

SEBASTIAN PATER, JANUSZ MAGIERA\*

## OCENA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ BUDYNKU MIESZKALNEGO PRZY WYKORZYSTANIU DWÓCH NIEZALEŻNYCH PROGRAMÓW OBLICZENIOWYCH

---

### ASSESSMENT OF THE ENERGY DEMAND OF A RESIDENTIAL BUILDING USING TWO INDEPENDENT COMPUTATIONAL PROGRAMS

---

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę oraz wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło dla ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej budynku mieszkalnego. Obliczenia wykonano w dwóch niezależnych programach, zwracając szczególną uwagę na składowe zysków i strat energii wpływających na bilans cieplny budynku.

*Słowa kluczowe: energochłonność, bilans cieplny, zapotrzebowanie na energię*

#### Abstract

The paper presents method of and results of calculations the heat demand for heating and domestic hot water preparation residential building. The calculations was performed in two independent programs with particular attention to components of energy gains and losses affecting on building energy balance.

*Keywords: energy consumption, heat balance, energy demand*

---

\* Mgr inż. Sebastian Pater, prof. dr hab. inż. Janusz Magiera, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

**Oznaczenia:**

- c.o. – centralne ogrzewanie  
 c.w.u. – ciepła woda użytkowa  
 $E_A$  – powierzchniowy wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku  
 $E_V$  – kubaturowy wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku  
 $EP$  – wskaźnik rocznego, powierzchniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia budynku

**1. Wstęp**

Inwestor budując dom, który jest z pewnością inwestycją na długie lata, myśli o tym, aby był on funkcjonalny, architektonicznie akceptowalny, a przede wszystkim ekonomiczny w eksploatacji. Tendencje do ograniczania ilości energii zużywanej na zapewnienie odpowiedniego bilansu cieplnego w budynku są konsekwencją ciągle rosnących cen jej nośników [1]. Z analiz ogólnych i sektorowych wynika, że w krajach Unii Europejskiej zapotrzebowanie na energię od roku 1986 wzrasta obecnie na poziomie 1–2% rocznie [2], a sektor budownictwa i gospodarki komunalnej należy do największych konsumentów energii, odpowiadając za ponad 40% zużycie energii pierwotnej, z czego około 70% przypada na budynki mieszkalne, a około 30% na budynki użyteczności publicznej [3]. W Polsce do roku 2005 gospodarstwa domowe odpowiadały za około 1/3 całkowitego finalnego zużycia energii, a struktura zużycia kształtowała się następująco:

- około 70% na ogrzewanie pomieszczeń,
- około 15% na przygotowanie c.w.u.,
- około 3% na oświetlenie pomieszczeń,
- około 12% na inne potrzeby [4].

Wszystko wskazuje na to, że w niedalekiej przyszłości budynki energochłonne będą inwestycyjnie tańsze, ale droższe w utrzymaniu, natomiast budynki energooszczędne uzyskają większą wartość rynkową przy jednocześnie niższych kosztach użytkowania.

Szereg czynników wpływa na energochłonność budynku. Najważniejsze z nich [5] to:

- parametry środowiska zewnętrznego (klimat, sąsiedztwo budynku),
- architektura budynku (usytuowanie budynku względem stron świata, powierzchnia przegród przezroczystych, rozmieszczenie pomieszczeń, geometria budynku),
- rozwiązania konstrukcyjne oraz izolacyjność przegród budowlanych,
- rodzaj wentylacji (naturalna, czy mechaniczna z rekuperacją),
- rodzaj i sprawność systemu grzewczego na potrzeby c.o. i c.w.u.,
- system zarządzania budynkiem.

**1.1. Kryteria oceny energochłonności budynku**

Podstawowym kryterium oceny energochłonności budynku mieszkalnego jest określenie wartości współczynnika  $E_A$ , to jest sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, odniesionego do powierzchni ogrzewanej, wyrażanego w kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Dużą zaletą tego

wskaźnika jest łatwość wykorzystania zawartej w nim informacji. Znając jednostkową cenę ciepła uzyskiwaną w kotłowni powierzchnię mieszkania oraz  $E_A$ , można określić roczne koszty ogrzewania budynku. Niestety wskaźnik ten może dawać bardzo zawyżone wyniki w przypadku budynków, w których kolejne kondygnacje mają dużą wysokość [5]. Posługując się tym wskaźnikiem, Stowarzyszenie na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju stworzyło klasyfikację energetyczną budynków [5] przedstawioną w tabeli 1.

Tabela 1

**Klasyfikacja energetyczna budynków  
według Stowarzyszenia na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju [5]**

| Klasa energetyczna | Ocena energetyczna  | Wskaźnik $E_A$<br>[kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)] | Okres budowy |
|--------------------|---|---|--------------|
| A+                 | Pasywny   | do 15   | aktualnie    |
| A                  | Niskoenergetyczny   | od 15 do 45                                   |              |
| B                  | Energooszczędny   | od 45 do 80                                   |              |
| C                  | Średnio energooszczędny                                       | od 80 do 100                                  |              |
| D                  | Średnio energochłonny (spełniający aktualne wymagania prawne) | od 100 do 150                                 | od 1999 r.   |
| E                  | Energochłonny   | od 150 do 250                                 | do 1998 r.   |
| F                  | Wysoko energochłonny  | ponad 250                                     | do 1982 r.   |

Energochłonność budynku można również określić, posługując się wskaźnikiem  $E_V$ , czyli kubaturowym wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło, wyrażanym w kWh/(m<sup>3</sup>·rok). Wartości maksymalne tego wskaźnika określone są w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [6].

Głównie w celach marketingowych przyjęło się podawanie obliczeniowego zapotrzebowania na olej opałowy do ogrzania 1 m<sup>2</sup> powierzchni budynku w ciągu roku. W Niemczech uznano za energooszczędny budynek, który potrzebuje tylko 3 l oleju na 1 m<sup>2</sup> powierzchni ogrzewanej w ciągu roku [5]. Potocznie nazwano go „budynkiem trzylitrowym”. W nowobudowanych obiektach w Polsce obecnie zużywa się ok. 15 l oleju/(m<sup>2</sup>·rok) [5].

Wprowadzony w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku wskaźnik  $EP$  kWh/(m<sup>2</sup>·rok) określa roczne, przypadające na jednostkę powierzchni budynku obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia (jeśli taki system został zastosowany) [7]. Tak więc w odróżnieniu od wyżej wymienionych wskaźników  $EP$  obejmuje szerszy zakres wydatków energetycznych budynku, a tym samym w pełniejszy sposób określa jego energochłonność.

## 1.2. Budynki użyteczności publicznej

Według rozporządzenia Ministra Infrastruktury [7] budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do jego użytkowania, zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie

niskim poziomie, a w lecie ograniczyć ryzyko przegrzewania. Te wymagania spełnione są m.in. jeżeli budynek użyteczności publicznej ma wskaźnik  $EP$  ( $EP_{HC+W+L}$ ) mniejszy od obliczonego (według [7]) ze wzoru:

$$EP_{HC+W+L} = EP_{H+W} + (10 + 60 \cdot A_{w,e}/A_f) (1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (1)$$

gdzie:

- $A$  – suma pól powierzchni wszystkich przegród budynku, oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczona po obrysie zewnętrznym,  $\text{m}^2$ ,
- $A_f$  – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu),  $\text{m}^2$ ,
- $A_{f,c}$  – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku (lokalu),  $\text{m}^2$ ,
- $A_{w,e}$  – powierzchnia ścian zewnętrznych budynku, liczona po obrysie zewnętrznym,  $\text{m}^2$ ,
- $EP_{H+W}$  – wartość rocznego EP w budynku mieszkalnym,  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ , wzory 2–5,
- $\Delta EP$  – dodatek na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku,  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ ,
- $V_e$  – kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym,  $\text{m}^3$ .

