

**RAFAŁ PAŹIK\***

## **BUDOWA, KOSZTY I EKSPLOATACJA DOMU PASYWNEGO**

### *Streszczenie*

*W niniejszej pracy opisano przyjęte rozwiązania techniczne w przykładowym domu pasywnym w woj. Lubuskim w m. Zawada, którego właścicielem jest autor pracy i porównano je do rozwiązań w alternatywnym domu tradycyjnym. Zwrócono także uwagę, jak ważna jest analiza opłacalności inwestycji rozpatrywanego domu pasywnego. Praca pokazuje również rzeczywiste zużycie energii w opisywanym domu pasywnym po pierwszym sezonie grzewczym.*

Słowa kluczowe: dom pasywny, pompa ciepła, kolektor słoneczny, biopaliwo, bioetanol, energooszczędność, ekologia, budowa domu pasywnego, rozwiązania energooszczędne, mostki termiczne, energie odnawialne, rzeczywiste zużycie energii

### **Wstęp**

Czy budownictwo energooszczędne, a nawet pasywne to tylko hasła, czy możliwe jest wybudowanie domu innego niż tradycyjny, zgodnego z aktualnymi przepisami budowlanymi [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 12 kwietnia 2002 r]? Mimo, że na temat budownictwa niskoenergetycznego i pasywnego powstało już wiele publikacji [Giovanardi i inni 2008, Chwieduk 1998, Chwieduk 1999, Feist 1998, Humm 1998, Jędrzejewska-Ścibak Sowa 1998, Wnuk 2007, Żurawski] oraz coraz częściej organizowane są konferencje związane wyłącznie z budownictwem pasywnym [The 1<sup>st</sup> Nordic passive house conference 2008, The 2<sup>nd</sup> Nordic passive house conference 2009], to pytanie zadaje sobie jeszcze niewielu inwestorów. W Polsce temat energooszczędności ciągle jeszcze jest mało popularny, choć budownictwo niskoenergetyczne na świecie to już rzeczywistość [Chwieduk 1999]. Mimo wielu zmian zachodzących w budownictwie, zdecydowana większość z nowo budowanych domów, to budynki, którym w rzeczywistości daleko jest do energooszczędnych. Świadczyć może o tym chociażby struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych

---

\* doktorant Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

(rys. 1) [Wnuk 2006]. Jednak im więcej się mówi i pisze o rozwiązaniach energooszczędnych, tym większa rodzi się świadomość inwestorów na ten temat. Uwagę zwracają nie tylko możliwe korzyści finansowe, ale również te związane z ochroną środowiska.

Jednym z typów budynków energooszczędnych jest tzw. dom pasywny, który charakteryzuje się bardzo niskim zużyciem energii na potrzeby ogrzewania. Jednak aby osiągnąć standard domu pasywnego, należy zastosować wiele specyficznych rozwiązań, które mają istotny wpływ na wzrost kosztów budowy takiego domu. Z tego względu przed rozpoczęciem budowy, należy przeprowadzić dokładną analizę ekonomiczną, ponieważ może się okazać, że koszty budowy znacznie przewyższą zyski przewidywane w przyszłości, wynikające z małego zapotrzebowania na energię.

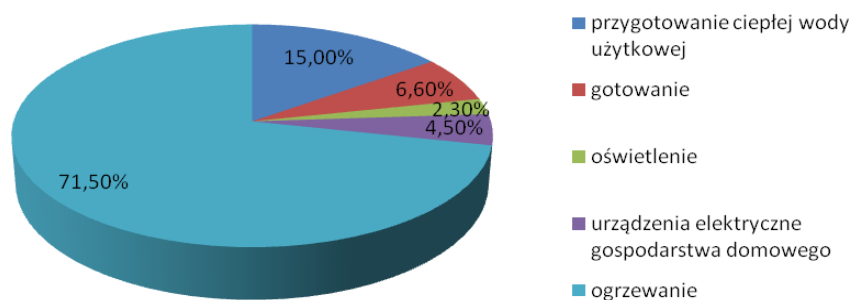
Takiej analizie zostały poddane zastosowane rozwiązania techniczne w rozpatrywanym domu pasywnym w stosunku do alternatywnych rozwiązań, które zostałyby przyjęte w domu tradycyjnym, oraz z w stosunku do obecnie stosowanych (również w domach pasywnych) urządzeń wykorzystujących źródła energii odnawialnych. Następnie wyniki analizy zostały zweryfikowane poprzez rzeczywiste zużycie energii po pierwszym sezonie grzewczym.

### Ogólny zarys teoretyczny

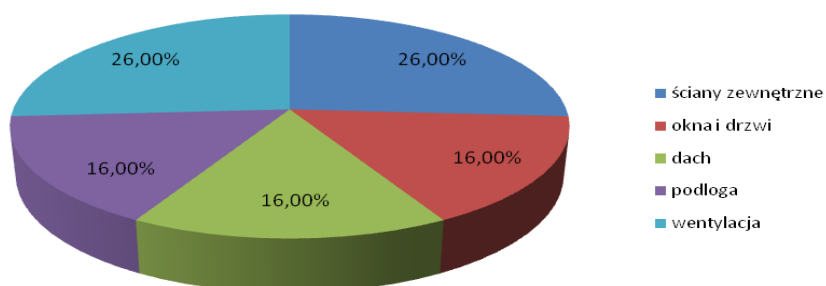
Energooszczędność w dzisiejszych czasach stanowi ważny element związany z komfortem mieszkania, zarówno w sferze eksploatacyjnej jak i życiowej. Jest oczywistym, że wybór nośnika energii cieplnej dla naszego domu w dużej mierze decyduje o naszych przyszłych kosztach eksploatacyjnych, które można podzielić wg wspomnianego wyżej rys. 1 [Wnuk 2006]. Jak widać największy procent stanowi ogrzewanie. W związku z tym, biorąc pod uwagę ciągły wzrost cen nośników energii cieplnej, należy się zastanowić nad zastosowaniem rozwiązań umożliwiających obniżenie tych kosztów. Mogą to być rozwiązania architektoniczne takie jak: usytuowanie budynku, jego osłonięcie, jego bryła, zastosowane okna, izolacja oraz systemy dogrzewania pasywnego wykorzystujące promieniowanie słoneczne [Lisek i in. 1995], jak również rozwiązania konstrukcyjne umożliwiające zmniejszenie wpływu mostków termicznych na zużycie energii. Nie należy także zapominać o urządzeniach i rozwiązaniach instalacyjnych takich jak: magazynowanie energii ciepłej w gruncie [Chwieduk 1998], pompy ciepła, kolektory słoneczne, fotowoltaiki [Klugmann-Radziemska 2007, Planning and Installing Photovoltaic Systems 2005], biomasa, systemy wentylacyjne oparte o odzysk ciepła tzw. rekuperatory, w połączeniu z gruntowymi wymiennikami ciepła itp.

