Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Dom „KORNELIA" - studium energooszczędności
cz. 2
Charakterystyki energetyczne

Do oceny charakterystyki energetycznej domu należy głównie obliczyć następujące wskaźniki rocznego zapotrzebowania energii:

- wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną EP, określony wg [1] jako:

$$EP = \frac{w_H \cdot Q_{KH} + w_{el} \cdot E_{pomH} + w_W \cdot Q_{KW} + w_{el} \cdot E_{pomW}}{A_f} \quad \text{, kWh/(m}^2\text{ rok)}$$

- wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową EK, określony wg [1] jako:

$$EK = \frac{Q_{KH} + Q_{KW}}{A_f} \quad \text{, kWh/(m}^2\text{ rok)}$$

gdzie:

w_H - współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii końcowej (ciepła na cele ogrzewania i wentylacji) do budynku,

w_{el} - współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej do budynku,

w_W - współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii końcowej (ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej) do budynku,

Q_{KH} - roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania i wentylacji, kWh/rok

Q_{KW} - roczne zapotrzebowanie na energię końcową do podgrzania c.w.u., kWh/rok

E_{pomH} - roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną końcową do napędu urządzeń pomocniczych do ogrzewania i wentylacji, kWh/rok

E_{pomW} - roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną końcową do napędu urządzeń pomocniczych przygotowania c.w.u., kWh/rok

A_f - powierzchnia ogrzewana budynku o regulowanej temperaturze, m^2

Dla stanu wg projektu (z uwzględnieniem zmian wprowadzonych na życzenie inwestora) uzyskujemy następujące wyniki:

- EP = 167,44 kWh/m^2 rok,
- EK = 134,56 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna EP wg WT2008 wynosi 168,03 kWh/m^2 rok. Zatem, budynek w stanie projektowym spełnia wymagania energetyczne aktualnych przepisów podanych w [2], choć do energooszczędnych nie należy.

BDB

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Ponadto, z obliczeń uzyskujemy:

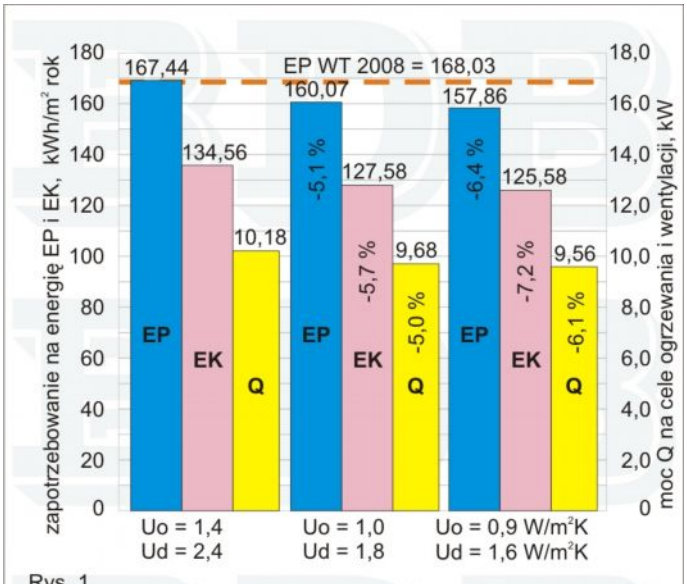
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 158,93 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 96,89 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 25.852,16 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła olejowego wynosi:
  - na cele c.o. QH = 6,30 kW
  - na cele wentylacji QV = 3,88 kW
  - na cele c.w.u. QW = 0,23 kW

Zapotrzebowanie energii na cele c.w.u. będzie pokrywane w przerwach pracy c.o., moc kotła do zainstalowania obejmie ogrzewanie i wentylację i wynosi Qk = 10,18 kW.

Skoro dom wg stanu projektowego spełnia wymagania określone wytycznymi [2], to naturalne staje się pytanie: na ile opłacalne i możliwe oraz do jakich granic jest zmniejszenie zużycia energii przez ten budynek podczas eksploatacji?

2. Stan projektowany, a stolarka okienno-drzwiowa

Przyjrzyjmy się zatem, jak zmieni się charakterystyka energetyczna domu, jeśli zastosujemy w nim stolarkę okienno-drzwiową o coraz mniejszych współczynnikach przenikania ciepła U. Wyniki analizy przedstawia rysunek 1.



Rys. 1
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją grawitacyjną przy normatywnych współczynnikach U ścian, podłóg i dachu (stan wg projektu) dla różnych wartości współczynników U okien i drzwi.

Widać, że zmniejszenie U okien z 1,4 W/m^{2}K na 1,0 W/m^{2}K oraz drzwi wejściowych z 2,4 W/m^{2}K na 1,8 W/m^{2}K, powoduje pewne zmniejszenie zapotrzebowania domu na energię, tj. EP obniża się z 167,44 do wartości 160,07 kWh/m^2 rok (o 5,1 %), zaś EK z 134,56 do wartości 127,58 kWh/m^2 rok (o 5,7 %).

Dalsze zmniejszenie U okien do wartości 0,9 W/m^{2}K oraz drzwi wejściowych do 1,6 W/m^{2}K, w małym już tylko stopniu wpływa na polepszenie własności energetycznych domu, gdyż EP spada do 157,86 kWh/m^2 rok (o kolejne 1,3 %), zaś EK spada do 125,58 kWh/m^{2}rok (o 1,1 %).

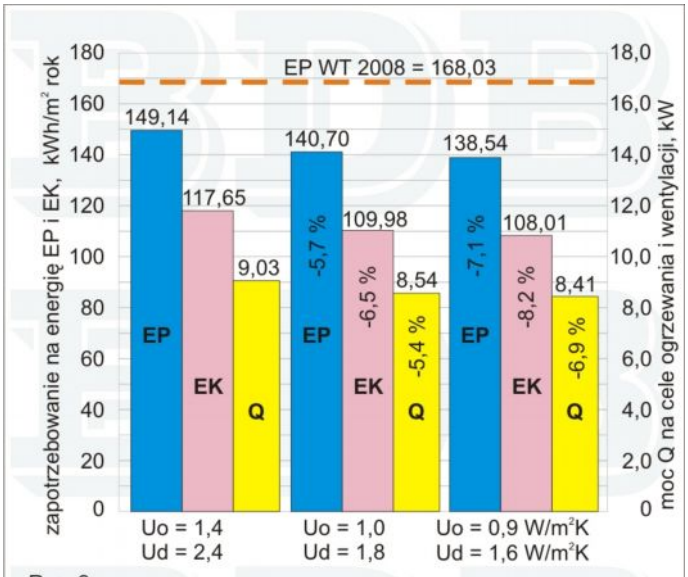
Wynika stąd, że dalsze obniżanie przenikania ciepła przez stolarkę okienno-drzwiową nie wywoła już istotnych korzyści energetycznych, co wynika ze stosunkowo małego udziału powierzchni stolarki w łącznej powierzchni przegród tracących ciepło tego domu. Jest to istotne, gdyż im mniejszy współczynnik przenikania ciepła U stolarki, tym wyższe są jej koszty zakupu i tym dłuższy jest okres zwrotu poniesionych na nią nakładów, co czyni taką inwestycję w tym domu nieopłacalną.