### 1.3. Budynki mieszkalne

Podobnie jak w przypadku budynków użyteczności publicznej budynki mieszkalne muszą spełniać kryteria określone przez Ministra Infrastruktury, a więc posiadać m.in. wskaźnik  $EP$  ( $EP_{H+W}$ ) mniejszy od obliczonego (według [7]) ze wzorów 2–4:

$$A/V_e \leq 0,2 \rightarrow EP_{H+W} = 73 + \Delta EP \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (2)$$

$$0,2 \leq A/V_e \leq 1,05 \rightarrow EP_{H+W} = 55 + 90 \cdot (A/V_e) + \Delta EP \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (3)$$

$$A/V_e \geq 1,05 \rightarrow EP_{H+W} = 149,5 + \Delta EP \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (4)$$

a w przypadku budynku dodatkowo wyposażonego w system chłodzenia:

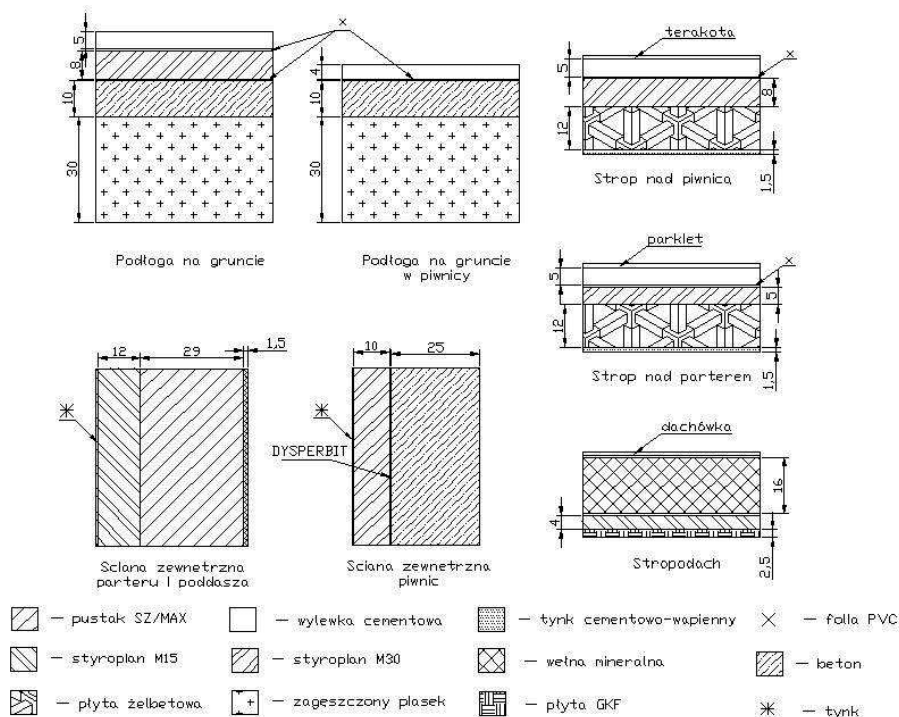
$$EP_{HC+W} = EP_{H+W} + (5 + 15 \cdot A_{w,e}/A_f) (1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (5)$$

Wbrew pozorom narzucone minimalne wymagania prawne w zakresie energochłonności nie oznaczają, że nowo wybudowany budynek mieszkalny będzie automatycznie energooszczędny [8]. W Polsce średnio oddaje się do użytku kilkadziesiąt tysięcy budynków rocznie zużywających 3–8 razy więcej energii niż trzeba [9]. Niskie wymagania ufundowane przez nieracjonalne przepisy prawne to efekt niedoceniań znaczenia efektywności energetycznej budynków jako dobrej inwestycji, zarówno dla gospodarki państwa, jak i użytkowników [9].

## 2. Analiza zapotrzebowania na energię rozpatrywanego budynku

Przedmiotowy dom zlokalizowany, w miejscowości Lewniowa, położonej około 16 km na południe od Brzeska (woj. małopolskie). Jest budynkiem mieszkalnym o powierzchni netto 186 m<sup>2</sup>, jednorodzinny, parterowy z poddaszem użytkowym i częściowym podpiwniczeniem oraz garażem z boku domu w formie dobudówki. Dom ustawiony jest prawie zgodnie z kierunkami świata (skierowany około 18° na południowy-zachód), przykryty dachem dwuspadowym skierowanym na północ i na południe. W budynku zastosowano wentylację naturalną. Obecnie zamieszkiwany jest przez 5 osób, w tym trójkę dzieci.

Stropodach budynku ocieplono warstwą wełny mineralnej grubości 16 cm oraz styropianu grubości 4 cm układanego pomiędzy rusztem płyt gipsowo-kartonowych. Podłoga na gruncie składa się kolejno z 30-centymetrowej warstwy podsypki na którą wylano 10 cm tzw. chudego betonu, papy na lepiku, folii PVC, styropianu M30 o grubości 8 cm, folii PVC i wylewki cementowej. Ściany zewnętrzne piwnic wykonano z betonu o grubości 25 cm oraz ocieplono styropianem M30 o grubości 10 cm. Ściany zewnętrzne parteru i poddasza zbudowano z bloczków ceramicznych SZ/MAX-220 grubości 29 cm oraz ocieplono styropianem M15 o grubości 12 cm. Stropy oraz wieńce są monolityczne, żelbetowe, dodatkowo ocieplone warstwą styropianu M30 o grubości 8 cm dla stropu nad piwnicą oraz 5 cm dla stropu nad parterem. Wyżej opisane przegrody budowlane przedstawiono schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Przegląd najważniejszych przegród budowlanych budynku

Fig. 1. Overview of the major building partitions

## 2.1. Roczne zapotrzebowanie na ciepło dla c.o. obliczone w programie Audytor OZC

Program Audytor OZC w wersji 4.8 Pro służy do wspomagania obliczania projektowego obciążenia cieplnego budynków, określania ich sezonowego zapotrzebowania na energię cieplną do ogrzania oraz wykonywania Świadectw Energetycznych budynków i ich poszczególnych części [10].

W tabeli 2 przedstawiono raport wygenerowany przez program Audytor OZC. Oprócz podstawowych danych oraz parametrów obliczeń z tabeli 2 można odczytać informacje na temat wentylacji, zysków ciepła, geometrii budynku, itp.

W rozpatrywanym budynku projektowe obciążenie cieplne wynosi 7961 W. Na taki wynik składają się straty ciepła przez przenikanie – 5180 W (65,1%) oraz wentylację – 2844 W (34,9%). Wartości strat ciepła zostały wyliczone przy założeniu skrajnie niekorzystnych warunków atmosferycznych, czyli dla temperatury  $-20^{\circ}\text{C}$ . Wskaźnik strat ciepła odniesiony do powierzchni netto budynku wynosi  $43,1 \text{ W/m}^2$ , a dla kubatury:  $12,0 \text{ W/m}^3$ .

Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi  $15\,358 \text{ kWh/rok}$  ( $55,29 \text{ GJ/rok}$ ). Przeliczenie tej wartości na wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło  $E_A$  daje  $83,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$  ( $299,4 \text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$ ), a na  $E_V$  daje  $23,1 \text{ kWh}/(\text{m}^3\cdot\text{rok})$  ( $83,3 \text{ MJ}/(\text{m}^3\cdot\text{rok})$ ). Takie wyniki plasują rozpatrywany budynek w kategorii budynków średnio energooszczędnych (wg [5]).

