

Henryk FOIT

*Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania*

*Politechnika Śląska*

*ul. Konarskiego 20, 44-100 Gliwice*

e-mail: hfoit@kowito.ise.polsl.gliwice.pl

## JEDNOCZESNE WYZNACZANIE NAJKORZYSTNIEJSZEJ OCHRONY CIEPLNEJ I ŹRÓDŁA CIEPŁA DLA BUDYNKU MIESZKALNEGO

*Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę jednoczesnego wyznaczania najkorzystniejszej ochrony cieplnej i źródła ciepła dla budynku mieszkalnego oraz przykładowe wyniki badań przeprowadzonych za pomocą wynikającego z prezentowanej metody programu komputerowego dla wybranego budynku mieszkalnego.*

### SIMULTANEOUS DETERMINATION OF THE MOST BENEFICIAL THERMAL PROTECTION AND HEAT SOURCE FOR A HOUSE

*Summary. The scope of the paper is the presentation of the method of simultaneous designation of the most beneficial thermal protection and heat source for a house. The computer program adopted calculations is also described. The open character of the program makes it possible to run multi-variance analyses. The climactic data used in the program were derived from sequences of measurements of several meteorological stations collected in Poland for many successive years. Exemplary results of tests carried out by means of the program for a selected house are presented as well.*

#### Oznaczenia

$\{g_{iz}\}$  - układ grubości izolacji cieplnej we wszystkich przegrodach, przez które następuje strata ciepła z ogrzewanych pomieszczeń budynku do otoczenia.

r.i.c - rodzaj materiału izolacji cieplnej w przegrodach

$F_{dysD}$  - powierzchnia dyspozycyjna dachu

$F_{kol}$  - powierzchnia kolektorów słonecznych

$\{F_{ok.z.}\}$  - układ powierzchni okien w ścianach pionowych i połaciach stropodachu

m - wykładnik charakterystyczny grzejnika

r.ok.z. - rodzaj okien zewnętrznych

r.s.z. - rodzaj ścian zewnętrznych (ogólnie mogą być stosowane jednocześnie dwa rodzaje ścian zewnętrznych pionowych)

r.i.c.o. - rodzaj instalacji c.o.

r.i.w. - rodzaj instalacji wentylacyjnej

r.z.c. - rodzaj źródła ciepła

$t_{s,z}$  - temperatura wewnętrznej powierzchni przegród zewnętrznych budynku

$t_{ok,z}$  - temperatura wewnętrznej powierzchni okien

$\{\dot{Q}^{zr}\}$  - układ wielkości (mocy nominalnych) elementów wytwarzających ciepło w źródle

$\dot{Q}_B^N$  - nominalne zapotrzebowanie ciepła rozważanego budynku

$\dot{Q}^{cwu}$  - nominalne zapotrzebowanie ciepła dla podgrzania cwu

$V_z$  - objętość zasobnika (bufora) do gromadzenia ciepła

## 1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych zadań spełnianych przez budynek i instalacje w nim zawarte jest uzyskanie wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych właściwego stanu środowiska wewnętrznego, z którym związane jest między innymi dobre samopoczucie cieplne, nazywane komfortem cieplnym oraz odpowiednia czystość powietrza. Ogólny komfort użytkownika mieszkań zawiera w sobie również dostęp do odpowiedniej ilości i jakości (jednym z jej mierników jest temperatura) ciepłej wody użytkowej. Wytworzenie komfortu cieplnego jak również uzyskanie pożądanej ilości i jakości ciepłej wody użytkowej (nazywane tu warunkami cieplnymi użytkownika budynku) wymaga energii cieplnej. Zużycie energii cieplnej w budynku określają: stan ochrony cieplnej, rodzaj zastosowanego źródła ciepła oraz instalacji grzewczych i wentylacyjnej.

Racjonalizacja zużycia energii cieplnej oznacza właściwe ukształtowanie zapotrzebowania ciepła poprzez nadanie przegrodom otaczającym ogrzewane przestrzenie odpowiedniej izolacyjności cieplnej i szczelności powietrznej, zastosowanie odpowiednich pod względem sprawności regulacji, przesyłania i rozdziału instalacji grzewczych (c.o. i cwu), wentylacyjnych oraz przyjęcie optymalnego co do sprawności i emisji zanieczyszczeń źródła ciepła. W tym zawiera się również odpowiednie wykorzystanie bierne i czynne energii promieniowania słonecznego, energii z innych niekonwencjonalnych źródeł oraz ciepła odpadowego.