3. Stan projektowy, a ocieplenie przegród tracących ciepło

Następnym, wręcz samoistnie narzucającym się krokiem, jest sprawdzenie możliwości zmniejszenia strat ciepła tego domu poprzez dodatkowe ocieplenie przegród tracących ciepło. W tym celu dokonujemy ponownych obliczeń cieplnych - tym razem dokładając w stosunku do rozwiązania projektowego po 5 cm termoizolacji o współczynniku przewodzenia ciepła λ = 0,04 W/mK (styropian lub wełna mineralna) do przegród: ścian zewnętrznych, podłogi na gruncie, stropu nad piwnicą oraz dachu. Otrzymuje się następujące wartości współczynników przenikania ciepła:

- ✓ ścian zewnętrznych U = 0,21 W/m^{2}K,
- ✓ dachu U = 0,20 W/m^{2}K,
- ✓ podłogi na gruncie U = 0,29 W/m^{2}K,
- ✓ stropu nad piwnicą U = 0,29 W/m^{2}K.

Wyniki obliczeń energetycznych przedstawia rysunek 2. Widać, że nawet dla zwykłej stolarki okienno-drzwiowej, uzyskuje się wyraźny spadek EP do wartości 149,14 kWh/m^{2}rok (o 10,9 %), zaś zmniejszenie EK do wartości 117,65 kWh/m^{2}rok (o 12,6 %) w stosunku do stanu projektowego. W tym przypadku, przez porównanie z rysunkiem 1, daje się zauważyć wyraźnie większy wpływ obniżania przenikalności cieplnej stolarki na zużycie energii przez dom, co oznacza, że stosowanie stolarki o niższych wartościach U jest tym bardziej zasadne, im mniejsze są współczynniki U przegród zewnętrznych.



Rys. 2
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją grawitacyjną po dociepleniu ścian, podłóg i dachu wełną grub. 5 cm dla różnych wartości współczynników U okien i drzwi.

Naturalna staje się też konieczność sprawdzenia efektów energetycznych przy dalszym zwiększaniu grubości ocieplenia tych samych przegród domu Wprowadzając docieplenie w stosunku do stanu projektowego warstwą grubości 10 cm otrzymuje się następujące wartości współczynników przenikania ciepła:

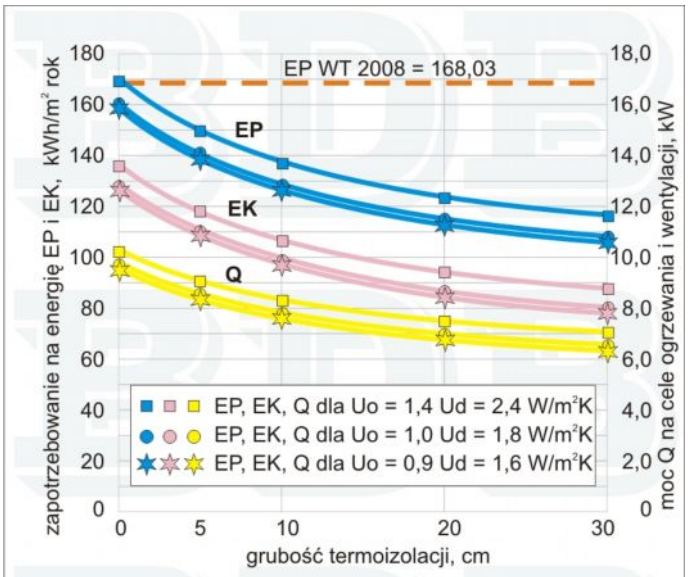
- ✓ ścian zewnętrznych U = 0,17 W/m^{2}K,
- ✓ dachu U = 0,16 W/m^{2}K,
- ✓ podłogi na gruncie U = 0,21 W/m^{2}K,
- ✓ stropu nad piwnicą U = 0,21 W/m^{2}K.

Wprowadzając docieplenie w stosunku do stanu projektowego warstwą grubości 20 cm otrzymuje się wartości współczynników przenikania ciepła:

- ✓ ścian zewnętrznych U = 0,12 W/m^{2}K,
- ✓ dachu U = 0,11 W/m^{2}K,
- ✓ podłogi na gruncie U = 0,14 W/m^{2}K,
- ✓ stropu nad piwnicą U = 0,14 W/m^{2}K.

Wprowadzając docieplenie w stosunku do stanu projektowego warstwą grubości 30 cm otrzymuje się wartości współczynników przenikania ciepła:

- ✓ ścian zewnętrznych U = 0,09 W/m^{2}K,
- ✓ dachu U = 0,09 W/m^{2}K,
- ✓ podłogi na gruncie U = 0,10 W/m^{2}K,
- ✓ stropu nad piwnicą U = 0,10 W/m^{2}K.



Rys. 3
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją grawitacyjną w zależności od grubości termoizolacji ścian, podłóg i dachu przy różnych wartościach współczynników U okien i drzwi.

Postępując identycznie jak poprzednio, po stosownych obliczeniach energetycznych dla w/w wartości U przegród przy różnych wartościach U stolarki, sporządzono szereg podobnych jak na rys. 2 wykresów, zaś zbiorcze wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 3.

Widać, że docieplenie przegród ze stanu projektowego o 10 cm powoduje obniżenie się EP do wartości 136,40 kWh/m^{2}rok (o 18,5 %), zaś EK spadek do 106,06 kWh/m^{2}rok (o 21,2 %). Dalsze zwiększanie grubości ocieplenia nadal zmniejsza te wskaźniki, ale już w coraz mniejszym stopniu. Potwierdza się także poprzedni wniosek, że zastosowanie stolarki o najniższych wartościach wsp. U nie daje istotnej poprawy energetycznej w tym domu.

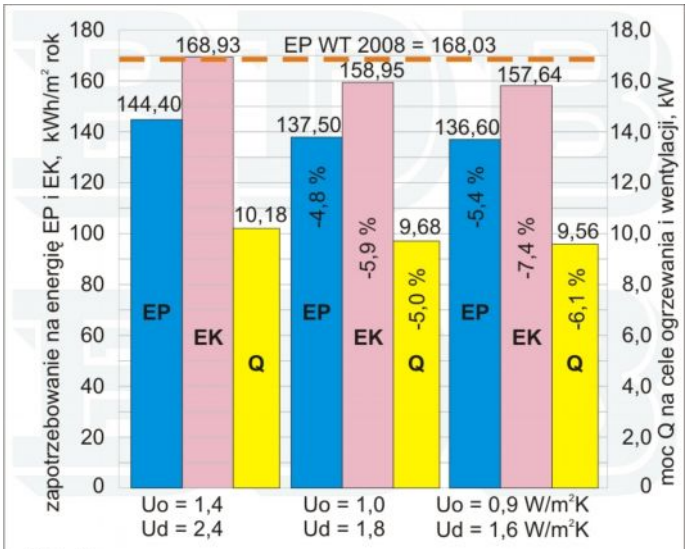
Ważnym wnioskiem jest też ten, że drogą silnego docieplenia przegród tracących ciepło w tym domu (termoizolacją grubości 30 cm) można uzyskać obniżenie wartości EP najwyżej do 118 kWh/m^{2}rok, zaś EK do wartości 89 kWh/m^{2}rok. Stosując zaś, stolarkę o wsp. U = 0,9 W/m^{2}K można jeszcze obniżyć EP do wartości 105 kWh/m^{2}rok oraz EK do wartości 80 kWh/m^{2}rok i będą to wartości właściwie graniczne do osiągnięcia tym sposobem.

Czy jednak silne docieplenie ma sens ekonomiczny i jaka jest jego granica dla tego domu, odpowiedzieć będzie można po optymalizacji poszczególnych U jako wartości ekonomicznie uzasadnionych. O tym, w punkcie 7 tego studium.