W sezonie zdecydowanie największe straty ciepła są generowane na skutek podgrzewania powietrza wentylacyjnego ( $35,06 \text{ GJ/rok}$ ) (tabela 3). Niewiele mniejsza ilość energii tracona jest przez przegrody zewnętrzne ( $31,32 \text{ GJ/rok}$ ). W styczniu oraz w grudniu odnotowano największe zapotrzebowanie na energię spośród wszystkich rozpatrywanych miesięcy. Wynika to z tego, że w tych miesiącach oprócz 31 dniowego sezonu grzewczego występują najniższe średnie temperatury zewnętrzne w roku, co wiąże się z większymi stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne oraz większą ilością ciepła, którą trzeba dostarczyć dla powietrza wentylacyjnego. Zyski pochodzące od promieniowania słonecznego ( $38,26 \text{ GJ/rok}$ ) są ponad dwukrotnie większe, niż bytowe zyski ciepła ( $17,47 \text{ GJ/rok}$ ). Razem zyski te mogą pokryć roczne straty ciepła powstałe przez przegrody zewnętrzne i wewnętrzne. Bilans zużycie energii cieplej w sezonie przedstawiono w formie diagramu na rysunku 2.

Przegrody budowlane w analizowanym budynku powodują 65% strat ciepła. Spośród przegród bez wątplenia największe straty energii w ilości  $14,57 \text{ GJ/rok}$  generowane są przez ściany zewnętrzne (tabela 5). Na taki wynik wpływa:

- bardzo duża powierzchnia przegrody ( $174,5 \text{ m}^2$ ), która bezpośrednio kontaktuje się z otoczeniem,
- współczynnik przenikania ciepła wynoszący  $0,282 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , który choć spełnia normy budowlane (wg [7] maksymalna wartość współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych powinna wynosić  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ), wcale nie należy do zbyt wygórowanych. Dla porównania współczynnik przenikania  $U$  dla ścian zewnętrznych w budynkach pasywnych ma wartość  $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  [12].

Sumarycznie okna i drzwi zewnętrzne powodują praktycznie tyle samo strat energii cieplej ( $15,04 \text{ GJ/rok}$ ), co ściany zewnętrzne. W tym przypadku decydującym czynnikiem dla tak dużych strat, pomimo małej powierzchni przegród, okazuje się być wysoki współczynnik przenikania ciepła wynoszący dla okien  $1,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , a dla drzwi zewnętrznych  $1,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Dzięki bardzo dobremu ociepleniu dachu ( $U = 0,178 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) straty energii cieplej są bardzo małe i stanowią zaledwie 2,7 % ogólnych strat ciepła przez przegrody.

## Wyniki obliczeń w programie Audytor OZC w wersji 4.8 Pro

| <b>Normy:</b>  |        |   |              |
|--|--------|---|--------------|
| Norma na obliczanie współczynnika przenikania ciepła:                            |        | PN-EN ISO 6946                            |              |
| Norma na obliczanie projekt. obciążenia cieplnego:                               |        | PN-EN 12831:2006                          |              |
| Norma na obliczanie $E$ :  |        | PN-EN ISO 13790:2009                      |              |
| <b>Dane klimatyczne:</b>   |        |   |              |
| Strefa klimatyczna:  |        | III                                       |              |
| Projektowa temp.zew. $\theta_e$ :  | -20°C  | Średnia roczna temp.zew. $\theta_{m,e}$ : | 7,6°C        |
| Stacja meteorologiczna:  | Tarnów | Stacja aktynometryczna:                   | Święty Krzyż |
| <b>Podstawowe wyniki obliczeń budynku:</b>                                       |        |   |              |
| Powierzchnia ogrzewana budynku $A_h$ :   | 184,7  | [m <sup>2</sup> ]                         |              |
| Kubatura ogrzewana budynku $V_h$ :   | 663,7  | [m <sup>3</sup> ]                         |              |
| Projektowa strata ciepła przez przenikanie $\Phi T$ :                            | 5180   | [W]                                       |              |
| Projektowa wentylacyjna strata ciepła $\Phi V$ :                                 | 2844   | [W]                                       |              |
| Całkowita projektowa strata ciepła $\Phi$ :                                      | 7961   | [W]                                       |              |
| Projektowe obciążenie cieplne budynku $\Phi HL$ :                                | 7961   | [W]                                       |              |
| <b>Wskaźniki i współczynniki strat ciepła:</b>                                   |        |   |              |
| Wskaźnik $\Phi HL$ odniesiony do powierzchni $\phi HL, A$ :                      | 43,1   | [W/m <sup>2</sup> ]                       |              |
| Wskaźnik $\Phi HL$ odniesiony do kubatury $\phi HL, V$ :                         | 12,0   | [W/m <sup>3</sup> ]                       |              |
| <b>Wyniki obliczeń wentylacji:</b>   |        |   |              |
| Powietrze infiltrujące $V_{inv}$ :   | 75,4   | [m <sup>3</sup> /h]                       |              |
| Średnia liczba wymian powietrza $n$ :  | 0,3    |   |              |
| Dopływające powietrze wentylacyjne $V_v$ :                                       | 225,2  | [m <sup>3</sup> /h]                       |              |
| Średnia temperatura dopływającego powietrza $\theta_v$ :                         | -20,0  | [°C]                                      |              |
| <b>Wyniki obliczeń sezonowego zapotrzebowania na energię wg PN-EN ISO 13790:</b> |        |   |              |
| Strumień powietrza wentylacyjnego-ogrzewanie $V_{v,H}$                           | 268,4  | [m <sup>3</sup> /rok]                     |              |
| Zapotrzebowanie na ciepło – ogrzewanie $Q_{H,nd}$ :                              | 55,29  | [GJ/rok]                                  |              |
| Zapotrzebowanie na ciepło – ogrzewanie $Q_{H,nd}$ :                              | 15358  | [kWh/rok]                                 |              |
| Powierzchnia ogrzewana budynku $A_H$   | 185    | [m <sup>2</sup> ]                         |              |
| Kubatura ogrzewana budynku $V_H$   | 663,7  | [m <sup>3</sup> ]                         |              |

|  |                   |   |
|--|-------------------|---|
| Wskaźnik zapotrzebowania – ogrzewanie $EA_{H'}$ :              | 299,4             | [MJ/(m <sup>2</sup> ·rok)]                                |
| Wskaźnik zapotrzebowania – ogrzewanie $EA_{H'}$ :              | 83,2              | [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]                               |
| Wskaźnik zapotrzebowania – ogrzewanie $EV_{H'}$ :              | 83,3              | [MJ/(m <sup>3</sup> ·rok)]                                |
| Wskaźnik zapotrzebowania – ogrzewanie $EV_{H'}$ :              | 23,1              | [kWh/(m <sup>3</sup> ·rok)]                               |
| <b>Parametry obliczeń projektu:</b>                            |                   |   |
| Obliczanie przenikania ciepła przy min. $\Delta\theta_{min}$ : | 4,0               | [K]   |
| Minimalna temperatura dyżurna $\theta_{j,u}$ :                 | 16                | [°C]  |
| <b>Domyślne dane do obliczeń:</b>                              |                   |   |
| Typ budynku:   | Jednorodzinny     |   |
| Typ konstrukcji budynku:                                       | Ciężka            |   |
| Typ systemu ogrzewania w budynku:                              | Konwekcyjne       |   |
| Oslabienie ogrzewania:   | Bez osłabienia    |   |
| Regulacja dostawy ciepła w grupach:                            | Indywidualna reg. |   |
| Stopień szczelności obudowy budynku:                           | Średni            | Klasa osłonięcia budynku: Średnie                         |
| Krotność wymiany powietrza wewnątrz n50:                       | 3,0               | 1/h   |
| <b>Domyślne dane dotyczące wentylacji:</b>                     |                   |   |
| System wentylacji:   | Naturalna         | Temperatura powietrza kompensacyjnego $\theta_c$ : 20,0°C |
| <b>Geometria budynku:</b>                                      |                   |   |
| Rzędna poziomu terenu:   | 0,00              | [m]   |
| Domyślna rzędna podłogi $L_f$ :                                | 0,47              | [m]   |
| Rzędna wody gruntowej:   | -10,00            | [m]   |
| Domyślna wysokość kondygnacji $H$ :                            | 2,90              | [m]   |
| Domyślna wys. pomieszczeń w świetle stropów $H_i$ :            | 2,63              | [m]   |
| Pole powierzchni podłogi na gruncie $A_g$ :                    | 89,45             | [m <sup>2</sup> ]   |
| Obwód podłogi na gruncie w świetle ścian zew.:                 | 41,98             | [m]   |
| Obrót budynku:   | Bez obrotu        |   |
| <b>Statystyka budynku:</b>                                     |                   |   |
| Liczba kondygnacji:  | 3                 | Liczba pomieszczeń: 20                                    |