Wymienione czynniki są ze sobą wzajemnie związane. Zapotrzebowanie ciepła, zależne od oporu cieplnego przegród, współczynnika  $u$ , szczelności, przepuszczalności promieniowania i powierzchni okien wpływa na opłacalność zastosowania konkretnego źródła ciepła współpracującego z określonym rodzajem instalacji grzewczych, wentylacyjnych i urządzeń do odzysku ciepła. Zastosowane źródło ciepła określa ekonomicznie optymalny stopień zaizolowania cieplnego budynku. Zakres praktycznych przedziałów zmienności tych wielkości w połączeniu z możliwymi do zastosowania źródłami ciepła (kotły grzewcze, pompy ciepła, kolektory słoneczne, grzałki elektryczne, węzły cieplne, urządzenia do odzysku ciepła) i instalacjami grzewczymi oraz wentylacyjnymi (naturalna, mechaniczna wywiewna, pełna mechaniczna) tworzą zbiór, z którego należy dokonać wyboru rozwiązania optymalnego co do rodzaju i wielkości instalacji i źródła oraz rodzaju elementów przegród zewnętrznych.

Znane są środki materiałowe i techniczne służące do kształtowania pożądanych warunków cieplnych. Znaczna ilość materiałów budowlanych i urządzeń wyposażenia technicznego budynków oferowanych przez rynek oraz łatwa dostępność do nich powodują istnienie wielości praktycznie stosowanych lub możliwych do zastosowania rozwiązań.

Problemem jest wskazanie dla konkretnych warunków funkcjonowania budynku mieszkalnego takiego rozwiązania, które można uważać za optymalne. Poszukiwanie rozwiązania optymalnego możliwe jest po przyjęciu kryterium (lub kryteriów) optymalizacji. Wśród kryteriów mogą wystąpić kryteria wymierne i niewymierne. Zakładając pominięcie wskaźników niewymiernych, takich jak estetyka, zachowanie czystości elementów można stwierdzić, że właściwym kryterium poszukiwania rozwiązania optymalnego może być wskaźnik w postaci kosztów całkowitych [1,2] uzyskania wymaganych warunków cieplnych. Tak przyjęte kryterium, przy odpowiednim jego zapisie, wiąże ze sobą w jedną całość istotne wymierne wskaźniki oceny wariantu rozwiązania technicznego i jest bardzo ważne dla inwestora decydującego w sposób podstawowy o realizacji określonego rozwiązania. Wpływ, poprzez odpowiednie ustawy i rozporządzenia, na stan wybranych kryteriów cząstkowych pozwala również, na podstawie takiego kryterium, urzeczywistniać zamierzone cele polityki państwa w odniesieniu do: gospodarowania paliwami, energetyki, ochrony środowiska czy wywiązywania się ze spełniania przyjętych zobowiązań międzynarodowych. Kryterium w postaci kosztów całkowitych może również, po odpowiednim ukształtowaniu kryteriów cząstkowych, prowadzić do generowania rozwiązań dobrze wpisujących się w sprawę 'zrównoważonego rozwoju świata'[3].

## 2. Podstawowe założenia

Przyjęto następujące założenia podstawowe:

■ Rozważania dotyczyć będą budynku mieszkalnego o wstępnie zadanym rozwiązaniu architektonicznym, co oznacza, że określone zostały: kształt i orientacja budynku, kubatury, rodzaj i położenie wewnętrznych pomieszczeń jak również wskazana została obecność okien w przegrodach zewnętrznych z podaniem wymaganej ze względów oświetleniowych (minimalnej) ich powierzchni. Określony jest również sposób i program użytkowania pomieszczeń.