4. Zastosowanie kominka z płaszczem wodnym

Zastosowanie kominka jako źródła ciepła wspomagającego pracę kotła olejowego leży w planach inwestora. Ważne zatem, będzie przeanalizowanie nowych charakterystyk energetycznych z udziałem eksploatacji kominka z płaszczem wodnym opalanego drewnem lub pelletami. W grę wchodzi współpraca kominka z instalacją c.o. poprzez zastosowanie bufora pojemności 100-150 l z podwójną wężownicą i wydzieloną pompą go ładującą - pracującą z kominkiem w układzie otwartym - ze sterowaniem temperaturą bufora oraz wymaganą górną temperaturą kotła. Potrzebny będzie także układ zmieszania z wodą powrotną instalacji c.o. z zastosowaniem zaworu dwudrogowego w wypadku podgrzania wody w buforze do temperatury wyższej, niż ustalona podczas doboru wielkości grzejników i ogrzewania podłogowego. Rozwiązanie to wy-

maga sporządzenia projektu instalacyjnego oraz przeprowadzenia regulacji systemu podczas rozruchu przed oddaniem domu do eksploatacji.

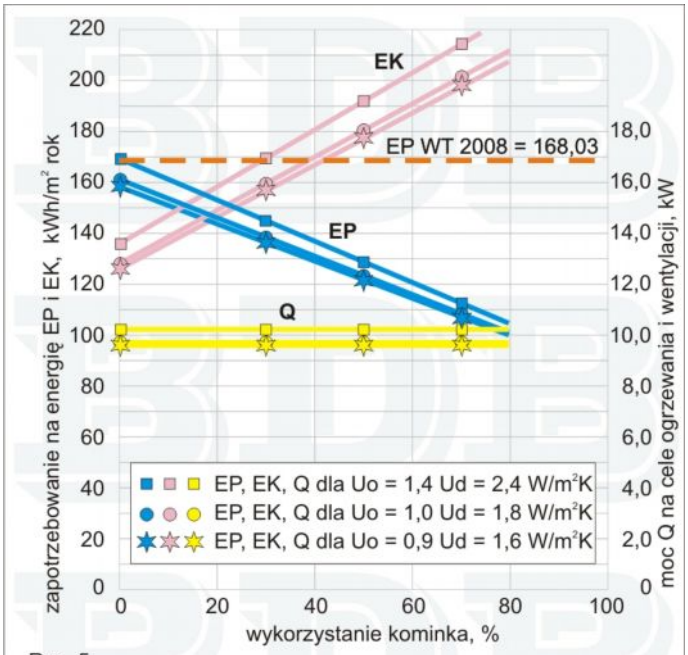


Rys. 4
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją grawitacyjną przy normatywnych współczynnikach U ścian, podłóg i dachu (stan wg projektu) dla różnych wartości współczynników U okien i drzwi, przy 30% wykorzystaniu kominka z płaszczem wodnym.

Wyniki obliczeń po zastosowaniu kominka o sprawności 60% z udziałem 30% w zapotrzebowaniu ciepła na cele ogrzewania i wentylacji domu przedstawia rysunek 4.

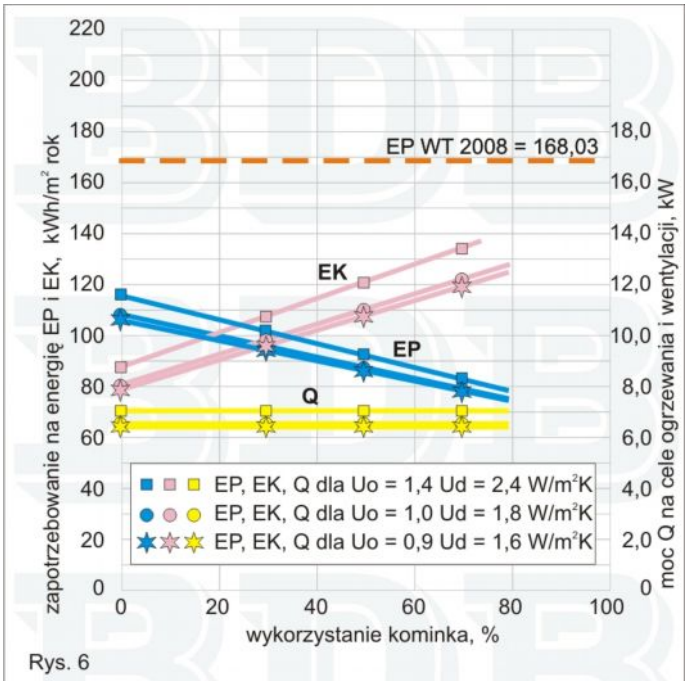
Widać, że w stosunku do stanu projektowego wystąpiło istotne zmniejszenie wskaźnika EP do wartości 144,40 kWh/m^{2}rok (o 13,8 %), ale wskaźnik EK wzrósł do wartości 168,93 kWh/m^{2}rok (o 25,5 %). Wskaźnik EP zmalał na skutek zastąpienia oleju opałowego (o współczynniku nakładu w_H = 1,1 biomasą (o współczynniku nakładu w_H = 0,2). Wzrost wskaźnika EK spowodowany został dużo niższą sprawnością energetyczną kominka (60%) niż kotła olejowego (86%).

Postępując podobnie, obliczono inne warianty z coraz większym stopniem wykorzystania kominka jako źródła energii. Zbiorcze wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 5. Opisany mechanizm jest tym większy, im większy jest stopień wykorzystania kominka jako źródła energii dla domu. Przy wykorzystaniu kominka z udziałem 80%, wskaźnik EP obniża się do ok. 100 kWh/m^{2}rok i jest o 60% niższy niż wynikający ze stanu projektowego, ale wskaźnik EK wzrasta do ok. 226 kWh/m^{2}rok i jest aż o 68% wyższy niż wyjściowy. Wykorzystanie kominka w tym domu z udziałem ok. 20 % zrównuje wartości obu wskaźników EP i EK.



Rys. 5
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją grawitacyjną w zależności od stopnia wykorzystania kominka do ogrzewania przy różnych wartościach współczynnika U okien i drzwi.

Podobne obliczenia przeprowadzono także dla różnych grubości ocieplenia przegród domu, a przykładowe wyniki zbiorcze po zastosowaniu termoizolacji grubości 30 cm przedstawia rysunek 6. W tym przypadku, po tak znacznym



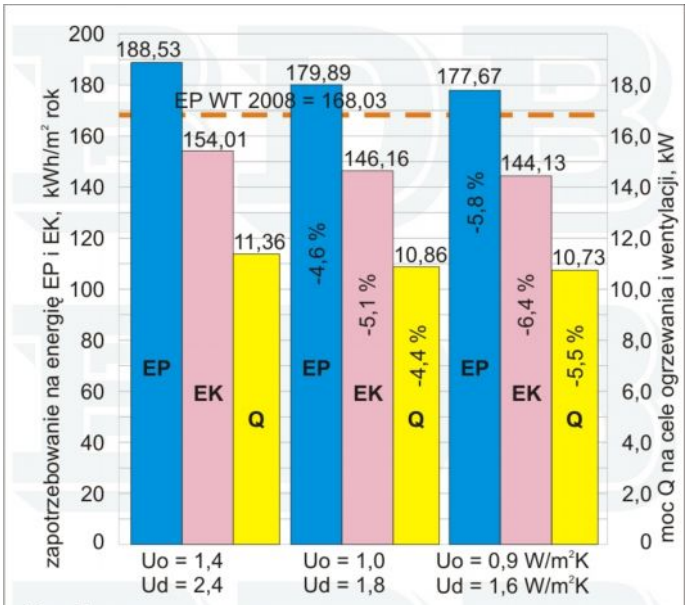
Rys. 6
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją grawitacyjną w zależności od stopnia wykorzystania kominka do ogrzewania po dociepleniu warstwą 30 cm przy różnych wartościach współczynnika U okien i drzwi.

ociepleniu przegród tracących ciepło, zastosowaniem kominka z udziałem wykorzystania 80% można dodatkowo obniżyć wskaźnik EP do 80 kWh/m^{2}rok, ale przy wyraźnym wzroście wskaźnika EK do wartości ok. 140 kWh/m^{2}rok.