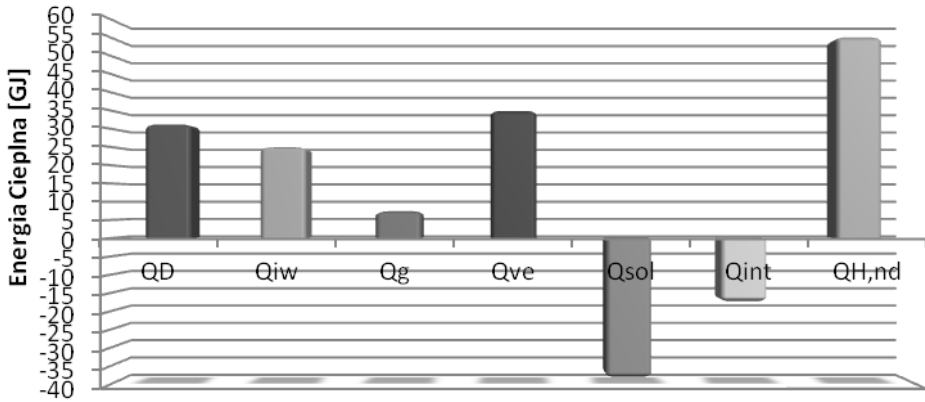
Wyniki bilansu zużycia energii cieplnej w sezonie grzewczym

| Miesiąc          | $L_{d,m}$  | $T_{em,m}$ | $Q_D$        | $Q_{iw}$     | $Q_g$       | $Q_{ve}$     | $\eta_{H,gn}$ | $Q_{sol}$    | $Q_{int}$    | $Q_{H,nd}$   |
|------------------|------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                  | dni        | [°C]       | [GJ/rok]     | [GJ/rok]     | [GJ/rok]    | [GJ/rok]     | [GJ/rok]      | [GJ/rok]     | [GJ/rok]     | [GJ/rok]     |
| Styczeń          | 31         | -0,8       | 5,18         | 0,84         | 0,49        | 5,33         | 0,969         | 1,26         | 1,48         | 9,18         |
| Luty             | 28         | -0,7       | 4,65         | 0,76         | 0,45        | 4,79         | 0,961         | 1,67         | 1,34         | 7,76         |
| Marzec           | 31         | 6,6        | 3,10         | 0,96         | 0,51        | 3,52         | 0,832         | 2,94         | 1,48         | 4,41         |
| Kwiecień         | 30         | 8,4        | 2,60         | 1,10         | 0,50        | 2,98         | 0,659         | 3,81         | 1,44         | 3,72         |
| Maj              | 31         | 14,1       | 1,40         | 2,79         | 0,70        | 1,74         | 0,750         | 5,33         | 1,48         | 1,53         |
| Czerwiec         | 30         | 16,5       | 0,84         | 3,81         | 0,87        | 1,19         | 0,687         | 5,52         | 1,44         | 1,93         |
| Lipiec           | 31         | 17,0       | 0,75         | 4,18         | 0,92        | 1,12         | 0,694         | 5,25         | 1,48         | 2,30         |
| Sierpień         | 31         | 17,6       | 0,62         | 4,47         | 0,97        | 1,00         | 0,683         | 5,07         | 1,48         | 2,57         |
| Wrzesień         | 30         | 14,2       | 1,33         | 2,75         | 0,63        | 1,67         | 0,874         | 3,07         | 1,44         | 2,45         |
| Październik      | 31         | 11,1       | 2,08         | 1,71         | 0,49        | 2,42         | 0,841         | 2,26         | 1,48         | 3,55         |
| Listopad         | 30         | 3,7        | 3,73         | 0,82         | 0,42        | 4,09         | 0,908         | 1,09         | 1,44         | 6,77         |
| Grudzień         | 31         | -0,3       | 5,03         | 0,84         | 0,46        | 5,20         | 0,979         | 0,99         | 1,48         | 9,12         |
| <b>W sezonie</b> | <b>365</b> | <b>9,0</b> | <b>31,32</b> | <b>25,05</b> | <b>7,39</b> | <b>35,06</b> | <b>0,781</b>  | <b>38,26</b> | <b>17,47</b> | <b>55,29</b> |

gdzie:

- $L_{d,m}$  – liczba dni w miesiącu sezonu grzewczego,
- $T_{em,m}$  – średnia temperatura zewnętrzna w miesiącu sezonu grzewczego,
- $Q_D$  – straty energii cieplnej przez przegrody zewnętrzne (ściany, dach, drzwi, itp.),
- $Q_{iw}$  – straty energii cieplnej przez przegrody wewnętrzne (ściany, stropy, okna, drzwi),
- $Q_g$  – straty energii cieplnej przez przegrody przyległe do gruntu (podłogi, ściany),
- $Q_{ve}$  – straty energii wywołane przez powietrze wentylacyjne,
- $\eta_{H,gn}$  – współczynnik wykorzystania zysków ciepła,
- $Q_{sol}$  – zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez zewnętrzne przegrody przezroczyste (okna, świetliki, drzwi),
- $Q_{int}$  – bytowe zyski ciepła (od ludzi, oświetlenia, urządzeń elektrycznych),
- $Q_{H,nd}$  – łączne zapotrzebowanie na energię (energię użytkową) na ogrzewanie.

Dokładne zestawienie strat energii cieplnej przez konkretny element budynku przedstawiono w tabeli 4 oraz na rysunku 3. W analizowanym przypadku ponad 1/3 ciepła tracona jest przez wentylację, a 1/4 przez ściany zewnętrzne i wewnętrzne. Sumarycznie te 3 składowe powodują ponad 60% strat energii cieplnej w rozpatrywanym budynku.



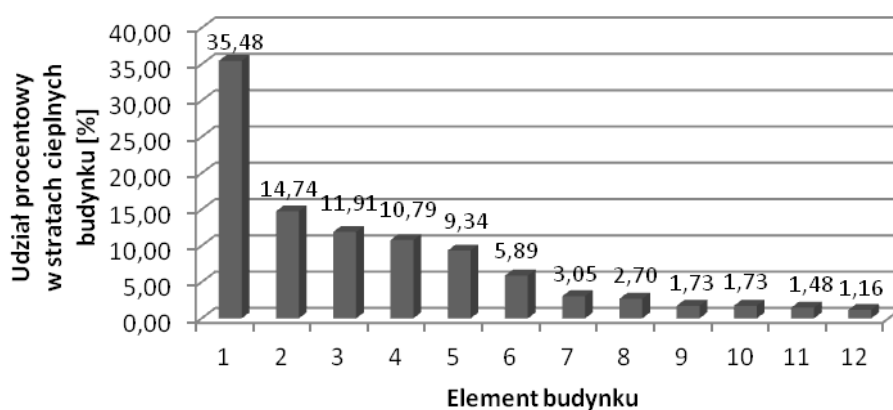
Rys. 2. Bilans zużycia energii cieplnej w sezonie. Oznaczenia jak w tabeli 3

Fig. 2. The balance of thermal energy consumption in season. Symbols like in table 3

Tabela 4

#### Zestawienie strat energii cieplnej budynku

| Opis                                  | GJ/Rok       | [kWh/rok]    |
|---------------------------------------|--------------|--------------|
| Wentylacja (1)                        | 35,06        | 9738         |
| Ściana zewnętrzna (2)                 | 14,57        | 4048         |
| Ściana wewnętrzna (3)                 | 11,77        | 3269         |
| Strop pod nieogrzewanym poddaszem (4) | 10,66        | 2962         |
| Okno (światlik) zewnętrzne (5)        | 9,23         | 2563         |
| Drzwi zewnętrzne (6)                  | 5,82         | 1616         |
| Podłoga w piwnicy (7)                 | 3,01         | 837          |
| Podłoga na gruncie (8)                | 2,67         | 741          |
| Ściana zewnętrzna przy gruncie (9)    | 1,71         | 476          |
| Dach (10)                             | 1,71         | 474          |
| Drzwi wewnętrzne (11)                 | 1,46         | 406          |
| Strop ciepło do góry (12)             | 1,15         | 319          |
| <b>Razem</b>                          | <b>98,82</b> | <b>27450</b> |