■ Warunkiem koniecznym i wystarczającym uzyskania w ogrzewanych pomieszczeniach rozpatrywanego budynku mieszkalnego właściwego mikroklimatu jest dostarczenie do pomieszczeń odpowiednich strumieni ciepła i powietrza, których wielkości wynikają z bilansu ciepła i wydzielanych zanieczyszczeń, przy czym przestrzeń wewnętrzna pomieszczenia traktowana jest jako punkt. Wymagana średnia temperatura wewnętrzna  $t_i$  jest funkcją średniej temperatury operacyjnej w budynku równej  $t_o=20^\circ\text{C}$ :

$$t_i = 2t_o - t_r \quad (2.1)$$

Dla przeciętnego budynku i grzejników konwekcyjnych oraz współczynników emisji własnej powierzchni otaczających ogrzewane wnętrza zbliżonych do jedności można napisać:

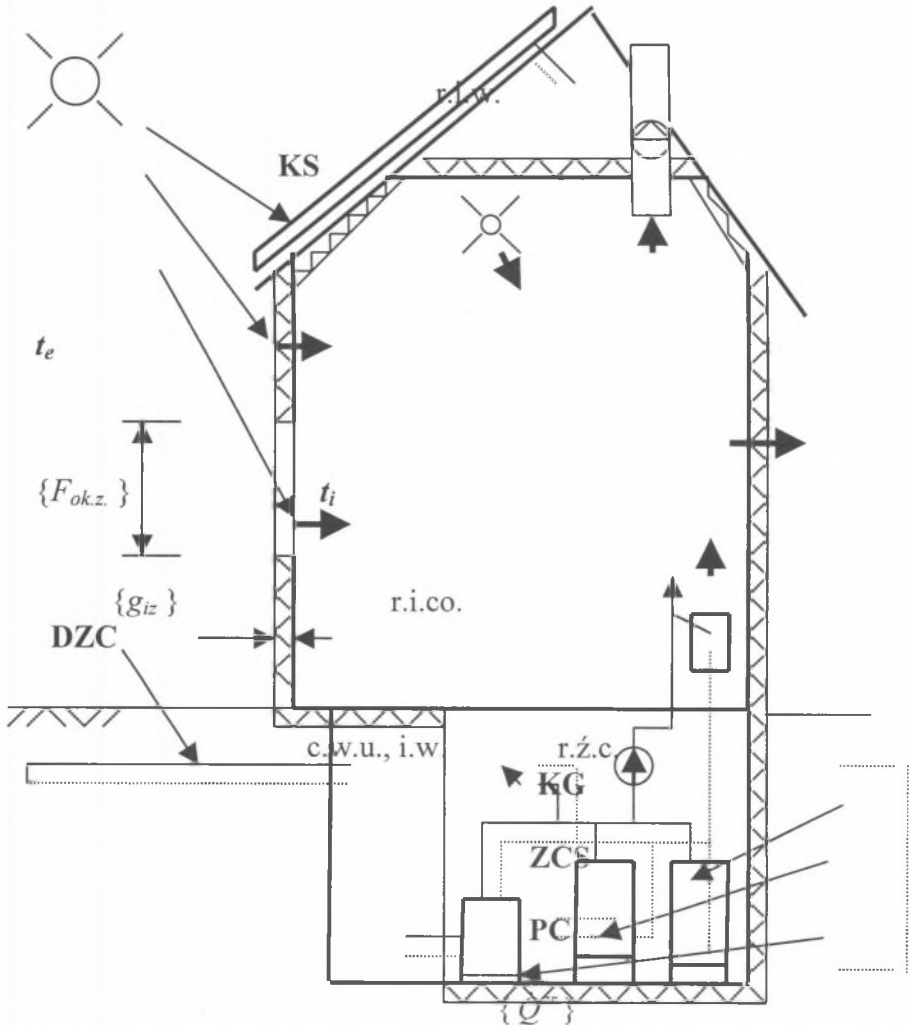
$$T_r^4 = 0.7T_i^4 + 0.25T_{s.z.}^4 + 0.04T_{ok.z.}^4 + 0.01T_g^4 \quad (2.2)$$

$$t_g = 60 \cdot 1 + m \sqrt{\left(1.2t_i - t_{s.z.} - 0.2t_{ok.z.}\right) / 18.2 + 0.357} + t_i \quad (2.3)$$

■ Wielkościami kształtującymi racjonalne zapotrzebowanie ciepła budynku są:

- rodzaj przegród budowlanych z uwzględnieniem oraz rodzaju i grubości izolacji cieplnej oraz zewnętrznej warstwy osłonowej (współczynnik  $u$ , akumulacja ciepła, absorpcja promieniowania słonecznego),