Zatem, chcąc uzyskać korzystny i istotny spadek wskaźnika EP, ale przy tym utrzymać wskaźnik EK na niezmienionym poziomie, należy zastosować kominek o tej samej sprawności co kocioł olejowy, tj. ok. 85%. Biorąc jednak pod uwagę konstrukcje obecnie stosowanych kominków z płaszczem wodnym, i ich sprawności, jest to raczej nie do zrealizowania.

5. Wentylacja wymuszona

Niezwykle istotną - w aspekcie dalszego obniżenia wskaźników EP i EK niż podane w punkcie 3, jest możliwość wykorzystania rekuperacji czyli odzysku ciepła wentylacyjnego. W tym celu konieczne jest wykonanie analiz energetycznych po zamianie wentylacji grawitacyjnej na mechaniczną w tym domu - przy tej samej wymaganej ilości powietrza wentylacyjnego, tj. 200 m^3/h. Wykonano szereg obliczeń z zastosowaniem wentylacji mechanicznej (przy różnych wartościach współczynnika przenikania ciepła U stolarki okienno-drzwiowej), a ich wyniki przedstawia rysunek 7.



Rys. 7
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją mechaniczną bez rekuperacji przy normatywnych współczynnikach U ścian, podłóg i dachu (stan wg projektu) dla różnych wartości współczynników U okien i drzwi.

Widać, że wskaźniki EP i EK są wyraźnie wyższe niż w przypadku zastosowania wentylacji grawitacyjnej. Skąd takie wyniki, mimo iż w obu przypadkach występują te same ilości strumienia wentylacyjnego?

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Otóż, istotną rolę w bilansie energetycznym odgrywa wielkość strumienia powietrza dodatkowego, wdzierającego się do budynku na skutek infiltracji.

Dla celów porównawczych, przyjmujemy te same warunki w obu wariantach, tj. brak wykonywanych prób szczelności domu po jego wykonaniu oraz położenie nieosłonięte w otwartym terenie (co jest zgodne z warunkami zabudowy działki inwestora). Dla takiego przypadku, wielkość strumienia powietrza infiltrującego określana jest wg [1] następująco:

- przy wentylacji grawitacyjnej w wyniku nieszczelności obudowy domu na skutek działania wiatru i wyporu termicznego:

$$V_{\inf} = 0{,}2 \cdot V_{ve} \quad , \text{m}^3/\text{h}$$

- przy wentylacji mechanicznej zrównoważonej (przy ilości powietrza nawiewanego równej ilości powietrza wywiewanego) w wyniku nieszczelności przy pracy wentylatorów, wpływu wiatru i wyporu termicznego:

$$V_x = V_{ve} \cdot n_{50} \cdot e \quad , \text{m}^3/\text{h}$$

gdzie:

V_{ve} - kubatura wewnętrzna wentylowana, m^3

n_{50} - krotność wymiany powietrza w budynku wywołana różnicą ciśnień 50 Pa, h-1

e - współczynnik osłonięcia budynku

W analizowanym domu stosując wentylację mechaniczną mamy n_{50} = 4 oraz e = 0,10 co po wymnożeniu przez siebie daje wartość 0,4 tj. 2 razy większą niż przy zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej, gdzie mnożnik ten wynosi 0,2. Ten fakt odbija się właśnie na większym strumieniu powietrza infiltrującego oraz tym samym na większym zapotrzebowaniu ciepła na cele ogrzewania i wentylacji po zastosowaniu wentylacji wymuszonej. Z rysunku 7 widać, że nie wiele pomaga stosowanie stolarki szczelnej i o niskich współczynnikach przenikania ciepła U.

Jeśli dom nie będzie wykonany jako uszczelniony z dokonaną próbą szczelności i uzyskanym n_{50} < 1,5 to sama zamiana wentylacji grawitacyjnej na mechaniczną, zamiast zysków, przyniesie straty energetyczne, tj. wyższe zapotrzebowanie energii na cele ogrzewania i wentylacji, a wskaźnik EP wzrośnie o 12,6%, zaś EK o 14,5% w stosunku do bilansu z zastosowaniem wentylacji grawitacyjnej.

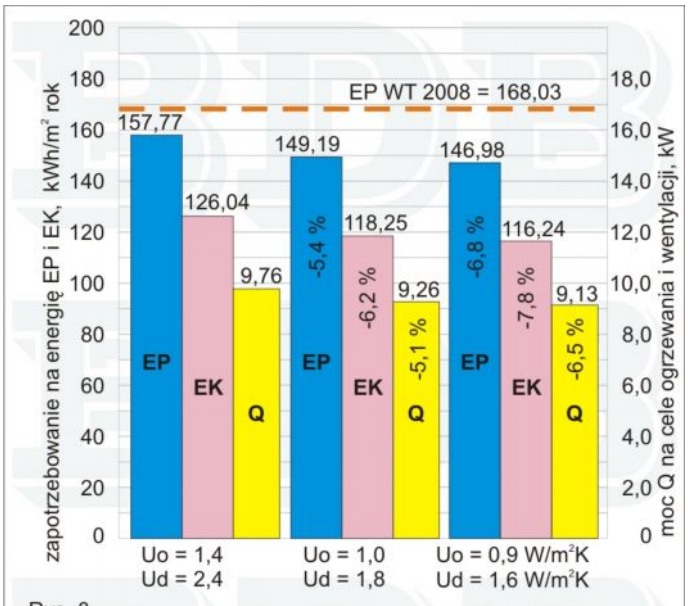
6. Zastosowanie rekuperacji ciepła wentylacyjnego

Zastosowanie wentylacji mechanicznej wymusza jej działanie przez cały rok (zimą i latem), co likwiduje największą wadę wentylacji grawitacyjnej, tj. zależność skuteczności od różnicy temperatur: zewnętrznej i wewnętrznej. Ponadto, poza kontrolowanym i stałym rozdziałem powietrza w całym domu, pozwala zastosować rekuperację ciepła wentylacyjnego, tj. odzyskanie części ciepła wyrzucanego z powietrzem wywiewanym do atmosfery. Ilość ciepła odzyskanego jest tym większa, im większa jest sprawność rekuperatora.