Każde rozwiązanie poszczególnych detali konstrukcyjnych, architektonicznych czy instalacyjnych niesie ze sobą pewną skuteczność, na podstawie której

można obliczyć procentowe zużycie energii cieplnej potrzebnej do pokrycia strat ciepłych przez wszystkie przegrody budynku oraz strat wentylacyjnych. Szacunkowy rozkład procentowy zużycia energii cieplnej na wymienione potrzeby, dla domu budowanego zgodnie z wymaganiami podanymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r., pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych w Polsce według kierunków użytkowania w roku 2002 (Agencja Rynku Energii)  
Fig. 1. The structure of energy consumption in households in Poland, according to the directions for use in 2002 (Energy Market Agency)



Rys. 2. Przybliżony standardowy podział strat ciepła  
Fig. 2. Approximate standard distribution of heat losses

Największe straty ciepła związane są z wentylacją grawitacyjną, co powinno skłaniać do wyszukiwania rozwiązań jej ograniczających. Wprawdzie wielkość tych strat jest często w rzeczywistości dalece różna od podanych w powyższym rozkładzie, jednakże jest to związane z nieprawidłowym wentylowaniem budynków. Dowodem tych nieprawidłowości jest wykraplanie się pary wodnej na chłodniejszych elementach wewnątrz budynku. Powoduje to pewne zyski w kosztach eksploatacyjnych, jednocześnie jednak niesie za sobą duży dyskomfort mieszkania. Budynek z prawidłowo działającą wentylacją grawitacyjną powinien spełniać wymagania dotyczące maksymalnego wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku –  $E_A$  wynoszącego maksymalnie ok.  $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , (wartość przybliżona wyznaczana w zależności od współczynnika kształtu budynku –  $A/V$ ). Chcąc zmniejszyć straty wynikające z wentylacji, możemy zastosować wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, dzięki czemu wspomniany wskaźnik można obniżyć do ok.  $70 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , co już może zaliczyć budynek do energooszczędnego. Dalsze zmniejszenie strat ciepła przez wszystkie przegrody zewnętrzne, może pozwolić nawet na obniżenie wspomnianego wyżej wskaźnika do odpowiedniego dla budynku pasywnego. Na koniec należy również zwrócić uwagę na coraz to częstszą potrzebę podwyższania komfortu w budynku poprzez stosowanie systemów chłodzenia, do których można zaliczyć np. gruntowe wymienniki ciepła. Przy odpowiednich rozwiązaniach ograniczenia wpływu promieni słonecznych na temperaturę wewnątrz budynku oraz prawidłowym ich doborze, mogłyby znakomicie sprawdzić się w tej roli.

### Wytyczne dla domu pasywnego

Dom pasywny charakteryzuje się wskaźnikiem równym maksymalnie  $E_A=15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$  (potocznie nazywanego domem 1,5 litrowym, co oznacza przeliczenie na zużycie roczne na  $1 \text{ m}^2$  – 1,5 litra oleju opałowego). Istotnym jest, że taki dom nie potrzebuje autonomicznego, aktywnego systemu ogrzewania, ponieważ uzyskuje on komfort termiczny poprzez wykorzystanie pasywnych źródeł ciepła tj. zysków bytowych z urządzeń elektrycznych, ciepła słonecznego dzięki optymalnemu dobraniu przeszklenia oraz ciepła odzyskanego z wentylacji.

Maksymalna wartość graniczna szczytowego zapotrzebowania na moc do ogrzewania domu pasywnego równa  $10 \text{ W/m}^2$  oznacza, że niezależnie od klimatu do ogrzewania w zupełności można wykorzystać system wentylacyjny jako jedyny system grzewczy. Dzięki temu koszty inwestycyjne budowy domu pasywnego mogą znacznie zmaleć. Tak małe zapotrzebowanie szczytowe pozwala na zastosowanie również każdego innego systemu grzewczego, którego koszt inwestycyjny nie będzie znaczący. Należy w tym momencie wspomnieć, że

próba osiągnięcia zerowego zapotrzebowania na energię do celów grzewczych byłaby obecnie bardzo nieekonomiczna [Wnuk 2006].

Zgodnie z opracowaniem Wnuka [2006], dom pasywny powinien spełniać kryteria podane w tab. 1.

Tab. 1. Kryteria jakie powinien spełniać dom pasywny [Wnuk 2006]

Tab. 1. Criteria to be fulfilled by passive house [Wnuk 2006]

1	Zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania w przeliczeniu na powierzchnię użytkową	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
2	Maksymalne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania	$\leq 10 \text{ W/m}^2$
3	Współczynnik przenikania ciepła (strat ciepła) przez przegrody zewnętrzne (ściany, dach, płyta podłogowa)	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
4	Współczynnik przenikania ciepła przez okna przy współczynniku przepuszczalności energii słonecznej	$\leq 0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $\geq 50 \dots 60 \%$
5	Szczelność budynku $n_{50}$	$< 0,6 \text{ l/h}$
6	Sprawność instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego przy poborze energii elektrycznej	$\geq 75\%$ $< 0,45 \text{ Wh/m}^3$
7	Zużycie energii pierwotnej do zaspokojenia wszystkich potrzeb energetycznych domu w przeliczeniu na powierzchnię użytkową	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$

### **Analiza przewidywanych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych rozwiązań grzewczych wykorzystujących energię odnawialną w stosunku do energii elektrycznej**

Zgodnie z opracowaniem Lipińskiego [2009], budowa domu pasywnego jest droższa od domu standardowego o ok. 36%. Jest to spory jak widać wydatek, dlatego należy zastanowić się nad sensem realizacji takiego domu. W przypadku budowy takiego domu analiza kosztów inwestycyjnych nie koniecznie musi wykazać się zwrotem, co więcej może się okazać, że inwestycja taka w ogóle nie będzie opłacalna. Dużą część nakładów finansowych stanowią koszty rozwiązań systemowych. Należy jednak również pamiętać o nietypowości niektórych rozwiązań, co ma znaczący wpływ na wzrost tak zwanych kosztów robocizny. W związku z tym wykonanie takiego domu głównie przez firmy budowlane, mogłoby spowodować nieopłacalność inwestycji. Nie wspominając już o możliwym braku bardzo rygorystycznej dokładności w wykonaniu i związanych z tym negatywnych skutków eksploatacyjnych. Pamiętając o powyższym, przed rozpoczęciem budowy domu pasywnego należy dokładnie przeanalizować możliwe do realizacji rozwiązania i wybrać te, które spełnią nasze oczekiwania zarówno finansowe jak i techniczne.

- Koszty robocizny

Budowa domu przez wyspecjalizowane firmy, biorąc pod uwagę konieczny wysoki rygor prac, a tym samym większe koszty robocizny, byłaby, w przypadku budowy rozpatrywanego domu parterowego o powierzchni o regulowanej temperaturze 108,3 m<sup>2</sup> przedsięwzięciem nieopłacalnym. Byłaby także, biorąc pod uwagę często niestety niską jakość tych prac, przedsięwzięciem bardzo ryzykownym. W związku z tym zdecydowano się wybudować rozpatrywany dom pasywny własnymi siłami korzystając z pomocy jednej lub dwóch zaufanych osób. Dzięki temu zaoszczędzono ok. 60% kosztów robocizny w stosunku do budowy domu pasywnego z wykorzystaniem zewnętrznych ekip budowlanych. W stosunku do kosztów całego rozpatrywanego domu pasywnego wynoszącego ok. 270 000 zł. zaoszczędzono ok. 15%.