- rodzaj i powierzchnia okien wyposażonych w żaluzje zewnętrzne (minimalne oświetlenie, strumień promieniowania słonecznego wnikającego do pomieszczeń, wartość współczynnika  $u$ , szczelność powietrzna),



Rys. 1. Schemat ideowy budynku, dla którego poszukiwana jest najkorzystniejsza ochrona cieplna i źródło ciepła

Fig. 1. Schematic diagram of the house, for which the optimal thermal protection and heat supply are provided

- rodzaj instalacji c.o. (parametry nominalne czynnika grzewczego, sprawność przekazywania ciepła, sprawność regulacji),
- rodzaj instalacji wentylacyjnej (krotność wymian powietrza, możliwość kontroli przepływów powietrza wentylacyjnego i odzysk ciepła odlotowego).
- Wybór źródła ciepła oznacza wskazanie rodzaju źródła z podaniem mocy (wielkości) nominalnych elementów składowych. Określenie źródła ciepła może również sprowadzić się jedynie do ustalenia mocy elementów układów wieloźródłowych. Zbiór możliwych do zastosowania źródeł ciepła obejmuje:
  - kotły grzewcze zwykłe gazowe (KGG) i olejowe oraz kondensacyjne (KGGkond),
  - kotły węglowe zwykłe i automatyczne,
  - pompy ciepła sprężarkowe elektryczne (PC) z dowolnym dolnym źródłem ciepła: wymienniki dla poboru ciepła z wody, wymienniki gruntowe poziome lub pionowe, wymienniki dla pozyskiwania ciepła z powietrza,
  - układy dwuźródłowe pomp ciepła i kotłów grzewczych (KG),
  - wieloźródłowa stacja ciepła (kocioł, pompa ciepła z dowolnym dolnym źródłem ciepła, zwykłe lub próżniowe kolektory słoneczne (KS), zasobniki ciepła- ZSC),
  - kotły lub grzejniki wykorzystujące energię elektryczną (według dowolnej taryfy opłat) poprzez centralną instalację grzewczą lub miejscowe ogrzewanie akumulacyjne bądź płaszczyznowe i bezpośrednie punktowe lub akumulacyjne podgrzewacze cwu,
  - węzeł ciepłny dla poboru ciepła z sieci ciepłej.

### 3. Funkcja celu do poszukiwania racjonalnej ochrony cieplnej i wyboru źródła ciepła dla budynku mieszkalnego

Prezentacja funkcji celu umożliwia przedstawienie zasadniczych grup wielkości określających rozwiązanie optymalne. Funkcją celu do rozważanego problemu są koszty całkowite dla uzyskania wewnątrz budynku potrzebnego układu temperatur przy wymaganej intensywności wentylacji oraz przygotowania odpowiedniej ilości cwu.

$$k_c = f\left\{\{g_{iz}\}, \{r_{i.c.}\}, \{F_{ok.z.}\}, \{r_{ok.z.}, r_{s.z.}, r_{i.c.o.}, r_{i.w.}, r_{z.c.}\}, \{Q_1^{zr}, Q_2^{zr}, Q_3^{zr}\}, \{F_{kol}\}, \{V_z\}\right\} \quad (3.1)$$

przy czym:

$$Q_B^N \leq Q_1^{zr} + Q_2^{zr}(t_p) + Q_3^{zr}(F_{kol}) \quad - \text{ dla czynnych jednocześnie w warunkach nominalnych elementów źródła ciepła,} \quad (3.2 \text{ a})$$

$$Q_B^{cwu} \leq Q_1^{zr} + Q_2^{zr}(t_p) + Q_3^{zr}(F_{kol}) \quad - \text{ dla czynnych jednocześnie elementów źródła ciepła,} \quad (3.2 \text{ b})$$

$$F_{kol} \leq F_{dysD} \quad (3.2 \text{ c})$$

Wielkości:  $\{g_{iz}\}$ ,  $\{F_{ok.z.}\}$ ,  $\{Q^{zr}\}$  są wielkościami o charakterze ciągłym, natomiast pozostałe są wielkościami dyskretnymi.

Elementy źródła ciepła w postaci kotła grzewczego (KG) i pompy ciepła (PC) występujące w źródle biwalentnym mogą współpracować ze sobą w sposób równoległy lub alternatywny. Podobnie jest dla układu KGG i KGGkond. Moce nominalne elementów układu biwalentnego (oraz KG i PC w układzie wieloźródłowym) wyznacza jednoznacznie temperatura przełączenia  $t_p$  - dla  $t_e > t_p$  pracuje tylko jeden z elementów.