Rys. 3. Procentowy udział elementu budynku w jego stratach ciepła. Numery pod osia odciętych oznaczają elementy budynku z tabeli 4

Fig. 3. The percentage share of the building element in its heat losses. Numbers under axis of abscissa means building elements from table 4

Tabela 5

#### Zestawienie przegród budynku

| Rodzaj przegrody                  | $d$   | $U$                   | $U_{MI}$              | $A$               | $Q_T$    | $Q_{proc}$ |
|-----------------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-------------------|----------|------------|
|                                   | [m]   | [W/m <sup>2</sup> ·K] | [W/m <sup>2</sup> ·K] | [m <sup>2</sup> ] | [GJ/rok] | [%]        |
| Ściana zewnętrzna                 | 0,450 | 0,282                 | 0,3                   | 174,5             | 14,57    | 22,9       |
| Strop pod nieogrzewanym poddaszem | 0,246 | 0,166                 | 0,25                  | 56,21             | 10,66    | 16,7       |
| Okno (świetlik) zewnętrzne        | –     | 1,35                  | 1,8                   | 22,08             | 9,23     | 14,5       |
| Ściana wewnętrzna                 | 0,330 | 1,033                 | Bez wymagań           | 44,7              | 6,00     | 9,4        |
| Drzwi zewnętrzne                  | –     | 1,4                   | 2,6                   | 19,32             | 5,81     | 9,2        |
| Ściana wewnętrzna                 | 0,160 | 1,738                 | Bez wymagań           | 116,7             | 5,77     | 9,1        |
| Podłoga w piwnicy                 | 0,472 | 0,307                 | 1,0                   | 42,04             | 3,01     | 4,7        |
| Podłoga na gruncie                | 0,558 | 0,223                 | 1,0                   | 39,11             | 2,67     | 4,2        |
| Dach                              | 0,215 | 0,178                 | 0,25                  | 29,77             | 1,71     | 2,7        |
| Ściana zewnętrzna przy gruncie    | 0,373 | 0,233                 | 0,8                   | 61,24             | 1,71     | 2,7        |
| Drzwi wewnętrzne                  | –     | 2                     | Bez wymagań           | 30,14             | 1,46     | 2,3        |
| Strop nad piwnicą ciepło do góry  | 0,282 | 0,47                  | 0,45                  | 43,53             | 1,10     | 1,6        |
| Strop ciepło do góry              | 0,283 | 0,673                 | Bez wymagań           | 58,66             | 0        | 0          |

gdzie:

- $d$  – grubość przegrody,
- $U$  – współczynnik przenikania ciepła,
- $U_{MI}$  – maksymalna wartość współczynnik przenikania ciepła według rozporządzenia Ministra Infrastruktury [7],
- $A$  – powierzchnia,
- $Q_T$  – straty energii cieplnej przez przenikanie,
- $Q_{proc}$  – procentowy udział strat energii cieplnej.

Z 55,73 GJ/rok zysków ciepła prawie 70% pochodzi od słońca (38,26 GJ/rok). 31,4% zysków (17,47 GJ/rok) jest generowana przez codzienną aktywność 5 mieszkańców budynku, w tym trójkę dzieci oraz wykorzystanie przez nich urządzeń elektrycznych, gazowych itp.

## 2.2. Roczne zapotrzebowanie na ciepło dla c.o. obliczone w programie CASAnova

Drugim programem, który wykorzystano do niezależnej oceny zapotrzebowania na ciepło dla c.o. przedmiotowego budynku był program CASAnova, stworzony w Wydziale Fizyki Budynków i Energii Słonecznej Uniwersytetu w Siegen. Użytkownik może zmienić ponad 20 parametrów, a obliczenia zapotrzebowania na ciepło są przeprowadzane według dzisiaj już nieaktualnej europejskiej normy EN 832 [11].

W tabeli 6 zestawiono wprowadzone podstawowe dane dotyczące geometrii budynku, izolacyjności przegród, klimatu w którym się znajduje oraz innych parametrów.

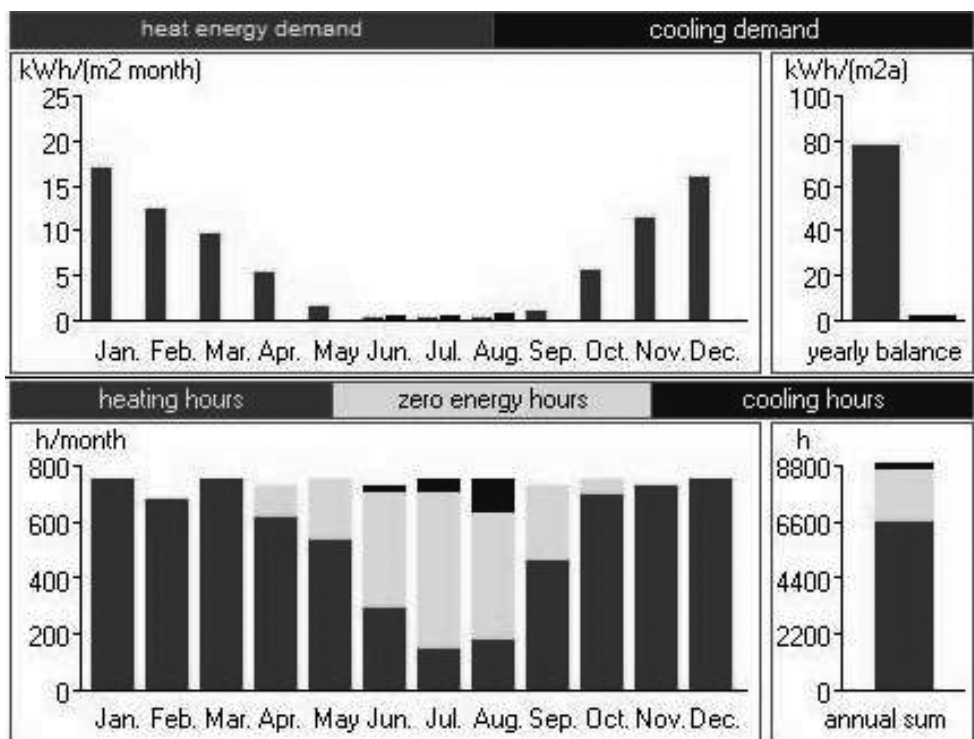
Tabela 6

### Podstawowe dane rozpatrywanego budynku wprowadzone w programie CASAnova 3.3.07

| <b>Geometry</b>                   |                                     |   |                                      |   |                      |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------------|---|----------------------|
| Length of north and south facade: |                                     | 10,1 m  | Length of west and east facade:      |   | 11,6 m               |
| Height (without roof):            | 5,2 m                               | Deviation from south direction (west positive): |                                      |   | 18,0°                |
| Number of floors:                 | 2                                   | Surface-to-volume value:                        |                                      | 0,8 1/m                                     |                      |
| Ground area:                      | 117,2 m <sup>2</sup>                | Useful area:                                    | 187,5 m <sup>2</sup>                 | Volume total:                               | 609,2 m <sup>3</sup> |
| Facade north resp. south:         |                                     | 52,5 m <sup>2</sup>                             |                                      | Facade east resp. west: 60,3 m <sup>2</sup> |                      |
| <b>Insulation</b>                 |                                     |   |                                      |   |                      |
| U values of the walls:            |                                     | 0,28 W/(m <sup>2</sup> K)                       | Absorption coefficient of the walls: |   | 0,50                 |
| Upper floor:                      | totally insulated roof              |   | U value:                             | 0,18 W/(m <sup>2</sup> K)                   |                      |
| Lower floor:                      | non-heated cellar (with insulation) |   | U value:                             | 0,22 W/(m <sup>2</sup> K)                   |                      |
| Door (north facade):              | Area:                               | 2,0 m <sup>2</sup>                              | U value:                             | 2,00 W/(m <sup>2</sup> K)                   |                      |
| Wärmebrücken:                     |                                     |   | ignore heat bridges                  |   |                      |
| <b>Building</b>                   |                                     |   |                                      |   |                      |