- Koszty inwestycyjne i potrzeba doprowadzenia energii cieplnej do budynku

Dla potrzeb takiego domu raczej mało opłacalnym jest doprowadzanie do niego jakichkolwiek innych źródeł energii niż energię elektryczną, która i tak zawsze musi być doprowadzona, a więc już na początku można w pewnym stopniu obniżyć koszty związane z doprowadzeniem dodatkowych źródeł energii (np. gazu).

- Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne rozwiązań technicznych zaopatrujących budynek w energię do produkcji ciepła

Przewidywane koszty roczne w domu pasywnym za ogrzewanie, przy przyjętej cenie za 1 kWh wynoszącym np. 25 gr., wyniosłyby ok. 406 zł., przy bardzo niskim koszcie inwestycyjnym wynoszącym zaledwie 160 zł za biokominek i 3500 zł za dodatkowe źródło ciepła, którym byłyby np. kable grzejne elektryczne wraz z dodatkowym osprzętem. W oparciu o analizę zużycia ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), w poprzednim miejscu zamieszkania (budynek wielorodzinny) równym 65 dm<sup>3</sup>/dobę, i zakładając zwiększenie jego o 50% w domu jednorodzinny, koszty za podgrzewanie c.w.u w taryfie G12, wyniosłyby ok. 350 zł przy koszcie inwestycyjnym wynoszącym ok. 500 zł. Biorąc pod uwagę powyższe przeanalizowano możliwość zastosowania w obiekcie urządzeń wykorzystujących energię odnawialne, które przy ówczesnych (ale również obecnych) ich cenach zakupu, w przypadku budowy domu pasywnego, niekoniecznie mogłyby mieć uzasadnienie ekonomiczne. Ma to związek z tym, że taki dom sam w sobie charakteryzuje się bardzo niskimi kosztami eksploatacji, a różnica w tych kosztach przy zastosowaniu powyższych urządzeń mogłaby być zdecydowanie zbyt mało zadowalająca w stosunku do kosztów inwestycji. Dla rozpatrywanego w niniejszej pracy domu, mającego spełnić warunki pasywnego, wzięto pod uwagę we wstępnym wyliczeniu opłacalności alternatywę do dogrzewania jedynie energią elektryczną (kable grzejne) w postaci urządzenia wykorzystującego energię odnawialną (ciepła z gruntu) tj. pompę ciepła (średni całoroczny współczynnik dla c.o. i c.w.u. założono COP=3,0). Przy założonym stałym koszcie 1 kWh wynoszącym 0,25 gr. w całym okresie zwrotu, i przy przyjętej różnicy w kosztach inwestycyjnych równych ok. 25 000 zł

(uwzględniając koszty inwestycyjne wraz z dolnym i górnym źródłem ciepła), nawet przy wyłożonym własnym kapitale jako alternatywę wskazując lokatę 4%, inwestycja nie zwróciłaby się (ujemna wartość wskaźnika kryterium dynamicznego NPV). Należy w tym miejscu wspomnieć, że nie były brane pod uwagę koszty eksploatacyjne i przeglądy, oraz żywotność i możliwości awarii takiego urządzenia. Należy dodać też, że praktycznie nie jesteśmy w stanie zakupić całego systemu grzewczego z pompą ciepła (PCi) za cenę o ok. 25 000 zł większą niż system alternatywny (wzięto tu pod uwagę system dogrzewania kablami grzewczymi i zasobnik c.w.u. pracujący w taryfie G12). Dla rozpatrywanego przykładowego domu pasywnego w roku 2008 wyceny wynosiły ok. 40 000-50 000 zł. za samą PCi z dolnym źródłem ciepła bez górnego odbiornika. Tak więc inwestycja w PCi w domu pasywnym byłaby inwestycją mocno nieuzasadnioną. Obecnie ceny niewiele się różnią w od tych z roku 2008. Podobnie wyglądałaby sytuacja z kolektorami słonecznymi dla potrzeb samej c.w.u.. Również nie zwróciłyby się przy ich różnicy w koszcie inwestycyjnym wynoszącym ok. 6 000 zł., średniej sprawności rocznej wynoszącej 65%, zakładając zużycie c.w.u. 98 dm<sup>3</sup>/dobę i alternatywę w postaci lokaty o oprocentowaniu 4%. Dodatkowe założenie zwiększenia się cen energii elektrycznej o 4% rocznie, zgodnie z GUS [2009], dałoby zwrot pompy ciepła przy powyższych pozostałych założeniach po 45 latach (dodatni wskaźnik NPV), a w przypadku kolektorów słonecznych po 22 latach, wciąż nie biorąc pod uwagę kosztów eksploatacyjnych i przeglądów, a więc również byłyby to inwestycje zdecydowanie nie opłacalne. Za stosowaniem powyższych urządzeń, może przemawiać jedynie szansa uzyskania zewnętrznego wsparcia finansowego, w postaci dotacji, która mogłaby znacznie obniżyć koszty ale czy na tyle, że mogłoby się to stać opłacalne? Wszystko zależy od wysokości dotacji, i w przypadku pompy ciepła dotacja musiałaby wynosić ok. 70% aby zwrot nastąpił po 12 latach, natomiast w przypadku kolektorów słonecznych ok. 50% aby zwrot nastąpił po 11 latach (w obu przypadkach brano pod uwagę wzrost cen nośnika energii). Reasumując, koszty firmy budowlanej wykorzystywanej do budowy domu pasywnego oraz koszty inwestycyjne nowoczesnych gotowych urządzeń wykorzystujących energie odnawialne, przekroczyłyby w przypadku rozpatrywanego domu pasywnego znacznie budżet i nie przyniosłyby w przyszłości korzyści finansowych.

Jedynym rozwiązaniem, spośród urządzeń wykorzystujących energie odnawialne, jakie zdecydowano się zastosować, było urządzenie do celów grzewczych tj. biokominek, wykorzystujący jako źródło ciepła energię odnawialną jaką jest biopaliwo (bioetanol). Bardzo wygodne paliwo nie związane z żadnymi dodatkowymi kosztownymi instalacjami niezbędnymi do jego wykorzystywania (kotłownia, kominy itp.), a w zupełności wystarczającym na potrzeby domu pasywnego. Koszt inwestycyjny biokominka był wręcz pomijalny jak już

wyżej podano (160 zł), stanowiący niecały 1‰ kosztów budowy rozpatrywanego domu.

Ponadto inwestor (autor pracy) uznał, że należy inwestować w energię elektryczną, jako najwygodniejsze źródło energii, dlatego też z myślą o przyszłości zdecydowano się umieścić dodatkowo kable grzejne w posadzce, stanowiące niedrogie (ok. 1% kosztów całego domu) dodatkowe źródło ciepła oprócz biominka.