Podobnie, przy założonym układzie do pozyskiwania, gromadzenia i przekazywania do instalacji grzewczych energii promieniowania słonecznego sposób pracy tego układu określa temperatura  $t_{pks}$ , rozgraniczająca pracę układu na dwa okresy:

-  $t_e < t_{pks}$  – praca układu jest typu ‘high flow’, pozyskiwana w kolektorach energia gromadzona jest w zasobniku buforowym lub przekazywana do instalacji grzewczych poprzez PC, a różnica temperatur czynnika wyływającego i wpływającego do kolektorów słonecznych nie przekracza 10 deg;

-  $t_e \geq t_{pks}$  – praca układu odbywa się ogólnie według zasady ‘low flow’, temperatura czynnika opuszczającego kolektory słoneczne nie jest niższa od wymaganej temperatury zasilania dla instalacji c.o.

Koszty całkowite (rachunek dynamiczny kosztów) obejmą koszty inwestycyjne dotyczące: przegród budowlanych z izolacją, instalacji grzewczych, odzysku ciepła i instalacji wentylacyjnej oraz elementów źródła ciepła (z uwzględnieniem pomieszczeń magazynowania stosowanych paliw) i eksploatacyjne: zużycie paliw, zużycie energii elektrycznej, koszty obsługi i remontów, opłaty za emisję zanieczyszczeń. Pomijane są wszystkie składniki kosztów, których wartość nie ulega zmianie. Przeciętny koszt uwzględniający wzrost cen paliw, energii elektrycznej, urządzeń, robocizny, opłat za emisję zanieczyszczeń itp. w czasie wyraża przeciętny zdyskontowany roczny koszt całkowity:

$$\begin{aligned}
 k_c = & K_{i0}^{zr} * a + K_{i0}^{prz.} * a * (1 - r^{prz.}) + K_{i0}^{s.o.} * a * (1 - r^{s.o.}) + K_{i0}^{i.co.} * a * (1 - r^{i.co.}) + \\
 & + K_{i0}^{i.w.} * a * (1 - r^{i.w.}) + K_{i0}^{i.c.} * a * (1 - r^{i.c.})_{ok.z.} * a * (1 - r^{ok.z.} * r^{ok.z.}) + \\
 & + K_{i0}^{s.z.} * a * (1 - r^{s.z.}) + K_{e0}^{pal.} * a * d^{pal.} + K_{e0}^{e.el.} * a * d^{e.el.} + K_{e0}^{ob.irem.} * a * d^{ob.irem.} + \\
 & + K_{e0}^{u.z.} * a * d^{u.z.} + K_{e0}^{em.z.} * a * d^{em.z.} = k_i^{zr} + k_i^{prz.} + k_i^{s.o.} + k_i^{i.co.} + k_i^{i.w.} + \\
 & + k_i^{i.w.} + k_i^{i.c.} + k_i^{ok.z.} + k_i^{s.z.} + k_e^{pal.} + k_e^{e.el.} + k_e^{ob.irem.} + k_e^{u.z.} + k_e^{em.z.} \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{q^{n_o} * (1 - q)}{q^{n_o} - 1} \quad (3.4)$$