|                                     |                    |                         |                    |                 |                             |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|
| Interior temp.:                     | 20,0°C             | Limit of overheating:   | 27,0°C             | Internal gains: | 25,0 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Natural ventilation (infiltration): | 3,0 l/h            | Mechanical ventilation: | no                 |                 |                             |
| Kind of indoor walls:               | heavy construction | Kind of outdoor walls:  | heavy construction |                 |                             |
| <b>Climate</b>                      |                    |                         |                    |                 |                             |
| Climate station:                    | Kraków (Polska)    |                         |                    |                 |                             |

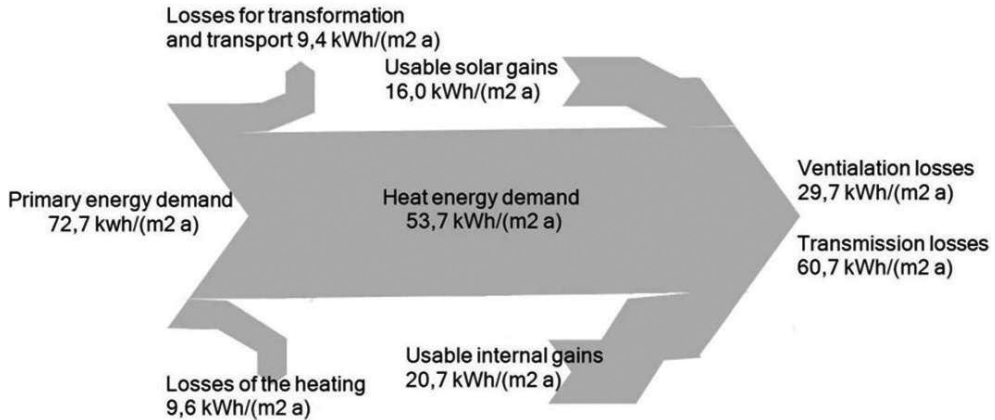
Na rysunku 4 przedstawiono zapotrzebowanie na energię ciepłą w przeliczeniu na kWh/m<sup>2</sup> dla poszczególnych miesięcy, ilość godzin w każdym miesiącu, w którym należy dostarczać energię do ogrzewania budynku lub nie oraz wartości tych danych dla całego roku. Najwięcej energii ciepłej należy zapewnić w styczniu, to jest 11,9 kWh/m<sup>2</sup> oraz grudniu (10,5 kWh/m<sup>2</sup>). Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania budynku od maja do września jest znikome. Sumarycznie w ciągu roku zużywane jest 53,7 kWh energii na każdy metr kwadratowy powierzchni budynku. W ciągu roku jest 6625 h w których należy dostarczać energię do ogrzewania budynku oraz 2135 h, w których nie trzeba tego robić.



Rys. 4. Diagramy wygenerowane przez program CASAnova

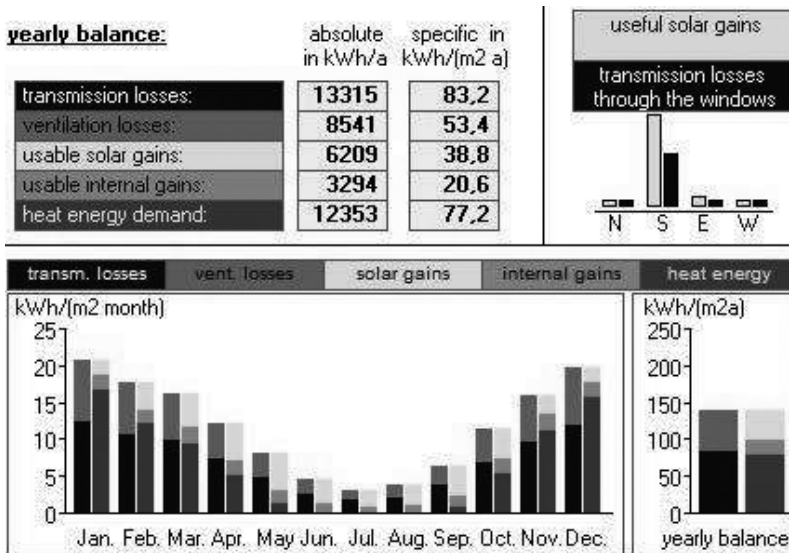
Fig. 4. Diagrams generated by the program CASAnova

Obliczony w programie CASAnova wskaźnik  $E_A$  równy  $53,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$  klasyfikuje rozpatrywany budynek w kategorii budynków energooszczędnych (wg [5]). Widoczny na rysunku 5 wykres Sankey'a, przedstawiający zyski i starty energii analizowanego budynku, obrazuje wpływ poszczególnych parametrów na końcowy wynik zapotrzebowania na ciepło dla ogrzewania. Podobnie jak w programie Audytor OZC największe straty energii występują przez wentylację oraz przegrody zewnętrzne, a największe zyski ciepła pochodzą od słońca.



Rys. 5. Przepływ energii przedstawiony na wykresie Sankey'a

Fig. 5. Energy flow presented on Sankey graph



Rys. 6. Bilans energii wygenerowany przez program CASAnova

Fig. 6. Balance of energy generated by the program CASAnova

Bilans energii roczny oraz dla poszczególnych miesięcy uwzględniający straty energii przez przenikanie, wentylację, wewnętrzne zyski oraz zyski od słońca obrazuje rysunek 6. Zyski ciepła od Słońca są największe na elewacji południowej, tam też są największe straty ciepła przez okna. Od maja do sierpnia nie ma potrzeby dostarczania energii, gdyż zyski ciepła przewyższają straty ciepła.

### 2.3. Porównanie wyników uzyskanych w programach Audytor OZC i CASAnova

W tabeli 7 zestawiono wybrane wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię ciepłą do ogrzewania budynku według programów Audytor OZC 4.8 Pro i CASAnova 3.3.07. Dodatkowo do tabeli wstawiono wyniki otrzymane w programie Purmo OZC 4.01B (starszej wersji programu Audytor OZC 4.8 Pro). W programie tym wprowadza się praktycznie takie same dane jak w Audytorze OZC, a główna różnica między programami leży w normach do obliczeń (Purmo OZC korzysta z nieaktualnej dzisiaj normy PN-B-02025).

Pomiędzy wynikami programów Purmo OZC i CASAnova istnieją niewielkie rozbieżności sięgające globalnie około 10% (w niektórych przypadkach otrzymano prawie identyczne wyniki), pomimo wprowadzenia w obu programach identycznych danych wejściowych dotyczących budynku. Różnice w wynikach są prawdopodobnie spowodowane przez następujące czynniki:

- w programie CASAnova budynek traktuje się jako zwartą bryłę, o kształcie prostopadłościanu; odstępstwa od takiego typu budowy w CASAnovie nie są możliwe do uwzględnienia w geometrii budynku (rozpatrywany budynek nie jest prostopadłościanem),
- wyżej wymieniony czynnik powoduje różnice w wielkości powierzchni podłogi na gruncie (CASAnova – 117,2 m<sup>2</sup> (tabela 6); Purmo/Audytor – 89,45 m<sup>2</sup> (tabela 2),
- w programie Purmo/Audytor OZC stacją meteorologiczną, z której odczytuje się dane klimatyczne jest Tarnów, natomiast w CASAnov'ie Kraków,
- programy stosują różne normy do obliczenia poszczególnych wartości,
- w programie CASAnova nie oblicza się zysków bytowych na podstawie liczby mieszkańców, ich wieku, zużycia ciepłej wody, ale program wymaga podania z góry tej wartości, co może generować błędy,
- CASAnova wymaga podania ogólnej wewnętrznej temperatury, która ma panować w budynku; natomiast w programie Purmo/Audytor OZC dla każdego pomieszczenia można indywidualnie ustawić temperaturę (temperatura projektowa pokoi wynosi 20°C, garażu 5°C, piwnicy 12,4°C, łazienek 24°C).