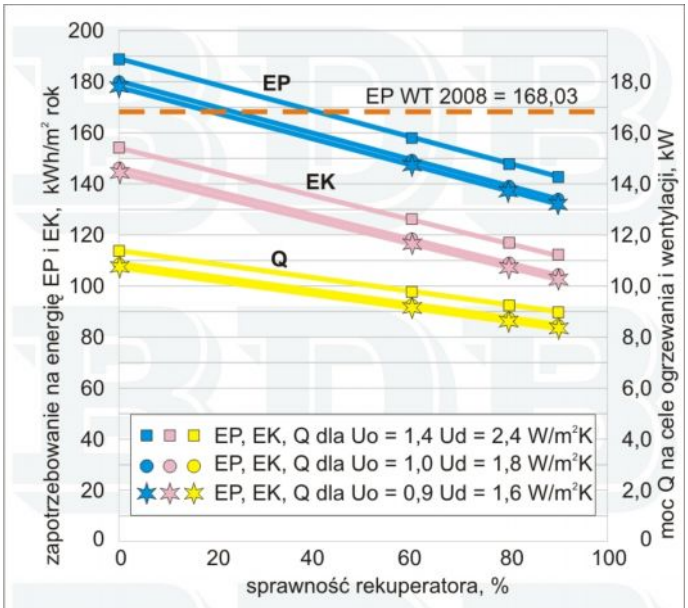
BDB

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Wykonujemy więc, kolejne analizy energetyczne tego domu - z zastosowaniem wentylacji mechanicznej oraz rekuperacji ciepła wentylacyjnego. Dla zachowania możliwości porównań z domem wyposażonym w wentylację grawitacyjną, przyjmujemy iż dom nie będzie mieć wykonywanej próby szczelności, aż do uzyskania n_{50} < 1,5.



Rys. 8
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją mechaniczną z rekuperacją 60% przy normatywnych współczynnikach U ścian, podłóg i dachu (stan wg projektu) dla różnych wartości współczynników U okien i drzwi.



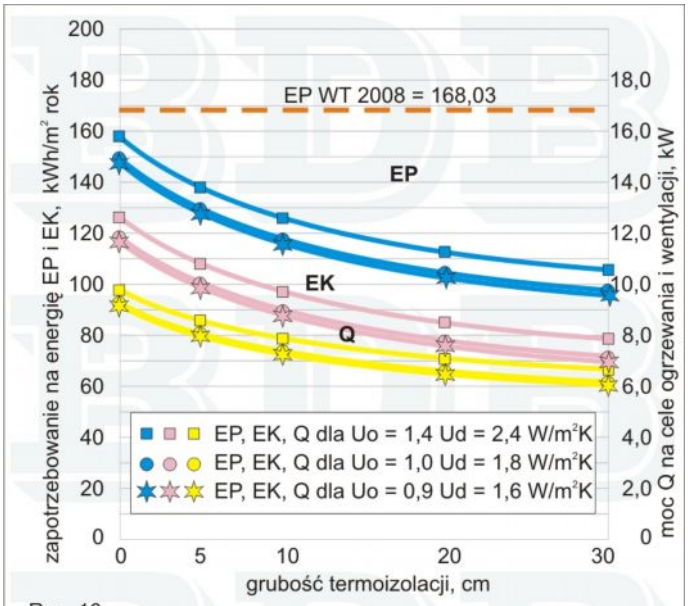
Rys. 9
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją mechaniczną w zależności od sprawności rekuperacji przy różnych wartościach współczynników U okien i drzwi.

Przykładowe wyniki, po zastosowaniu rekuperatora o sprawności 60% w domu w stanie projektowym i wentylacji mechanicznej, przedstawia rysunek 8. Widać, że rekuperacja taka zmniejszyła wskaźnik EP do wartości 157,77 kWh/m^{2}rok (o 16,3%), zaś wskaźnik EK o 18,2% w stosunku do wartości z wykresu 7.

Przyjmując w kolejnych wersjach coraz większe sprawności rekuperatora, obliczamy nowe charakterystyki energetyczne domu. Uzyskane wyniki przedstawia rysunek 9. Widać, że zastosowanie rekuperatora o sprawności 90% pozwala na zmniejszenie wskaźnika EP z wartości 188,53 kWh/m^{2}rok do 142 kWh/m^{2}rok (przy stolarce klasycznej) i do 133 kWh/m^{2}rok (przy stolarce energooszczędnej) - czyli o ok. 26% w stosunku do wartości z wykresu 7.

Im większa jest sprawność rekuperatora, tym mniejsze są wskaźniki EP i EK, co bezpośrednio prowadzi do spadku wymaganej mocy kotła olejowego - niezbędnej do zainstalowania - na pokrycie potrzeb cieplnych domu.

Widać też, że możliwa do osiągnięcia najniższa wartość EP jest jednak znacznie większa niż osiągana za pomocą kominka i wentylacji grawitacyjnej (rysunek 5). Spowodowane jest to faktem, że zapotrzebowanie energii na cele ogrzewania jest większe niż wentylacji oraz faktem, że do zapewnienia odzysku ciepła oraz utrzymania wentylacji



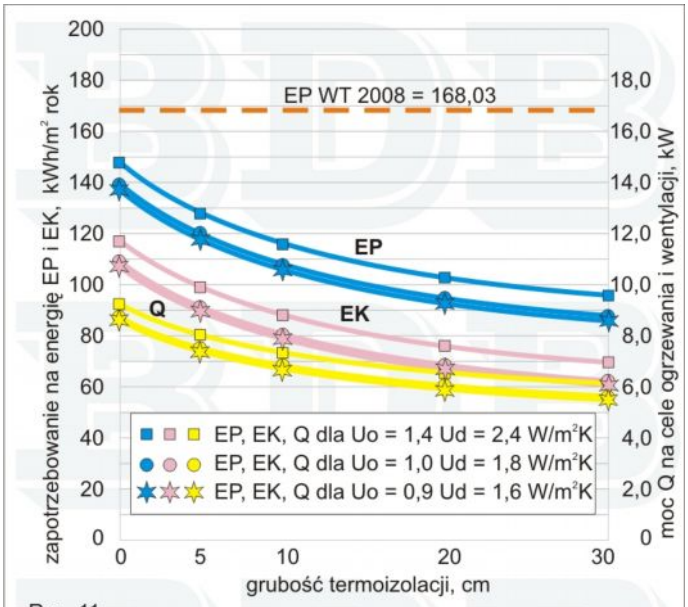
Rys. 10
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją mechaniczną z rekuperacją 60% w zależności od grubości termoizolacji ścian, podłóg i dachu przy różnej wartości współczynników U okien i drzwi.

przez cały rok, trzeba użyć dodatkowej energii elektrycznej do napędu wentylatorów, która w pewnym stopniu obniża ostateczny efekt bilansu energetycznego.

Łatwo zauważyć, że w przypadku domu bez zapewnienia wymaganej szczelności, aż 20-40 % skuteczności rekuperacji tracone jest stale na pokrycie zwiększonego zapotrzebowania ciepła na infiltrację. Fakt ten jednoznacznie wskazuje na konieczność zapewnienia wysokiej szczelności domu, jeśli zastosowana będzie wentylacja mechaniczna, aby wartość n_{50} nie była większa niż 1,5.

Ważnym zagadnieniem jest rozważenie także charakterystyki energetycznej domu w przypadku zastosowania wentylacji mechanicznej z rekuperacją, ale przy różnych stopniach ocieplenia przegród tracących ciepło w stosunku do stanu projektowego. Wnioski płynące z takiej analizy pozwolą wytyczyć kierunek poszukiwania rozwiązań zapewniających jak najniższe zapotrzebowanie energii do eksploatacji tego domu.

Wyniki obliczeń z zastosowaniem rekuperatora sprawności 60% oraz przy różnych grubościach ocieplen i różnych klasach stolarki okienno-drzwiowej przedstawia rysunek 10.