$$d^s = \frac{q^{n_o} - k_w^s}{q^{n_o} * (q - k_w^s)} \quad (3.5)$$

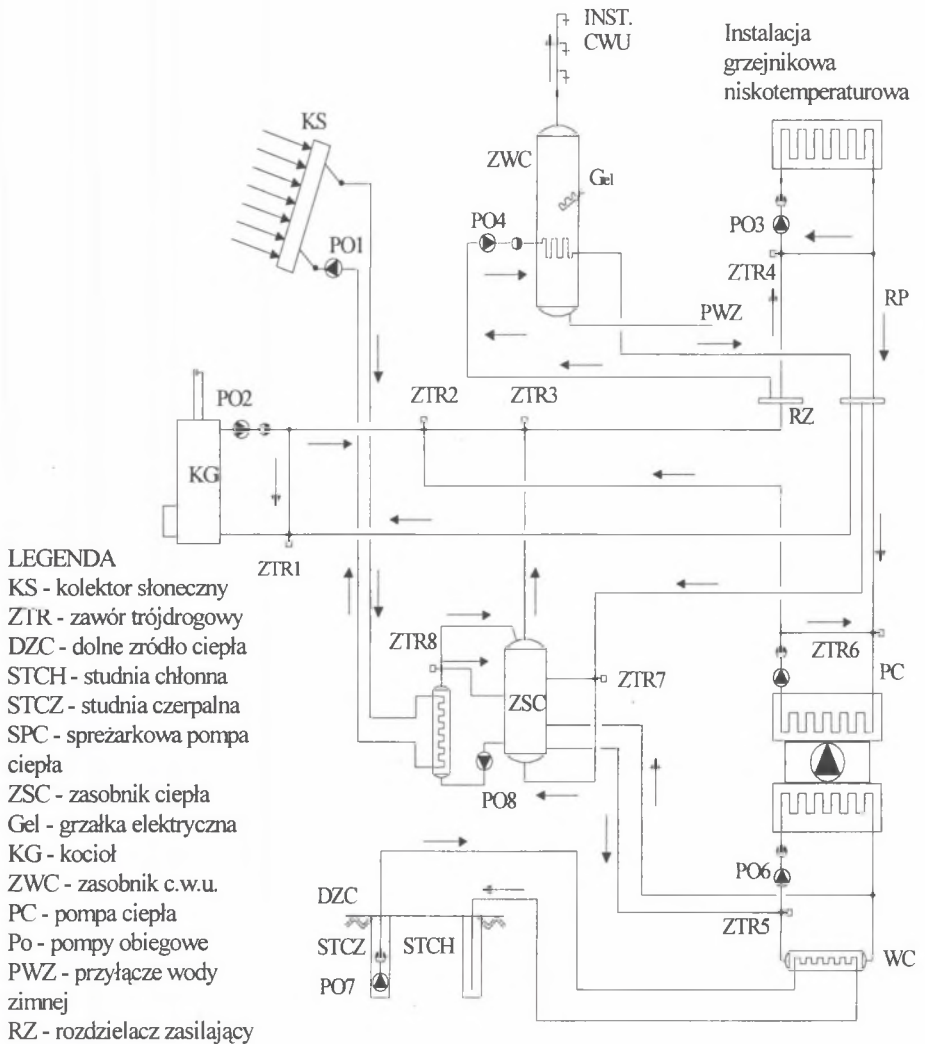
$$r^{s_1} = \frac{n_{s_1} - n_o}{n_{s_1}} \left( \frac{k_n^{s_1}}{q} \right)^{n_o} \approx \frac{n_{s_1} - n_o}{n_{s_1}}; \quad (3.6)$$

s:= pal , e.el. , ob. , u.z. , rem. , em.z. ;

s<sub>1</sub>:= prz. , s.o. , i.co , i.w. , i.c. , ok.z. , s.z



ich orientacji. Związane z tym badania wykonane zostały za pomocą własnych programów – grupa programów EXODUS oraz programu TRNSYS [4].



Rys.2. Schemat multiwartego źródła ciepła

Fig.2. Main diagram of the multi-valent heat source applied



W celu określania zapotrzebowania ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego w przypadku wentylacji naturalnej stosowana jest metoda przedstawiona w [5,6]. Przeciętne liczby wymian powietrza związane z dyskretnymi wartościami  $\{te\}$  określone zostały za pomocą własnego programu komputerowego WENTNAT.

W przypadku układów wieloźródłowych wyznaczane są chwilowe stany zapotrzebowania ciepła budynku oraz dostawy i gromadzenia ciepła przez elementy źródła ciepła, dla pozostałych rodzajów źródeł ciepła wyznaczane są średniomiesięczne stany zapotrzebowania i dostawy ciepła. W celu określania wartości chwilowych stosowana jest między innymi metoda Exodus. Szczegółowe przedstawienie przyjętej metody rozwiązania modelu zawarto w [7]. Przebiegi funkcyjne kosztów inwestycyjnych instalacji c.o. w zależności od mocy instalacji i stosowanego materiału przedstawiono w [7].