### **Zastosowane rozwiązania techniczne domu pasywnego**

Dla przykładowego domu pasywnego obliczenia sezonowego zapotrzebowania na ciepło wykonano przed rozpoczęciem budowy w roku 2007 według normy PN-B-02025:2001 (obecnie stosuje się normę PN-EN ISO 13790:2009), wykorzystując również normy i przepisy PN-EN ISO 6946, PN-EN 12831, PN-EN ISO 13370, PN-EN ISO 14683, PN-82/B-02403, Rozporządzenie MI z dnia 6 listopada 2008 r. Dodatkowo przyjęto do obliczeń zewnętrzne współczynniki dla mostków termicznych –  $\psi_e$ . Obliczenia wykazały wskaźnik równy  $E_A=15$  kWh/m<sup>2</sup>·rok, przy założeniach:

- brak podpiwniczenia
- budynek parterowy o powierzchni o regulowanej temperaturze :108,3 m<sup>2</sup>
- temperatury wewnętrzne w pomieszczeniach stałego przebywania równe 20°C
- poddasze nieużytkowe z ocieplonym stropem
- brak kominów wentylacyjnych oraz spalinowego
- budynek podzielony na dwie części: nocną od strony północno-zachodniej i dzienną od strony południowo-wschodniej z największą ilością okien od strony południowo-wschodniej (90%)
- ściany ze zwykłego betonu komórkowego
- drzwi zewnętrzne o współczynniku przenikania równym 1,3 W/m<sup>2</sup>·K
- okna typu Passivhaus z certyfikatem o współczynniku przenikania równym 0,8 W/m<sup>2</sup>·K i przepuszczalności energii słonecznej 0,64
- ocieplenie ścian – 30 cm styropianu o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,031 W/m·K, klejonego na piankę montażową do tego celu przeznaczoną
- ocieplenie cokołu do wysokości ok. 30 cm nad poziom terenu – 36 cm styropianu o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,035 W/m·K
- ocieplenie podłogi na gruncie częścią nocną – 36 cm styropianem o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,035 W/m·K
- ocieplenie podłogi na gruncie pod częścią dzienną – 24 cm styropianem

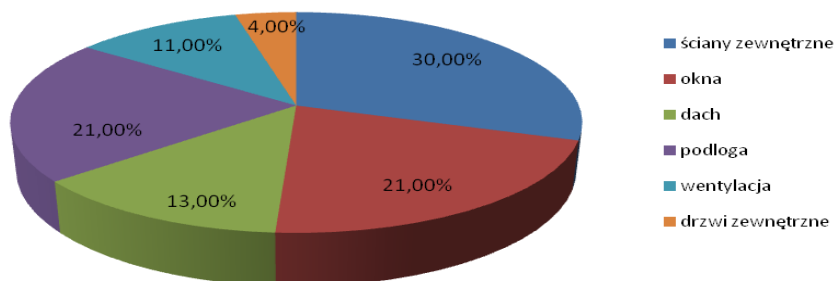


- o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym  $0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- ocieplenie ścian fundamentowych – 12 cm styropianem o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym  $0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
  - ocieplenie stropu – od 65-70 cm, miejscami ok. 1,0 m wełną mineralną o średnim współczynniku przewodzenia ciepła równym  $0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
  - żwirowy gruntowy wymiennik ciepła o objętości ok.  $35 \text{ m}^3$  pod częścią nocną budynku oraz wstępny żwirowy gruntowy wymiennik ciepła poza budynkiem podnoszący temperaturę powietrza wchodzącego do głównego wymiennika ciepła
  - centrala wentylacyjna z odzyskiem ciepła o sprawności wraz z gruntowym wymiennikiem ciepła równej 75-80% (dla warunków obliczeniowych) i możliwą wymianą w zakresie 0,3-2,0 1/h,
  - założona wymiana powietrza przez system wentylacyjny przez 24 h/d równa 0,3 1/h (zalecane 0,3-0,7 1/h), z możliwym zwiększeniem do 2,0 1/h, aczkolwiek w przypadku domów pasywnych, w związku z wyższymi temperaturami przegród z powodzeniem można stosować wymiany nawet mniejsze niż zalecane bez negatywnych tego skutków i utrzymujące poziom wilgotności w zakresie optymalnym tj. 45-65%
  - wybór taryfy G12
  - elektryczny pojemnościowy podgrzewacz wody z programatorem tygodniowym
  - dogrzewanie biokominkiem oraz możliwość dogrzewania akumulacyjnego elektrycznym kablami grzejnymi
  - zminimalizowanie mostków termicznych czyli zmniejszenie liniowego współczynnika przenikania ciepła
  - połączenie izolacji ścian z izolacją podłogi na gruncie – 12 cm szkła piankowego o współczynniku przewodzenia ciepła równym  $0,046 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , wmurowanego w ścianie fundamentową
  - montaż okien, fix`u i okna tarasowego w warstwie ocieplenia z najściem izolacji na ramy okienne ok. 3-5 cm, podobnie przy wykonaniu parapetu (niestandardowe wykonanie na ramę okna) wraz z uszczelnieniem potrójnym taśmami paro przepuszczalną od zewnątrz i paroszczelnymi od wewnątrz oraz izolacją z pianki montażowej między ramą a ścianą
  - połączenie izolacji ścian z izolacją stropu – 10 cm wytrzymałego na ekstremalne obciążenia styropianu XPS, o obniżonej chłonności wody i o bardzo niskim współczynniku przewodzenia ciepła równym  $0,031 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , wmurowanego w ścianę szczytową między bloczki z betonu komórkowego o gęstości  $400 \text{ kg/m}^3$  (BK400) charakteryzujące się również obniżonym współczynnikiem przewodzenia ciepła równym  $0,11 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
  - mimo braku wymogu kołkowania płyt styropianowych dla wysokości

mojego domu i klejonych przy pomocy pianki montażowej specjalnie do tego celu przeznaczonej zdecydowałem się jednak kołkować. Powodem tego była duża grubość płyt – 30 cm. Wybrałem kolki tworzywowe dodatkowo wpuszczane w styropian przy pomocy urządzenia własnej konstrukcji i otworami zaślepianymi korkami styropianowymi również wg własnego wykonania.

Uzyskane parametry obliczeniowe dla rozpatrywanego w niniejszej pracy domu pasywnego wraz z pokazanym na rys. 3 rozkładem procentowym strat ciepła (zgodnie z obliczeniami projektowymi z wykorzystaniem przepisów budowlanych [PN-B-02025:2001, PN-EN ISO 6946, PN-EN 12831, PN-EN ISO 13370, PN-EN ISO 14683, PN-82/B-02403, Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 6 listopada 2008 r]) wyglądają następująco:

- współczynniki przenikania z uwzględnieniem wpływu wszystkich mostków termicznych:
- ściany:  $0,11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- strop:  $0,06 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- podłoga na gruncie (uśredniona):  $0,11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- całego okna:  $0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- drzwi: zewnętrzne  $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- sprawność całkowita odzysku ciepła:  $\geq 75\%$  przy poborze energii elektrycznej równym  $0,15 \text{ Wh/m}^3$
- roczne zapotrzebowanie na energię do celów grzewczych  $E_A$ :  $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
- maksymalne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania:  $6,4 \text{ W/m}^2$