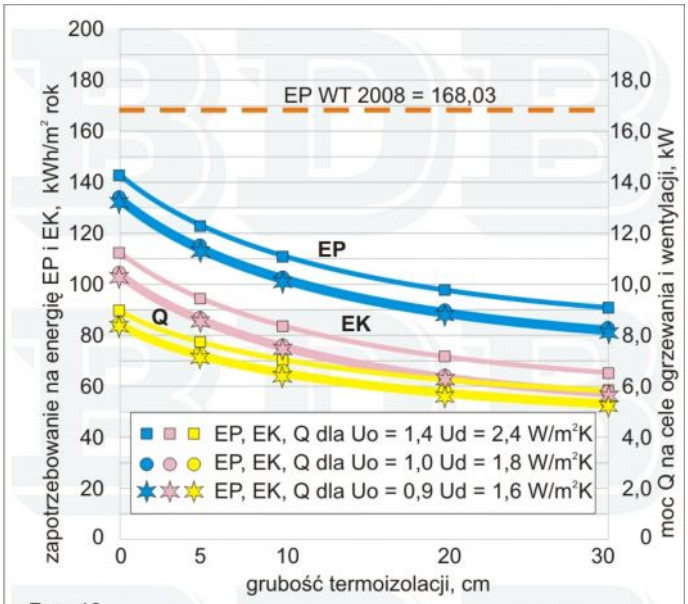


Rys. 11
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją mechaniczną z rekuperacją 80% w zależności od grubości termoizolacji ścian, podłóg i dachu przy różnej wartości współczynników U okien i drzwi.

Odpowiadające wyniki obliczeń, ale dla sprawności rekuperatora wynoszącej 80% przedstawia rysunek 11, zaś dla sprawności rekuperatora 90% przedstawia rysunek 12.

Przy zastosowaniu rekuperatora sprawności 60%, wskaźnik EP znajduje się w przedziale 108 - 160 kWh/m^{2}rok, zaś EK w przedziale 80 - 127 kWh/m^{2}rok.

Przy zastosowaniu rekuperatora sprawności 80%, wskaźnik EP znajduje się w przedziale 95 - 150 kWh/m^{2}rok, zaś EK w przedziale 70 - 118 kWh/m^{2}rok.



Rys. 12
Zapotrzebowanie na energię EP, EK oraz moc Q domu z wentylacją mechaniczną z rekuperacją 90% w zależności od grubości termoizolacji ścian, podłóg i dachu przy różnej wartości współczynników U okien i drzwi.

Przy zastosowaniu rekuperatora sprawności 90%, wskaźnik EP znajduje się w przedziale 90 - 142 kWh/m^{2}rok, zaś EK w 65 - 112 kWh/m^{2}rok.

W każdym przypadku, zastosowanie stolarki energooszczędnej zmniejsza wskaźnik EP o ok. 10 kWh/m^{2}rok, zaś wskaźnik EK o ok. 8 kWh/m^{2}rok. Minimalną jedynie różnicę wnosi zamiana stolarki z U = 1,0 W/m^{2}K na U = 0,9 W/m^{2}K.

Widać, że najbardziej dynamiczne obniżenie wskaźników energetycznych EP i EK występuje przy docieplenia przegród warstwą grubości 15-20 cm (największa stromość krzywych). Na skutek dodatkowego zastosowania rekuperatorów o sprawności zaledwie 60%, już znacznie polepsza się bilans energetyczny domu. Przy większych grubościach termoizolacji niż 20 cm dla tego domu (współczynniki przenikania ciepła ścian i dachu wynoszące ok. 0,12 W/m^{2}K oraz podłogi na gruncie ok. 0,14 W/m^{2}K), wpływ ocieplenia przegród wyraźnie maleje wraz ze wzrostem tej grubości. Pojawia się kolejne pytanie o określenie celowości czy raczej opłacalności tak dużego ocieplenia przegród - w aspekcie kosztów inwestycyjnych i uzyskiwanych oszczędności w zużyciu energii końcowej EK. Fakt ten wskazuje na potrzebę wykonania obliczeń optymalizujących określających ekonomicznie uzasadnione wartości współczynników przenikania ciepła U i wynikających stąd grubości ociepleń przegród tracących ciepło.

7. Optymalizacja współczynników przenikania ciepła U

Na podstawie metodologii określania ekonomicznie uzasadnionych wartości współczynnika U - stosowanych w Belgii, Szwecji oraz Niemczech, a także w Polsce - opisanych w [3], dla tej konstrukcji i układu domu wykonuje się takie obliczenia dla poszczególnych przegród tracących ciepło. Przy przyjęciu obecnych cen detalicznych (brutto) materiałów budowlanych przewidzianych do zastosowania w tym domu, średnich w kraju kosztów robocizny, średnich cen wyposażenia instalacji grzewczych i wentylacyjnych oraz obecnej ceny za olej opałowy 2,38 zł/l (także brutto) i oszacowaniu okresu amortyzacji tej inwestycji na 20 lat, w wyniku obliczeń uzyskuje się następujące wartości współczynników przenikania ciepła U dla tego domu - dające minimum sumy łącznych rocznych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych:

- ścian zewnętrznych Us = 0,180 W/m^{2}K
- dachu Ud = 0,148 W/m^{2}K
- podłogi na gruncie i stropu nad piwnicą Up = 0,213 W/m^{2}K
- stolarki okienno-drzwiowej Uo = 1,13 W/m^{2}K
- drzwi wejściowych Ud = 1,8 W/m^{2}K

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Jak widać, są to wartości znacznie mniejsze niż przyjęto w projekcie (zgodnie z aktualnymi wytycznymi). Obliczone z powyższych wartości U grubości warstw termoizolacyjnych przegród domu wynoszą:

- ✓ ścian zewnętrznych - styropian EPS-80 grub. 10 cm (Us = 0,166 W/m^{2}K),
- ✓ dachu - wełna mineralna na całej wysokości krokwi 20 cm oraz od spodu dodatkowa warstwa wełny mineralnej grub. 10 cm (Ud = 0,136 W/m^{2}K),
- ✓ podłogi i stropu nad piwnicą - styropian XPS grub. 16 cm (Up = 0,213 W/m^{2}K).

8. Charakterystyka energetyczna domu wg optymalizacji U

Dla tych wartości U przegród tracących ciepło oraz przy zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz dla stolarki okiennej U = 1,1 W/m^{2}K i drzwi wejściowych U = 1,8 W/m^{2}K, dokonano ponownie obliczeń charakterystyki energetycznej i uzyskano następujące wyniki:

- EP = 127,71 kWh/m^2 rok
- EK = 98,17 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 96,89 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na ogrzewanie i wentylację QPH = 18.870,84 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 3,88 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

Wobec tego, że zapotrzebowanie energii na c.w.u. będzie pokrywane w przerwach pracy kotła na cele c.o., moc kotła do zainstalowania wynosi Qk = 7,79 kW.

Wyniki są znacznie bardziej korzystne w stosunku do projektu (spełniającego przecież wymagania obowiązujących wytycznych), gdyż zapotrzebowanie energii na cele ogrzewania i wentylacji dla tego domu zmniejszyło się o 27 %, zaś na cały dom o 24 %. O tyle też obniżyła się wymagana moc kotła olejowego, co istotnie obniża koszt jego zakupu oraz zmniejsza zużycie oleju i wymaganą pojemność zbiornika oleju.

9. Wykorzystanie instalacji solarnej

Wobec planu inwestora zastosowania instalacji solarnej, dokonujemy obliczenia nowej charakterystyki energetycznej ostatniego wariantu, ale z wykorzystaniem kolektorów słonecznych na cele c.w.u. w ilości 30% rocznego zapotrzebowania (z zasobnikiem 300 l umieszczonym w piwnicy oraz kolektorem o sprawności 60% na dachu i wydzieloną pompą ładującą sterowaną temperaturą zasobnika). Zasobnik wyposażony w podwójną wężownicę (do kotła oraz do kolektora). W tym wariancie, uzyskuje się następujące wyniki:

- EP = 123,09 kWh/m^2 rok
- EK = 99,49 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 96,89 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 18.870,84 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 2.595,24 kWh/rok

BDB

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 3,88 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

Wobec tego, że zapotrzebowanie energii na cele c.o. i wentylacji nie uległy zmianie, moc kotła do zainstalowania nie uległa zmianie i wynosi Qk = 7,79 kW.