Wykorzystując opisaną metodę zbudowano program komputerowy MULTIWAŁ w języku DELPHI3. Wielkości wejściowe do programu ujęto w kilka grup opisujących analizowany budynek (wielkości podlegające każdorazowej deklaracji), źródła ciepła i stosowane paliwa, instalacje, współczynniki ekonomiczne oraz zmienne wyboru wariantu obliczeń. Wielkości wyjściowe zawarte są w 18 tablicach i odnoszą się do zapotrzebowania ciepła, ochrony cieplnej i kosztów całkowitych, mocy nominalnych elementów źródła ciepła, sprawności i emisji zanieczyszczeń dla analizowanego budynku.

Program przewidziany jest jako narzędzie pomocne do prowadzenia analiz związanych z zaopatrzeniem w ciepło nowo projektowanych lub modernizowanych cieplnie istniejących budynków mieszkalnych. Wiarygodność analiz uwzględniających kilkudziesięcioletni okres czasowy zależy od poprawności przyjęcia współczynników określających tendencje zmian kosztów (głównie nośników energii) w rozpatrywanym okresie czasu.

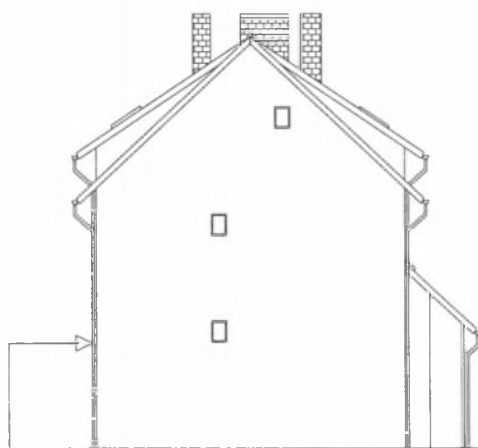
## 5. Klimat zewnętrzny przyjęty w przedstawionej metodzie

Przyjęto przebiegi dla 5 stref klimatycznych zgodnie z PN-82/B-02403. W strefach klimatycznych 2 i 3 wyróżniono dodatkowo po 2 podstrefy.

Stan klimatu dla poszczególnych stref określony jest przez wielkości zgodne z PN-82/B-02403 dla warunków nominalnych (określenie wielkości nominalnych elementów źródła ciepła i instalacji) oraz stan przeciętny klimatu- w celu wyznaczania składników kosztów eksploatacyjnych. Dla wyróżnionych stref i podstref utworzono poprzez zestawienie przebiegów miesięcznych średnich wybranych z 30-letnich ciągów pomiarowych 7 stacji meteorologicznych reprezentujących poszczególne strefy klimatyczne. Tak otrzymane przebiegi poddano przetworzeniu w celu uzyskania postaci zgodnej ze stosowaną metodą wyznaczania zapotrzebowania ciepła, określania ilości ciepła od promieniowania słonecznego pozyskiwanego w sposób czynny i bierny oraz wyznaczania przepływów powietrza przez budynek.

### Budynek bez dodatkowej izolacji cieplnej

### Budynek z izolacją cieplną



Izolacja cieplna ścian- brak

Nominalne zapotrzebowanie ciepła dla c.o.- 26.7 kW

Źródło ciepła

Moc cieplna kotła - 18 kW

Moc cieplna pompy ciepła - 13 kW

Powierzchnia kolektorów słonecznych- 30 m<sup>2</sup>

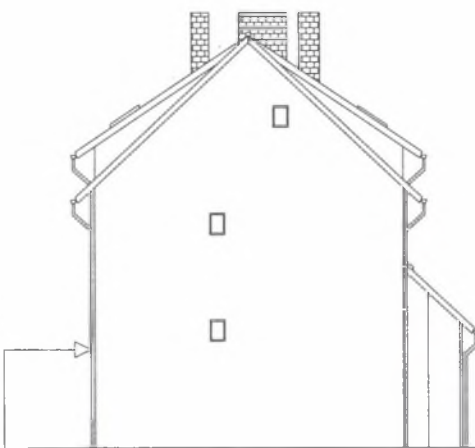
Objętość bufora - 4.1 m<sup>3</sup>

Ilość ciepła pobranego z KS w ciągu roku - 94 GJ

Ilość ciepła pobranego z KS i bezpośrednio zużytego - 71 GJ

Ilość ciepła pobranego z dolnego źródła dla PG - 106 GJ

Stopień zaspokojenia potrzeb ciepłem pozyskiwanym w KS i używanym bezpośrednio - 0.30