Rys. 3. Podział strat ciepła w rozpatrywanym domu pasywnym  
 Fig. 3. The distribution of heat losses in the present passive house

### **Budowa domu pasywnego i różnica w kosztach inwestycyjnych w stosunku do alternatywnego domu tradycyjnego**

Analizowany dom został wybudowany dokładnie wg postawionych założeń projektowych. Oczywiście pojawia się pytanie na ile opłacalnym jest budowa takiego domu własnym nakładem sił w stosunku do domu o standardowych rozwiązaniach? Poniżej pokazano różnice w poszczególnych rozwiązaniach dla rozpatrywanego domu pasywnego i domu, który zostałby wybudowany alternatywnie zgodnego z wymogami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 12 kwietnia 2002 r.]. Różnic w kosztach w robociznie w powyższych elementach nie uwzględniono, gdyż roboty wymienione wyżej wykonywane były przez autora pracy z pomocą jednej lub dwóch osób i byłyby również w taki sposób wykonywane w domu budowanym tradycyjnie. Podobnie wyglądało to w przypadku samego projektu, który również został wykonany przez autora niniejszej pracy. Po podliczeniu powyższych różnic w cenach materiałowych, budowa rozpatrywanego domu pasywnego kosztowała o 25 000 zł więcej niż kosztowałaby budowa alternatywnego domu tradycyjnego, zasilanego w energię gazową. Różnice w kosztach eksploatacji w pierwszym roku wyniosłyby 1 801,23 zł, uwzględniając:

- roczny wzrost kosztów nośników energii (elektrycznej i gazowej) o 4% [GUS 2009]
- koszt 1 kWh energii z gazu od dostawcy EWE w pierwszym roku (wliczając sprawność kotła, systemu grzewczego i pozostałe współczynniki korygujące) – 0,22 gr.
- koszt 1 kWh energii elektrycznej w pierwszym roku w taryfie G12 (nocna) – 0,25 gr.
- koszt 1 kWh energii elektrycznej w pierwszym roku w taryfie G12 (średnia z dzienna+ nocna) dla celów przygotowania posiłków i działania wentylacji mechanicznej – 0,44 gr.
- 1638 kWh/rok na cele przygotowania c.w.u. (98 l/d)
- 1623,7 kWh/rok na cele ogrzewania dla domu pasywnego
- 10830 kWh/rok na cele ogrzewania dla alternatywnego domu normatywnego (przyjęto wskaźnik 100 kWh/m<sup>2</sup>·rok)
- stały koszt corocznego przeglądu ewentualnego kotła gazowego – 100 zł,
- stały koszt coroczny kosztów eksploatacyjnych za pracę centrali wentylacyjnej w sezonie grzewczym – 30 zł,

Tab. 2. Różnice w przyjętych rozwiązaniach pomiędzy domem pasywnym a domem alternatywnym wg wymogów [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 12 kwietnia 2002 r.].  
 Tab. 2. Differences between the solutions adopted in the passive house and an alternative house according to requirements [Regulation of Min. of Infr. 12 April 2002]

Wykonane elementy	Dom pasywny	Koszt [zł]	Dom spełniający wymogi przepisów	Koszt [zł]
szkło piankowe	12 cm	8 500	błoczeki betonowe	300
styropian na gruncie	24 cm i 36 cm (EPS200 P AQUA; $\lambda=0,035$ W/m·K)	11 500	8 cm (EPS100; $\lambda=0,04$ W/m·K)	2 000
styropian na ścianach	30 cm (EPS50; $\lambda=0,031$ W/m·K)	9 000	12 cm (EPS50; $\lambda=0,04$ W/m·K)	3 000
wełna na stropie	60 cm- 100 cm ( $\lambda=0,04$ W/m·K)	13 500	25 cm ( $\lambda=0,04$ W/m·K)	4 500
XPS i BK400 w ścianie szczytowej	10 cm XPS i 48 cm BK400	1 300	błoczeki z betonu komórkowego	1 000
Wentylacja	mechaniczna z odzyskiem ciepła i GWC żwirowym	11 800	grawitacyjna	2 000
system grzewczy c.o. i c.w.u.	biokominek i dogrzewanie elektryczne akumulacyjne podłogowe	4 200	tradycyjne podłogowe, kocioł kondensacyjny wraz z doprowadzeniem gazu do budynku	25 000
Okna	trzyszybowe typu passiv- haus ( $u=0,8$ W/m <sup>2</sup> ·K)	11 000	dwuszybowe ( $u=1,4$ W/m <sup>2</sup> ·K)	8 000
SUMA		70 800		45 800

Biorąc pod uwagę zaciągnięty kredyt na 30 lat o oprocentowaniu (na dzień dzisiejszy) 5,1% zwrot inwestycji nastąpiłby po 15 latach ( $NPV_{15}=26\,423,42$  zł). Należałoby również w tym momencie odnieść przedstawione wyżej koszty do cen innych domów pasywnych, które są droższe od standardowych o ok. 36% [Lipiński 2009]. Przy całkowitym koszcie rozpatrywanego w niniejszej pracy domu pasywnego wynoszącego 270 000 zł, po odjęciu kosztów wyżej podanych materiałów dla przyjętych rozwiązań technicznych (tab. 2), okazuje się on droższy od domu, który zostałby wybudowany alternatywnie (za 245 000 zł) również przy użyciu sił własnych o ok. 10% i takie zwiększenie kosztów wydaje się być rozsądnym jeśli analizujemy opłacalność takiej inwestycji. Daje to koszt po przeliczeniu na 1 m<sup>2</sup> ok. 2500 zł/m<sup>2</sup>. Interesującym jest to, iż oszczędności za robocizną przy wykonaniu prac własnymi siłami są w przybli-

zeniu równe nakładom poniesionym na dodatkowe rozwiązania techniczne stanowiące o pasywności budynku. Oznaczałoby to, że własnoręczne wykonanie domu pasywnego w stosunku do domu standardowego budowanego przez firmy budowlane nie różniłoby się kosztami inwestycyjnymi. Po dodaniu do kosztów materiałów dla przyjętych rozwiązań technicznych (tab. 2), ceny źródła ciepła wykorzystującego energię odnawialną jak np. gruntowe pompy ciepła, kolektory słoneczne i zastosowaniu gotowych elementów przy budowie domu takich jak. np.: specjalne kołki mocujące do styropianu, specjalne taśmy uszczelniające do okien itp., firmowy rurowy gruntowy wymiennik ciepła, i wiele innych elementów opisanych jako odpowiednie do domów pasywnych, całkowity koszt rozpatrywanego domu pasywnego wzrósłby z 270 000 zł do ok. 360 000 zł (dodając koszt podanych wyżej specjalnych elementów, kolektorów słonecznych i pompy ciepła równy ok. 40 000 zł i różnicę w koszcie za robocizną równą ok. 50 000 zł). Powyższe dodanie kosztów pozwala na porównanie kosztów budowy alternatywnego domu standardowego z wykorzystaniem firmy budowlanej do kosztów budowy rozpatrywanego domu pasywnego również z wykorzystaniem firmy budowlanej. Dałoby to wzrost kosztów budowy rozpatrywanego domu pasywnego o ok. 33%, co potwierdzałoby wzrost kosztów inwestycyjnych przy budowie domu pasywnego o ok. 36% [Lipiński 2009]. Po przeliczeniu na 1 m<sup>2</sup> dla domu pasywnego [Lipiński 2009] koszt wynosiłby ok. 3500 zł/m<sup>2</sup>, natomiast dla rozpatrywanego w niniejszej pracy domu pasywnego przekalkulowanego dla celów porównawczych z domem [Lipiński 2009] ok. 3300 zł/m<sup>2</sup>. Powyższe również potwierdza szacowany większy koszt budowy domu pasywnego względem standardowego. Wzrost ten jest na tyle znaczny (ok. 36%), że opłacalność domu pasywnego jest mocno wątpliwa, a nawet jest to inwestycja nieopłacalna. Wybudowanie natomiast domu pasywnego w sposób przedstawiony w niniejszej pracy jest zdecydowanie korzystniejsze i opłacalne, jednak niesie za sobą wiele utrudnień i wyrzeczeń.