Jak widać, w małym tylko stopniu zmieniają się charakterystyki energetyczne domu. Jedynie zapotrzebowanie energii na cele c.w.u. zmniejsza się o 30% (zastąpione energią słoneczną), zaś na cały dom zaledwie o 4 %. O tyle też obniży się zużycie oleju opałowego, a roczne oszczędności wyniosą zaledwie 192 zł. Stawia to pod znakiem zapytania celowość montażu instalacji solarnej dla tego domu.

Większe wprawdzie efekty uzyska się montując kolektory słoneczne o wyższej niż 60% sprawności, ale biorąc pod uwagę, że w tej lokalizacji domu można uzyskać najwyżej 30-35 % pokrycia rocznych potrzeb ciepła na cele c.w.u., oszczędności roczne wyniosą max. 300 zł rocznie. Stosunkowo niskie efekty zastosowania instalacji solarnej są spowodowane klasycznym przeciwieństwem skutków: z jednej strony mamy zysk powodowany darmową energią słoneczną, z drugiej strony straty energii na jej pozyskiwanie (koszt energii elektrycznej napędzającej pompę ładującą oraz zapewniającą automatykę i sterowanie).

10. Wykorzystanie kominka z płaszczem wodnym

Ten wariant jest rozpatrywany w związku z planami inwestora. Jak wspomniano w punkcie 4, w grę wchodzi współpraca kominka z instalacją c.o. poprzez zastosowanie bufora pojemności 100-150 l z podwójną wężownicą i wydzieloną pompą go ładującą w układzie otwartym ze sterowaniem temperaturą bufora i górną temperaturą kotła, a także układem mieszania z wodą powrotną z zastosowaniem zaworu dwudrogowego - na wypadek podgrzania bufora do temperatury wyższej niż ustalona podczas doboru mocy grzejników i ogrzewania podłogowego.

Przyjmujemy, że 50% mocy na cele c.o. pokryje się pracą kominka o sprawności 60 % opalanego drewnem lub pelletami. W tym przypadku, na bazie wariantu z p. 8, uzyskuje się następujące wyniki:

- EP = 98,13 kWh/m^2 rok
- EK = 124,41 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 96,89 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 13.710,65 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok

Wymagana moc cieplna kotła nie ulega zmianie i wynosi 7,79 kW, gdyż zgodnie z przepisami, kominek nie może stanowić głównego źródła, a jedynie może wspomagać pracę źródła podstawowego.

Jak widać, wskaźnik EP uległ znacznemu zmniejszeniu (o 23%) na skutek wykorzystania biomasy w kominku, ale wskaźnik EK uległ zwiększeniu aż o 27 % - co wynika z faktu o wiele mniejszej sprawności kominka (zaledwie 60%) niż kotła olejowego (86%). Wartość opałowa pelletów wynosi ok. 17 MJ/kg, zaś drewna opałowego 7,5 - 10,5 MJ/m^3 (przy gęstości 400-600 kg/m^3). Porównując je do wartości opałowej oleju opałowego 42,6 MJ/kg przy gęstości 0,85 kg/l, widzimy, że powstałe oszczędności w

BDB

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

zużyciu oleju opałowego są kompensowane 2,3 razy większą masą spalanej biomasy. Jeśli się weźmie pod uwagę obecną cenę pelletów 700 zł/tonę i koszt energii z nich uzyskiwanej 0,044 zł/MJ oraz cenę oleju opałowego 2,38 zł/l i koszt energii z tego paliwa 0,066 zł/MJ, to okazuje się, że oszczędności finansowych nie ma. Biorąc pod uwagę koszt transportu drewna oraz jego składowanie, niecelowe jest wykorzystywanie kominka w tym domu do celów innych niż przyjemność bytowania przy nim - chyba, że celem jest polepszenie wskaźnika EP, którego znaczenie ma charakter jedynie poglądowy i porównawczy, bowiem wskaźnik EK bardziej cechuje rzeczywiste koszty eksploatacyjne. Jeśli się jednak inwestor zdecyduje na wykorzystanie kominka, powinien zakupić wyłącznie o najwyższej sprawności - jak najbardziej zbliżonej do sprawności omawianego kotła olejowego.

11. Zastosowanie wentylacji mechanicznej

Jak wspomniano w punkcie 5, zastosowanie wentylacji mechanicznej daje podstawę do zastosowania rekuperacji ciepła wentylacyjnego. Dla takiego przypadku, na bazie wariantu z p. 8 oraz przy braku próby szczelności budynku - uzyskuje się następujące wyniki:

- EP = 147,57 kWh/m^2 rok
- EK = 116,77 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 127,12 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 22.332,95 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 5,08 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

Wobec tego, że zapotrzebowanie energii na c.w.u. będzie pokrywane w przerwach pracy c.o., moc kotła do zainstalowania wynosi teraz Qk = 8,99 kW. Zapotrzebowanie ciepła na cele ogrzewania i wentylacji jest o 16% większe niż przy wentylacji grawitacyjnej, co wynika z opisanego w punkcie 5 braku wymaganej szczelności budynku i znacznie większego napływu powietrza w wyniku infiltracji.

Jeśli podczas prac zapewni się wysoką staranność i wykona próby szczelności, aż do uzyskania n_{50} < 1,5 to uzyska się następujące wyniki:

- EP = 122,08 kWh/m^2 rok
- EK = 93,60 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 89,34 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 17.887,96 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 3,57 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

BDB

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

Teraz moc kotła do zainstalowania obniży się do Qk = 7,48 kW. Jak widać, mamy zmniejszenie zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji do wartości 17887,96 kWh/rok, co jest nawet mniejsze o 5 % niż przy wentylacji grawitacyjnej (punkt 8). Wynika stąd, że mimo wyższych kosztów budowy domu, należy bezwzględnie dążyć do wysokiej szczelności, w przeciwnym razie aż 18 % ciepła odzyskanego w rekuperatorze pójdzie na wyrzucenie i zaledwie wyrówna bilans w stosunku do wentylacji grawitacyjnej.

12. Zastosowanie rekuperacji ciepła wentylacyjnego

Jeśli zastosuje się odzysk ciepła wentylacyjnego, to przy dobrej klasy rekuperatorze (o sprawności 80%) uzyska się następujące wyniki:

- EP = 82,70 kWh/m^2 rok
- EK = 57,80 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 36,00 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 11.020,79 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 1,44 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

Moc kotła wynosi teraz Qk = 5,35 kW, co jest wartością mniejszą aż o 31 % w stosunku do wariantu z wentylacją grawitacyjną. Zużycie energii na cele ogrzewania i wentylacji dla domu zmniejszyło się aż o 42 %.

13. Zastosowanie rurowego gruntowego wymiennika ciepła

Kontynuując poszukiwania dalszego zmniejszenia zapotrzebowania na energię, celowe jest rozpatrzenie zastosowania rurowego gruntowego wymiennika ciepła (GWC). Jeśli do ostatniego wariantu zastosuje się GWC długości ok. 100 m pomiędzy czerpnią powietrza a rekuperatorem, to uzyska się wyniki:

- EP = 79,12 kWh/m^2 rok
- EK = 53,45 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 29,34 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 10.395,82 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 1,17 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

Moc kotła do zainstalowania wynosi teraz Qk = 5,08 kW, co jest wartością mniejszą o 5 % w stosunku do wariantu bez GWC.