Pomiędzy programami Purmo OZC i CASAnova a Audytorem OZC bardzo podobny wynik stwierdzono jedynie w przypadku zysków energii nie pochodzących od słońca. W przypadku innych porównywanych wielkości różnice wynoszą od 30% do nawet 65%. Tak duża rozbieżność wyników spowodowana jest różnicami w stosowaniu przez programy norm do obliczeń zapotrzebowania na ciepło budynku (CASAnova korzysta z EN 832, Purmo OZC z PN-B-02025, a Audytor OZC z PN-EN ISO 13790).

Porównanie wyników obliczeń programów Purmo OZC, Audytor OZC i CASAnova

| Porównywana wielkość                                 |                           | Program             |       |                    |                        |         |
|--|---------------------------|---------------------|-------|--------------------|------------------------|---------|
|  |                           | PURMO OZC<br>4.01B  |       | CASAnova<br>3.3.07 | Audytor OZC<br>4.8 Pro |         |
| Roczne zapotrzebowanie na energię                    | [kWh/rok]                 | 11132               |       | 10058              | 15358                  |         |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 60,3                |       | 53,7               | 83,2                   |         |
| Całkowite straty ciepła                              | [kWh/rok]                 | 17419               |       | 16952              | 27450                  |         |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 94,3                |       | 90,4               | 148,6                  |         |
| Straty ciepła przez przenikanie                      | [kWh/rok]                 | 11903               |       | 11383              | 17712                  |         |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 65,0                |       | 60,7               | 95,9                   |         |
| Straty ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego | [kWh/rok]                 | 5516                |       | 5569               | 9738                   |         |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 29,3                |       | 29,7               | 52,7                   |         |
| Całkowite zyski                                      | [kWh/rok]                 | 7310                | 6287* | 6894               | 15482                  | 12092** |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 39,6                | 34,0* | 36,7               | 83,8                   | 65,5**  |
| Zyski energii od słońca                              | [kWh/rok]                 | 3473                | 2988* | 3006               | 10628                  | 8300**  |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 18,8                | 16,2* | 16,0               | 57,5                   | 44,9**  |
| Pozostałe zyski                                      | [kWh/rok]                 | 3837                | 3298* | 3888               | 4854                   | 3792**  |
|  | [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | 20,8                | 17,8* | 20,7               | 26,3                   | 20,6**  |
| Mostki termiczne                                     |                           | Nie uwzględniono    |       |                    |                        |         |
| Średnia liczba wymian powietrza                      |                           | 0,3 1/h             |       |                    |                        |         |
| Sezon grzewczy                                       |                           | Od września do maja |       |                    | Cały rok               |         |

\* wartość obliczona przy zastosowaniu współczynnika wykorzystania zysków ciepła  $\eta = 0,860$ .

\*\* wartość obliczona przy zastosowaniu współczynnika wykorzystania zysków ciepła z tabeli 3.

Wyniki z programu Audytor OZC wykorzystano w dalszej części pracy.

#### 2.4. Zapotrzebowanie na energię dla c.w.u.

Ilość energii potrzebnej do przygotowania ciepłej wody użytkowej obliczono według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [13]. Roczne zapotrzebowanie na energię dla c.w.u. obliczono ze wzoru [13]:

$$Q_{W,nd} = \frac{V_{CW_i} \cdot L_i \cdot c_W \cdot \rho_W \cdot (\theta_{CW} - \theta_O) \cdot k_i \cdot t_{UZ}}{1000 \cdot 3600} \text{ kWh/rok} \quad (6)$$



gdzie:

- $V_{cwi}$  – jednostkowe dobowe zużycie c.w.u.,
- $L_i$  – liczba jednostek odniesienia,
- $c_w$  – ciepło właściwe wody,
- $\rho_w$  – gęstość wody,
- $\theta_{cw}$  – temperatura c.w.u. w miejscu zaworu czepalnego,
- $\theta_o$  – temperatura zimnej wody,
- $k_t$  – mnożnik korekcyjny dla temperatury c.w.u. innej niż 55°C,
- $t_{uz}$  – czas użytkowania.

W tabeli 8 zamieszczono przyjęte wartości dla parametrów użytych we wzorze 6 oraz przedstawiono wynik końcowy obliczeń.

Tabela 8

**Wynik końcowy oraz wartości parametrów dla wzoru 6**

| Parametr      | Jednostka                      | Przyjęta wartość                             |                  |
|---------------|--------------------------------|--|------------------|
| $V_{cwi}$     | [dm <sup>3</sup> /(j.o.)·doba] | 50*  |                  |
| $L_i$         | [osoby]                        | 5  |                  |
| $c_w$         | [kJ/(kg·K)]                    | 4,19   |                  |
| $\rho_w$      | [kg/m <sup>3</sup> ]           | 1000**                                       |                  |
| $\theta_{cw}$ | [°C]                           | 50   |                  |
| $\theta_o$    | [°C]                           | 10   |                  |
| $k_t$         | [°C]                           | 1,12   |                  |
| $t_{uz}$      | [doby]                         | 365  |                  |
| Parametr      | Jednostka                      | Objaśnienie                                  | Wartość uzyskana |
| $Q_{w,nd}$    | kWh/rok                        | roczne zapotrzebowanie na energię dla c.w.u. | <b>4758</b>      |

\* wartość zalecana wynosi 35 dm<sup>3</sup>/(j.o.)·doba [13]; 50 dm<sup>3</sup>/(j.o.)·doba przyjęto w celu zapewnienie większego komfortu użytkownika \*\*przyjęto uśrednioną wartość gęstości wody

Końcowe zapotrzebowanie na energię dla c.w.u. uwzględniające straty ciepła obliczono ze wzoru [13]:

$$Q_{k,w} = \frac{Q_{w,nd}}{\eta_{w,tot}} \text{ kWh/rok} \quad (7)$$

gdzie:

- $\eta_{w,tot}$  – sprawność całkowita,  $\eta_{w,tot} = \eta_{w,e} \cdot \eta_{w,g} \cdot \eta_{w,d} \cdot \eta_{w,s}$ ,
- $\eta_{w,e}$  – średnia sezonowa sprawność wykorzystania,
- $\eta_{w,g}$  – średnia sezonowa sprawność wytworzenia nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej),

- $\eta_{W,d}$  – średnia sezonowa sprawność dystrybucji c.w.u.,  $\eta_{W,d} = \frac{Q_{W,nd}}{Q_{W,nd} + \Delta Q_{W,d}}$   
 $\Delta Q_{W,d}$  – uśrednione roczne straty ciepła dystrybucji c.w.u.,  
 $\Delta Q_{W,d} = \sum (l_i \cdot q_{li} \cdot t_{CW}) \cdot 10^{-3}$   
 $l_i$  – długość  $i$ -tego odcinka sieci ciepłej wody użytkowej,  
 $q_{li}$  – jednostkowe straty ciepła przewodów ciepłej wody,  
 $t_{CW}$  – mnożnik korekcyjny dla temperatury innej niż 55°C,  
 $\eta_{W,s}$  – średnia sezonowa sprawność akumulacji c.w.u. w elementach pojemnościowych systemu c.w.u.,  $\eta_{W,s} = \frac{Q_{W,nd} + \Delta Q_{W,d}}{Q_{W,nd} + \Delta Q_{W,d} + \Delta Q_{W,s}}$   
 $\Delta Q_{W,s}$  – uśrednione sezonowe straty ciepła w elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku,  $\Delta Q_{W,s} = \sum (V_s \cdot q_s \cdot t_{CW}) \cdot 10^{-3}$   
 $V_s$  – pojemność zbiornika c.w.u.,  
 $q_s$  – jednostkowe straty ciepła zbiornika c.w.u.