### **Przewidywane obliczeniowe sezonowe zużycie energii**

Jak podano powyżej dla rozpatrywanego domu jednorodzinne pasywnego, wyliczone sezonowe obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło wynosi 1623,7 kWh, co daje wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku –  $E_A=15$  kWh/m<sup>2</sup>·rok i określa budynek jako pasywny i obliczenia te były wykonane przed rozpoczęciem budowy w roku 2007, stąd bazowały na powyższej normie [PN-B-02025:2001]. Obecnie stosuje się normę [PN-EN ISO 13790:2009].

Należy nadmienić, iż jest to wynik dla domu w stanie suchym, a więc niekoniecznie wiarygodny dla pierwszego sezonu grzewczego, który zazwyczaj jest najbardziej niekorzystnym pod względem zużycia energii cieplnej.

Ponadto w związku z tym, że dom zaprojektowano według PN-B-02025:2001, uwzględniającej średnie temperatury zewnętrzne i radiację całkowitą (promieniowanie słoneczne) z wielolecia oraz, że zima 2009/2010 charakteryzowała się temperaturami i promieniowaniem słonecznym niższymi [Lubuska Sieć Monitoringu] niż te przyjęte według PN-B-02025:2001, obliczenia po obserwacji podczas eksploatacji domu zweryfikowano do rzeczywistych warunków temperaturowych wewnętrznych i zewnętrznych wraz z rzeczywistym promieniowaniem słonecznym i wyniki podano w dalszej części pracy.

### **Prowadzenie obserwacji podczas eksploatacji domu**

Obserwacje przeprowadzono w pierwszym sezonie grzewczym 2009/2010. Obejmowały one badanie temperatur: obok budynku na głębokości ok. 25 cm pod budynkiem przy ścianie fundamentowej, pod budynkiem 1 m od ściany fundamentowej, wewnątrz domu w każdym z pomieszczeń, nawiewu z centrali wentylacyjnej oraz wilgotność powietrza wewnątrz każdego z pomieszczeń. Obserwacje dotyczyły również średniego dobowego zużycia całej energii w domu. Jednak dla celów porównawczych niniejszej pracy wzięto pod uwagę jedynie średnią miesięczną temperaturę wewnątrz pomieszczeń, gruntu pod domem i średnią miesięczną temperaturę zewnętrzną oraz radiację całkowitą zgodnie z Lubuską Siecią Monitoringu. W dalszej części pracy odniesiono się także do dziennego zużycia całkowitej energii na pozostałe cele bytowe. Temperaturę wewnątrz pomieszczeń mierzono termometrami trzy razy dziennie (rano o godz. ok. 7.00, po południu o godz. ok. 15.00 i wieczorem o godz. ok. 22.00), pomiar podlegał weryfikacji rtęciowym termometrem wzorcowym.

Dla obliczenia rzeczywistych słonecznych zysków ciepła, rzeczywiste sumy miesięcznego całkowitego promieniowania słonecznego padającego na przegrody pionowe ( $90^\circ$ ) przeliczono jako stosunek sumy miesięcznego promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą ( $0^\circ$ ) z wielolecia odczytanych z PN-B-02025:2001 do rzeczywistej sumy pomierzonych wartości promieniowania słonecznego padających na płaszczyznę poziomą ( $0^\circ$ ) w rozpatrywanym sezonie grzewczym [Lubuska Sieć Monitoringu], a następnie uzyskany ze stosunku wynik procentowy, pomnożono przez sumy miesięcznego całkowitego promieniowania słonecznego padającego na przegrody pionowe ( $90^\circ$ ) z wielolecia, odczytane z PN-B-02025:2001.

Głównym systemem dogrzewającym jest biokominek, a dodatkowym źródłem kable elektryczne podłogowe, jednak dla bardzo dokładnego pomiaru zużycia energii w pierwszym sezonie grzewczym uruchamiano dogrzewanie praktycznie wyłącznie przy pomocy kabli grzejnych.

### Rzeczywiste i obliczeniowe zużycie energii dostosowane do warunków rzeczywistych

Poniżej podano wyniki teoretyczne i rzeczywiste zużycia energii w domu mającym spełnić warunki budynku pasywnego. Wyniki dotyczą całego okresu grzewczego od 26.IX.2009 r. (czyli od początku sezonu grzewczego w woj. lubuskim) do 10.V.2010 r. [PN-B-02025:2001].

Dla przyjętych rzeczywistych warunków obliczeniowych z rozpatrywanego wyżej okresu ponownie wyliczono wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku i wynosi on –  $E_A=16,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Wskaźnik ten jest wyższy niż wymagane maksymalnie  $15,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , jednakże wynika to z bardziej niekorzystnych parametrów powietrza zewnętrznego minionej zimy.

Tab. 3. Zestawienia zużycia energii cieplnej z poszczególnych miesięcy sezonu grzewczego 2009/2010

Tab. 3. Comparisons of thermal energy consumption for each month of the heating season 2009/2010

Miesiąc	Średnia temp. wewn. [°C]	Średnia temp. zewn. [°C]	Średnia temp. gruntu pod domem [°C]	Zapotrzebowanie na ciepło wg obliczeń przepisów [kWh/m-c]	Rzeczywiste zużycie energii [kWh/m-c]
Wrzesień (26-30)	23,1	14,3	16,0	8,2	0,0
Październik	21,1	5,4	14,0	147,1	93,7
Listopad	20,7	4,9	12,5	161,8	165,3
Grudzień	20,2	-3,1	10,5	332,1	355,7
Styczeń	20,1	-8,3	8,2	481,5	615,2
Luty	19,9	-3,2	7,1	289,9	328,9
Marzec	20,0	1,7	8,1	206,9	207,5
Kwiecień	20,1	6,1	8,9	99,2	12,0
Maj (1-10)	20,9	8,5	10,9	34,4	0,0
<b>SUMA [kWh/rok]</b>	-	-	-	<b>1761,2</b>	<b>1778,3</b>
<b>Wskaźnik roczny [kWh/m<sup>2</sup>·rok]</b>	-	-	-	<b>16,3</b>	<b>16,4</b>

W całkowitym bilansie trzeba także uwzględnić średnie dzienne zużycie energii na pozostałe cele inne niż grzewcze (bytowe+ c.w.u.) stanowiące zyski ciepła. Rzeczywiste zużycie energii elektrycznej na te cele w rozpatrywanym

domu w sezonie grzewczym wynosiło średnio dobowo przez pierwsze sześć miesięcy 13,0 kWh, a następnie w ostatnich trzech miesiącach (marcu, kwietniu i maju) spadło średnio do 10,0 kWh.