Izolacja cieplna ścian- 0.12 m

Nominalne zapotrzebowanie ciepła dla c.o.- 9.6 kW

Źródło ciepła

Moc cieplna kotła - 21 kW

Moc cieplna pompy ciepła - 0 kW

Powierzchnia kolektorów słonecznych- 17 m<sup>2</sup>

Objętość bufora - 1.8 m<sup>3</sup>

Ilość ciepła pobranego z KS w ciągu roku - 48 GJ

Ilość ciepła pobranego z KS i bezpośrednio zużytego - 48 GJ

Ilość ciepła pobranego z dolnego źródła dla PG - 32 GJ

Stopień zaspokojenia potrzeb ciepłem pozyskiwanym w KS i używanym bezpośrednio - 0.41

Rys.3. Moce (wielkości) nominalne elementów źródła ciepła analizowanego budynku  
Fig.3. The nominal values of the heat source elements for a given house

## 6. Przykładowe wyniki obliczeń

Wykorzystując program komputerowy MULTI WAL dokonano wyznaczenia najkorzystniejszej ochrony cieplnej i źródła ciepła dla istniejącego, wielopokoleniowego budynku jednorodzinnego, przewidzianego do odnowy cieplnej. Rozpatrywano dwa przypadki odnowy: częściową odnowę cieplną, związaną z zastosowaniem nowych okien i przyjęciem nowego źródła ciepła oraz pełną, obejmującą wymianę okien, ocieplenie przegród zewnętrznych za pomocą styropianu osłoniętego tynkiem oraz wprowadzenie nowego źródła ciepła. W obu przypadkach założono, że źródłem ciepła powinien być układ multiwalentny działający według schematu przedstawionego na rys.2. Przyjęto jednocześnie, że składnikiem źródła multiwalentnego, ze względu na konieczność cyklicznego 'przegrzewania sanitarnego' cwu, musi być kocioł grzewczy, zaś przygotowanie ciepłej wody odbywa się z priorytetem cwu. Jako kolektory słoneczne założono kolektory próżniowe montowane na dachu budynku i przyjęto znaczącą premię inwestycyjną ( zwrot części kosztów inwestycyjnych w związku z pozyskiwaniem czystej energii) w odniesieniu do kolektorów słonecznych i współpracujących z nimi zasobników. Dolnym źródłem ciepła dla PC jest woda gruntowa. Wyniki obliczeń odnoszące się do źródła ciepła i ochrony cieplnej przedstawiono na rys.3.

## 7. Podsumowanie

Przedstawiona metoda umożliwia kompleksowe określenie najkorzystniejszej ochrony cieplnej budynku mieszkalnego i wybór najkorzystniejszego źródła ciepła (indywidualnego) z uwzględnieniem wykorzystania energii z otoczenia dla celów ogrzewania. Praktycznym wyrazem metody jest opracowany na jej podstawie program komputerowy MULTI WAL. Otwartość programu pozwala na przeprowadzanie wielowariantowych analiz. Dane klimatyczne używane w programie wynikają z wieloletnich ciągów pomiarowych kilku stacji meteorologicznych w Polsce.

## Bibliografia

1. Foit H, Majerski S.: Optymalizacja składu i wielkości elementów wieloźródłowego zasilania w ciepło budynków mieszkalnych, COW 8/1992.
2. Foit H., Kolasa C., Majerski S., Nantka M.: Wieloźródłowa stacja ciepła, COW 9/1992.
3. Mierzwiński S.: Perspektywy użytkowania energii w aspekcie budownictwa. COW 2002.
4. Klein S.A. i inni: TRNSYS. Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin-Madison. Madison. July 1994.
5. GANDEMER J. et autres: "Champ de pression moyenne sur les constructions usuelles. Application à la conception des installation de ventilation". Cahiers du C.S.T.B., N° 187, édition revue et corrigée, juillet 1978.
6. Foit H., Lubina P.: Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do wentylacji naturalnej budynków mieszkalnych. COW 3, 4/2000.
7. Foit H.: Instrukcja obsługi programu komputerowego 'MULIWAL' - Gliwice 1999.

8. Foit H.: Model matematyczny wyznaczania optymalnego zapotrzebowania ciepła i doboru optymalnego źródła ciepła dla budynku mieszkalnego – Gliwice 1999r, praca niepublikowana.