W tabeli 9 zamieszczono przyjęte wartości dla parametrów użytych we wzorze 7 oraz przedstawiono wynik końcowy obliczeń.

Tabela 9

#### Wynik końcowy oraz wartości parametrów dla wzoru 7

| Parametr         | Jednostka            | Wartość          | Parametr         | Jednostka             | Wartość |
|------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------------|---------|
| $l_i$            | [m]                  | 50               | $\Delta Q_{W,s}$ | kWh/rok               | 735,84  |
| $q_{li}$         | [W/m]                | 2,5              | $\eta_{W,g}$     | –                     | 1       |
| $t_{CW}$         | [h]                  | 8760             | $\eta_{W,d}$     | –                     | 0,81    |
| $V_s$            | [dm <sup>3</sup> ]   | 400              | $\eta_{W,s}$     | –                     | 0,89    |
| $q_s$            | [W/dm <sup>3</sup> ] | 0,21             | $\eta_{W,e}$     | –                     | 1       |
| $\Delta Q_{W,d}$ | [kWh/rok]            | 1095             | $\eta_{W,tot}$   | –                     | 0,72    |
| <b>Wielkość</b>  |                      | <b>Jednostka</b> |                  | <b>Uzyskany wynik</b> |         |
| $Q_{k,W}$        |                      | kWh/rok          |                  | 6608                  |         |

### 3. Wnioski

Łączne zapotrzebowanie na energię cieplną rozpatrywanego budynku wynosi 21 966 kWh/rok (tabela 10). Jest to wartość otrzymana przy uwzględnieniu strat powstałych przez dystrybucję ciepłej wody użytkowej oraz jej przechowywanie. Nie brano pod uwagę sprawności urządzeń wytwarzających ciepło dla c.o. i c.w.u., strat ciepła przez przewody i zbiornik buforowy centralnego ogrzewania oraz związanej z ogrzewaniem sprawności przesyłu.

W ciągu roku należy dostarczyć 15 358 kWh energii do ogrzewania, co stanowi 69,9% rocznego całkowitego zapotrzebowania na energię dla rozpatrywanego budynku. Jest to wartość wysoka, zważywszy na ciągłą tendencję do obniżania zużycia energii na cele grzewcze (dla coraz bardziej popularnego budynku niskoenergetycznego udział energii do ogrzewania pomieszczeń w całkowitym obciążeniu energetycznym budynku powinien wynosić 30% [14]). Podobnie jak w przypadku innych budynków mieszkalnych, jednorodzinnych w Polsce przegrody budowlane w analizowanym budynku powodują 65% strat ciepła (wartość krajowa 66%), a wentylacja 35% (wartość krajowa 34%) [15]. Straty ciepła przez przegrody w analizowanym budynku można w dużej mierze zmniejszyć poprzez np. obniżenie wartości współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych. Poprawa parametrów technicznych przegród może doprowadzić do obniżenia strat ciepła nawet o 30% [15].

Tabela 10

#### Roczne zapotrzebowanie na energię dla analizowanego budynku

| Jednostka | Ogrzewanie | Ciepła woda użytkowa | Łączne zapotrzebowanie |
|-----------|------------|----------------------|------------------------|
| [kWh/rok] | 15358      | 6608                 | 21 966                 |
| [%]       | 69,9       | 30,1                 | 100                    |

Znając roczne zapotrzebowanie na energię rozpatrywanego budynku, obliczono wartość wskaźnika *EP*, który wyniósł 118,93 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Graniczna wartość wskaźnika *EP* obliczona dla tego budynku ze wzoru 3 wynosi 151,5 kWh/(m<sup>2</sup>·rok) ( $A/V_e = 0,8$ ;  $\Delta EP = 24,5$ ). Tak więc wskaźnik *EP* budynku spełnia wymagania narzucone przez Ministra Infrastruktury, gdyż  $118,93 < 151,5$ . Wskaźnik *EP* analizowanego budynku, jest również niższy niż średnia ważona *EP* dla budynków nowych w Polsce wynoszący 137 kWh/(m<sup>2</sup>·rok) [15].

Ze względu na stosowane normy obliczeniowe programy CASAnova oraz Audytor OZC dały odmienne wyniki sezonowego zapotrzebowania na ciepło. Pod względem szybkości określenia zapotrzebowania na ciepło i łatwości obsługi lepszy jest program CASAnova. Obsługa tego programu ogranicza się do wypełnienia informacji w 6 nieskomplikowanych okienkach. Wadą programu jest to, że część danych należy samemu obliczyć (jak współczynnik przenikania dla ścian). Warto podkreślić, że każda zmiana wartości danego parametru zostaje automatycznie zobrazowana na wykresach i w raportach. W programie Audytor OZC ostateczny wynik otrzymuje się dopiero po wprowadzeniu wszystkich danych i to bez błędu uniemożliwiającego obliczenia.

Dla profesjonalnych obliczeń sezonowego zapotrzebowania na ciepło powinno się stosować program Audytor OZC. Niewątpliwą zaletą tego programu jest bogata interpretacja wyników oraz to, że obliczenia wykonywane są według aktualnie stosowanych w Polsce norm. Program CASAnova został stworzony bardziej do celów dydaktycznych i wizualizacji zmian parametrów, niż do fachowych obliczeń.

## Literatura

- [1] W n u k R., *Budowa domu pasywnego w praktyce*, Wydawnictwo Przewodnik Budowlany, Warszawa 2006.
- [2] Komisja Europejska, *Green Paper „Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply”*, Bruksela, 29 listopada 2000.
- [3] G e r y ł o R., *Zmiana wymagań – efektywność energetyczna budynków*, Przemysł Środowisko Jakość Zarządzanie, 2009, Nr 4 (13), 51-52.
- [4] W n u k R. i in., *Efektywność wykorzystania energii w latach 1995–2005*, GUS, KAPE, Warszawa 2007.
- [5] Ż u r a w s k i J., *Energochłonność budynków mieszkalnych* (www.cieplej.pl – data dostępu: 07.02.2011).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 15 czerwca 2002 r., Nr 75, poz. 690).
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 13 listopada 2008 r., Nr 201, poz. 1238).
- [8] Ż u r a w s k i J., *Dlaczego energooszczędność* (www.cieplej.pl – data dostępu: 07.02.2011).
- [9] C i e p i e ł a D., *Efektywność energetyczna budynków. Ciepło w gwizdek* (www.wnp.pl – data dostępu: 07.02.2011).
- [10] Firma Sankom, Audytor OZC wersja 4.8 Pro, Program wspomagający obliczanie projektowego obciążenia cieplnego budynku, sezonowego zapotrzebowanie na energię cieplną i chłodniczą oraz wyznaczanie świadectw energetycznych (www.purmo.com/pl – data dostępu: 15.03.2011).
- [11] Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie Universitat Siegen, CASAnova 3.3 – An educational software for heating and cooling energy demand as well as the temperature behaviour in buildings (<http://nesa1.uni-siegen.de/> – data dostępu: 15.03.2011).
- [12] K a c z k o w s k a A., *Dom Pasywny*, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno 2009.
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. Nr 201, poz. 1240).
- [14] S i u t a - O ł c h a A., C h o ł e w a T., G u z Ł., *Analiza porównawcza potrzeb energetycznych jednorodzinnych budynków mieszkalnych o różnym standardzie wykonania*, Proceedings of ECOpole, 2011, Nr 1 (5), 287-292.
- [15] Firma BuildDesk, Raport: Stan energetyczny budynków w Polsce 03.2011 (www.builddesk.pl – data dostępu: 06.09.2011).