### **Analiza porównawcza zużycia obliczeniowego ze zużyciem rzeczywistym**

Obliczenia teoretyczne spełniły założenia domu pasywnego dla parametrów zgodnych z normą [PN-B-02025:2001], jednak jak wspomniano wyżej dla celów prawidłowego porównania zostały one zmodyfikowane do rzeczywistych temperatur zewnętrznych i wewnętrznych oraz rzeczywistego promieniowania słonecznego [Lubuska Sieć Monitoringu]. Ważnym jest to, iż wykorzystano rzeczywiste temperatury występujące pod budynkiem w trakcie trwania sezonu grzewczego i w związku z tym obliczenie strat ciepła do gruntu nie wymagało skomplikowanych obliczeń [PN-B-02025:2001, PN-EN ISO 6946].

Aby dom spełnił wymagania pasywnego, wskaźnik rzeczywistego zużycia musiałby maksymalnie wynosić tyle co wskaźnik obliczeniowy dostosowany do warunków rzeczywistych rozpatrywanego sezonu grzewczego tj. 16,3 kWh/m<sup>2</sup>·rok. Rzeczywista wartość wynosząca 16,4 kWh/m<sup>2</sup>·rok jest prawie równa dopuszczalnej. Należy wziąć pod uwagę fakt, iż analiza dotyczy pierwszego sezonu grzewczego, który po budowie domu charakteryzuje się bardzo często zwiększonym zapotrzebowaniem ciepła w związku z odparowaniem m. in. wilgoci technologicznej. Dodatkowo uwagę zwracają różnice zużycia całkowitego w niektórych miesiącach. W pierwszych tygodniach dom prawdopodobnie oddawał jeszcze zakumulowaną część energii otrzymanej pod koniec lata, tuż po ukończeniu jego budowy, stąd mniejsze zapotrzebowanie.

W związku z utrzymującą się wysoką wilgotnością 65-75% przez część grudnia, cały styczeń i przez część lutego dom był celowo przesuszany (wymiana powietrza ok. 0,7 1/h tj. 170 m<sup>3</sup>/h przez ok. 5 tygodni w ciągu dnia i ok. 1,5 1/h tj. 360 m<sup>3</sup>/h przez 1 tydzień przez prawie całą dobę), stąd dużo większe rzeczywiste zużycie energii o ok. 170 kWh, niż wynikało z obliczeń. Jednakże działanie to zmniejszyło w dalszym okresie użytkowania wilgotność, która utrzymywała się już w zakresie 45-65%, najczęściej osylując wokół 55%.

W kwietniu zużyte 12 kWh zostało dostarczone wyłącznie biokominkiem z biopaliwa (bioetanolu) przy przyjęciu 5,5 kWh z 1 dm<sup>3</sup> biopaliwa (zużyto 2,2 dm<sup>3</sup>). Wartość ta w porównaniu z energią elektryczną może być obciążona ok 10% błędem wynikającym z przybliżonej wartości opałowej biopaliwa (bioetanolu), jednak założenie to nie ma istotnego znaczenia dla wyniku końcowego a tak znaczna różnica w zużyciu energii mogła wynikać z dodatkowego ogrzania poddasza nieużytkowego pokrytego blachodachówką przez promieniowanie słoneczne. Spowodować to mogło zmniejszenie strat ciepła przez stropodach.



Podobna sytuacja dotyczy miesiąca maja. Pozostałe miesiące mają zbliżone do siebie wartości zużycia energii, mimo że część energii w tych miesiącach w rzeczywistości została spożytkowana również na odparowanie części wilgoci technologicznej.

Jak wspomniano wyżej dobowe zużycie energii elektrycznej na cele inne niż grzewcze zostało zredukowane z 13 kWh na 10,0 kWh. Na początkową średnią miało wpływ indywidualnie, bardzo duże dzienne zużycie (kuchenka elektryczna) związane z kilkoma okolicznościami odbywającymi się w rozpatrywanym budynku jak święta Bożego Narodzenia i Nowy Rok w miesiącu grudniu oraz kilkudniowe spotkanie rodzinne pod koniec lutego. Okoliczności te bardzo znacząco wpłynęły na średnią 13 kWh. Natomiast zmniejszenie zużycia wynikało, oprócz braku występowania powyższych okoliczności, z bardziej energooszczędnego używania urządzeń, a także ich optymalnych ustawień, które mogły zostać dokonane po sześćciu miesięcznej obserwacji zużycia energii elektrycznej przez poszczególne urządzenia w powiązaniu z przyzwyczajeniami domowników.

Zużycie energii elektrycznej na cele inne niż grzewcze jest bardzo istotne, gdyż z niej wynika potrzebna na te cele energia pierwotna. Energia elektryczna charakteryzuje się współczynnikiem nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii do budynku równym 3,0 [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 6 listopada 2008 r.] (wartość przyjmowana w przypadku braku znajomości szczegółowych podziałów i rodzajów źródeł energii biorących udział w faktycznym jej wytwarzaniu, a następnie dostarczeniu przez dostawcę).

W przypadku głównego źródła dogrzewającego – biokominka współczynnik ten wynosi 0,2 i ma niewielki wpływ w przypadku domu pasywnego na zwiększenie energii pierwotnej [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 6 listopada 2008 r.].

## Wnioski

Wstępna koncepcja domu pasywnego obejmująca newralgiczne punkty jest podstawą do optymalnego projektu, a następnie do bezbłędnego wykonawstwa i związanych z tym kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Analiza kosztów pozwala na korzystny dla nas wybór odpowiednich rozwiązań, które niekoniecznie muszą być drogie i „modne”, aby pomóc spełnić rygorystyczne wytyczne dla domu pasywnego. Wręcz przeciwnie, budowa domu pasywnego powinna wymuszać ograniczenia inwestycyjne kosztów związanych przede wszystkim z systemem grzewczym, co jest jak najbardziej możliwe do spełnienia przy tak małym zapotrzebowaniu na ciepło. Również należy dokładnie przeanalizować koszty zużycia ciepłej wody użytkowej, która niekoniecznie musi być przygotowywana przez drogie i „modne” urządzenia, aby móc speł-

niać standardy budynku pasywnego i przynosić w długotrwałym użytkowaniu korzyści finansowe.

Trzeba również zwrócić uwagę na mimo wszystko prostotę rozwiązań w rozpatrywanym domu skupiającą się głównie na ograniczeniu strat energii cieplnej bez stosowania dodatkowych, wspomnianych wyżej urządzeń typu pompy ciepła, kolektory słoneczne, fotowoltaiki itp. Urządzenia te tak naprawdę nie zmniejszają zapotrzebowania na energię danego domu, powodują jedynie zmniejszenie energii pierwotnej, tj. energii potrzebnej na wytworzenie energii finalnej którą może być np. energia elektryczna.

