowych, zwrot inwestycji nastąpi najszybciej. Uwzględniając prawdopodobny stopniowy wzrost cen energii elektrycznej w przyszłości, pierwszy wariant staje się najatrakcyjniejszy pod względem ekonomicznym w perspektywie długoterminowej.

## 9. Podsumowanie

Wybór rozwiązania zależy głównie od świadomości ekologicznej i możliwości finansowych inwestorów. Potwierdzono, że pod względem ekologicznym, jak i również ekonomicznym najbardziej korzystny jest budynek zeroemisyjny (brak emisji oraz zwrot kosztów po upływie 15 lat). Ważnym jest jednak uświadomienie i przekonanie inwestorów do rozpatrywania pewnych kwestii w dłuższej perspektywie czasu. Należy podkreślić fakt, że wybór poszczególnego wariantu przez inwestora pomnożony przez liczbę nowobudowanych budynków może znacząco wpływać na jakość środowiska. Wykorzystanie systemów OZE w budownictwie powoduje obniżenie bądź całkowite uniezależnienie od energetyki konwencjonalnej, co ma duże znaczenie dla ochrony klimatu. Istnieją możliwości pośrednie, takie jak wariant II – niskoemisyjny (emisja na poziomie 8 000 kg CO<sub>2</sub>·rok<sup>-1</sup> oraz okres zwrotu inwestycji 25 lat), w którym zastosowane systemy OZE pokrywają w pewnym zakresie potrzeby energetyczne. Rozwiązanie to wymaga jednak ponoszenia dodatkowych kosztów eksploatacyjnych. Wariant III-budynek wysoko emisyjny wypada negatywnie pod względem ekonomicznym i środowiskowym (emisja 12 327 kg CO<sub>2</sub>·rok<sup>-1</sup>, okres zwrotu inwestycji przekraczający czas eksploatacji instalacji). Nowoczesne budownictwo domów jednorodzinnych będzie się więc opierało o pierwsze dwa warianty, które są korzystne dla użytkownika i środowiska naturalnego.



Rys. 6. Zwrot inwestycji w perspektywie 25 lat

## Literatura

- Foit H. (2010). Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (2015). Wskaźniki emisyjności dla energii elektrycznej u odbiorców końcowych. *Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami*, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 201 z 2008 r., poz. 1238.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2013 poz. 926.
- Żurawski J. (2011). Kiedy energooszczędność jest opłacalna? <http://www.izolacje.com.pl/arttykul/id944,kiedy-energooszczednosc-jest-oplacalna?p=2>, dostęp 20.02.2016.
- [www.instsani.pl/PV7.htm](http://www.instsani.pl/PV7.htm), dostęp 22.06.2016.

## ANALYSIS OF ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SOLUTIONS OF HEATING SYSTEMS OF SINGLE-FAMILY BUILDING IN THE PERSPECTIVE OF LEGISLATIVE CHANGES

**Abstract:** In Poland on 1 January 2017 a new legal regulation relating to the technical conditions for new buildings has begun to be obligatory. The paper aim is to analyze buildings designed according to old and new regulations. The study examined examples of three variants of solution of the heating system, domestic hot water and a source of electricity for a typical single-family home. The economic and environmental effects of presented solutions were compared. A simple payback period was determined for each solutions. The advantages and disadvantages of each solution were discussed.