Chcąc zwiększyć sprawność GWC, należy zwiększyć jego długość. Gdyby zwiększyć ją do 400 m, uzyskuje się następujące wyniki:

- EP = 96,25 kWh/m^2 rok

BDB

Wszystkie prawa zastrzeżone All rights reserved

- EK = 50,86 kWh/m^2 rok
- Wartość graniczna wg WT2008 EPgr = 168,03 kWh/m^2 rok
- Wsp. strat mocy cieplnej na przenikanie ciepła Htr = 97,81 W/K
- Wsp. strat mocy cieplnej na wentylację Hve = 25,34 W/K
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji QPH = 13.383,68 kWh/rok
- Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na c.w.u. QPW = 3.402,54 kWh/rok
- Wymagana moc cieplna kotła:
  - na cele c.o. Qco = 3,91 kW
  - na cele wentylacji Qw = 1,01 kW
  - na cele c.w.u. Qcwu = 0,23 kW

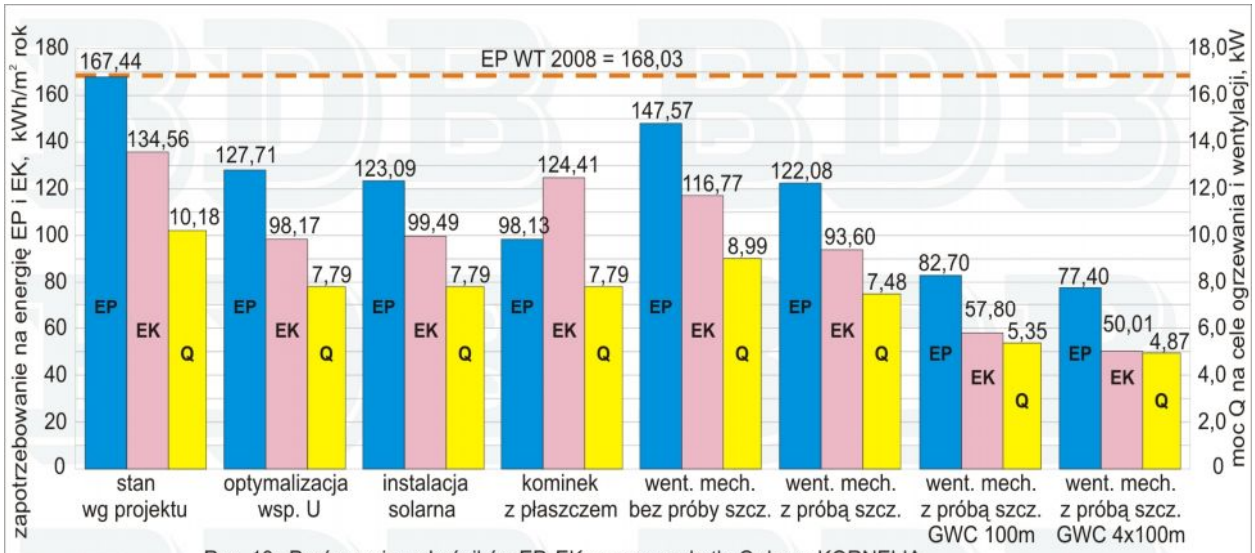
Moc kotła do zainstalowania wynosi teraz Qk = 4,92 kW, co jest wartością mniejszą o 3 % w stosunku do wariantu poprzedniego.

Rośnie jednakże wskaźnik EP, co jest wynikiem zwiększonej 2,95 razy mocy wentylatora ssącego - spowodowanej większymi oporami hydraulicznymi GWC. Uzyskujemy w tym wariancie wprawdzie poprawę wskaźnika EK o kolejne 3 %, ale tracimy na wskaźniku EP aż 22 %. Zatem GWC musi być wyłącznie konstrukcji równoległej (4 x 100 m), co pozwoli utrzymać wysoką jego sprawność przy tej samej mocy wentylatora. Uzyska się wówczas następujące wskaźniki:

EP = 77,44 kWh/m^{2}rok
EK = 50,01 kWh/m^{2}rok.

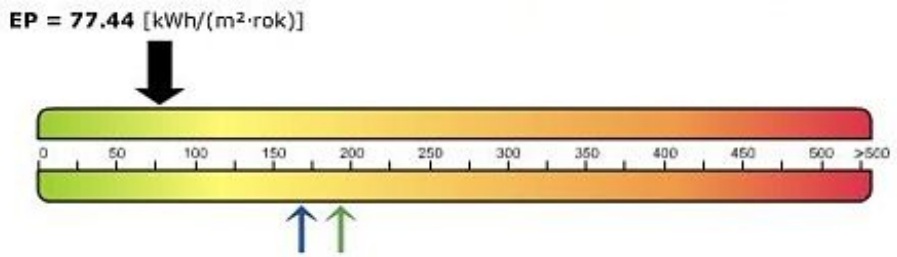
14. Podsumowanie analiz energetycznych

- Najlepsze efekty (najniższe koszty eksploatacyjne przy relatywnie najniższych kosztach inwestycyjnych) dla tego domu uzyska się stosując wariant opisany w punkcie 13 z GWC równoległym o długości 4x100 m.
- Zastosowanie instalacji solarnej zmniejszy wskaźniki EP i EK tylko o 3 - 4 %.
- Zastosowanie kominka z płaszczem wodnym o sprawności 60% obniży o wskaźnik EP o ok. 14%, ale jednocześnie podniesie wskaźnik EK o 25% - chyba, że zastosuje się kominek o sprawności ok. 85%, wówczas utrzyma się wskaźnik EK na tym samym poziomie, a zmniejszy EP nawet o 50 %.



Rys. 13 Porównanie wskaźników EP, EK oraz mocy kotła Q domu KORNELIA w różnych wariantach energooszczędności.

Reasumując, optymalne do uzyskania wskaźniki energetyczne dla tego domu wynoszą: EP = 77,44 kWh/m^{2}rok oraz EK = 50,01 kWh/m^{2}rok.



Zapotrzebowanie na energię pierwotną:	
Budynek oceniany:	**EP = 77.44** [kWh/(m²·rok)]
Budynek nowy wg wymagań WT2008:	**EP = 168.03** [kWh/(m²·rok)]
Budynek modernizowany wg wymagań WT2008:	**EP = 193.23** [kWh/(m²·rok)]
Zapotrzebowanie na energię końcową:	**EK = 50.01** [kWh/(m²·rok)]
Współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez wszystkie przegrody zewnętrzne:	H_{tr} = 97.81 [W/K]
Współczynnik strat mocy cieplnej na wentylacje:	H_{ve} = 24.00 [W/K]
Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system grzewczy i wentylacyjny do ogrzewania i wentylacji:	$Q_{P,H}$ = 10103.58 [kWh/rok]
Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system do podgrzania ciepłej wody:	$Q_{P,W}$ = 3402.54 [kWh/rok]

BDB

Wszelkie prawa zastrzeżone. Zabrania się bez pisemnej zgody autora kopiowania, powielania lub rozpowszechniania opracowania w jakiejkolwiek części lub całości.

mgr inż. Jerzy Zembrowski
BAZA DORADZTWA BUDOWLANEGO BDB
www.bdb.com.pl

ciąg dalszy: ➡ część 3

10.03.2009 r.