Oplacalność budowy domu pasywnego nie jest tak oczywista jak jego niskie koszty eksploatacyjne. Można jednak stwierdzić, że w wykonaniu wg niniejszej pracy jest on przedsięwzięciem opłacalnym. Należy jednak to bardzo dokładnie przeanalizować w oparciu o wstępną koncepcję i przewidywane z nią koszty. Dokładna i trafna analiza, a następnie podjęcie odpowiednich decyzji może przynieść nam znaczne korzyści i potwierdzenie wyliczeń w rzeczywistych wynikach eksploatacyjnych.

W przypadku omawianego w niniejszej pracy budynku, wyniki te okazały się bardzo optymistyczne, gdyż biorąc pod uwagę, iż był to pierwszy sezon grzewczy i duża część energii została zużyta na przesuszenie budynku, mogą one świadczyć o tym, że dom spełnił wymagania maksymalnego wskaźnika  $E_A$  dla budynku pasywnego. W kolejnych sezonach grzewczych, po wysuszeniu budynku, rzeczywiste zużycie będzie jeszcze bardziej korzystne, tym bardziej, że dom wymaga jeszcze drobnych korekt i wykończeń, które wpłyną korzystnie na jego energooszczędność.

Dla domu pasywnego, oprócz wskaźnika zapotrzebowania na cele grzewcze dla warunków obliczeniowych wynoszącego maksymalnie  $E_A = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , zużycie całkowitej energii pierwotnej powinno, wraz z uwzględnieniem wspomnianego wyżej wskaźnika grzewczego, wynosić maksymalnie  $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Przy zużyciu energii elektrycznej przez cały rok w ciągu doby na poziomie maksymalnie  $11,6 \text{ kWh}$ , co daje  $39,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$  ( $11,6 \cdot 365 / 108,3$ ) otrzymujemy zapotrzebowanie na energię pierwotną równe  $117,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$  ( $39,0 \cdot 3,0$ ). Wraz z wykorzystaniem na cele grzewcze biokominka, dla którego zapotrzebowanie na energię pierwotną wynosi  $3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$  ( $15,0 \cdot 0,2$ ), całkowite zużycie energii pierwotnej wynosiłoby maksymalnie  $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$  ( $117,0 + 3,0$ ). Biorąc pod uwagę ostatnie średnio dobowe zużycie energii elektrycznej w marcu, kwietniu i maju na poziomie  $10,0 \text{ kWh}$  i przy założeniu utrzymania go przez cały rok, zapotrzebowanie na energię pierwotną będzie mniejsze niż wymagane. Istotnym jest również to, że w przypadku zmniejszenia współczynnika nakładu energii elektrycznej np. przez zakład energetyczny, dom może stać się budynkiem o znacznie niższym zużyciu energii pierwotnej niż  $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , bez jakichkolwiek zmian i dodatkowych kosztów inwestycyjnych poniesionych przez inwestora.

Ponadto należy zwrócić uwagę na to, iż tak małe zużycie energii wpływa korzystnie na środowisko chroniąc je przed degradacją spowodowaną m. in. wydobywaniem paliw nieodnawialnych.

### Literatura

1. GIOVANARDI A., TROI A., SPARBER W., BAGGIO P.: *Dynamic simulation of a passive house in different locations in Italy*. PLEA 2008 – 25<sup>th</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22<sup>nd</sup> - 24<sup>th</sup> October 2008
2. CHWIEDUK D.: *Charakterystyka systemów z długoterminowym magazynowaniem energii w gruncie*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 1/1998
3. CHWIEDUK D.: *Kierunki rozwoju budownictwa niskoenergetycznego*. IV Konferencja Naukowo- Techniczna „problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię” – Energodom`98, str. 75-90, Kraków- Mogilany, 14 października 1998
4. CHWIEDUK D.: *Wybrane przykłady nowoczesnych rozwiązań stosowanych w budownictwie niskoenergetycznym*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 7/1999
5. FEIST W.: *Forschungsprojekt passive Hauser*. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1988
6. GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY: *Efektywność wykorzystania energii w latach 1997-2007*. Warszawa 2009
7. HUMM O.: *NiedrigEnergie Und PassiveHauser*. Okobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 1998
8. JĘDRZEJEWSKA- ŚCIBAK T., SOWA J.: *Budynek zdrowy czy energooszczędny alternatywa czy kompromis*. IV Konferencja Naukowo- Techniczna „problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię”- Energodom`98, str. 167-174, Kraków- Mogilany, 14 października 1998
9. KLUGMANN- RADZIEMSKA E.: *Przyszłość fotowoltaiki- instalacje zintegrowane z budynkiem*. Czysta Energia, II/2007
10. LIPINSKI M.: *Certyfikowany dom pasywny*. Profiokno 1/2009
11. LISEK A. (Red.): *Odnawialne źródła energii w architekturze*. Politechnika Śląska, Gliwice 1995
12. *Lubuska Sieć Monitoringu Zanieczyszczeń Powietrza* prowadzona przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Zielonej Górze.
13. *Planning and Installing Photovoltaic Systems. A guide for installers, architects and engineers*. James & James 2005

14. PN-B-02025:2001: *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.*
15. PN-EN ISO 6946: *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.*
16. PN-EN 12831: *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*
17. PN-EN ISO 13370: *Właściwości cieplne budynków - Wymiana ciepła przez grunt - Metody obliczania.*
18. PN-EN ISO 13790:2009: *Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.*
19. PN-EN ISO 14683: *Mostki cieplne w budynkach - Liniowy współczynnik przenikania ciepła - Metody uproszczone i wartości orientacyjne.*
20. PN-82/B-02403: *Ogrzewnictwo. Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne.*
21. *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, maksymalny wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku*
22. *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.*
23. The 1st Nordic passive house conference. Passivhus Norden 2008 April 2 and 3 in Trondheim, Norway
24. The 2nd Nordic passive house conference. Passivhus Norden 2009 April 27-29 in Göteborg, Sweden
25. WNUK R.: *Dom Pasywny- standard nowoczesnego budownictwa.* Czysta energia, 3/2007
26. WNUK R.: *Budowa domu pasywnego w praktyce.* Przewodnik Budowlany, 2006
27. ŻURAWSKI J.: *Analiza opłacalności stosowania odnawialnych źródeł energii, efekt ekologiczny,* Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska

## **CONSTRUCTION, COSTS AND OPERATION OF PASSIVE HOUSE**

### *S u m m a r y*

*This paper describes the technical solution adopted in the example of passive house built in province Lubuskie, Zawada, Poland, owned by author of this paper and compared to alternative solutions in a traditional house. Also highlighted how important is to analyze the profitability of investments considered a passive house. Paper also shows the real energy use in the first passive house heating season.*

Key words: passive house, a heat pump, solar collector, biofuel, bioethanol, energy efficiency, ecology, building passive house, energy-saving solutions, thermal bridges, renewable energy, real energy consumption