



INSTYTUT TECHNIK INNOWACYJNYCH EMAG
40-189 Katowice, ul. Leopolda 31

Egz. nr

Nr umowy: **SP/B/3/76/469/10**

Tytuł projektu: **Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej
energochłonności budynków – strategiczny projekt badawczy**

Tytuł zadania badawczego: **Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych
źródeł energii (OZE) w budownictwie**

Nr i tytuł etapu:

**Etap nr 18 – Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego
wykorzystania OZE w budownictwie**

Tytuł dokumentacji: **Opis algorytmów obliczeniowych i systemu komputerowego
wspomagającego analizy wykorzystania poszczególnych
rodzajów OZE w budownictwie**



Katowice, grudzień 2012 r.

Zespół autorski:

**Kierownik części zadania
badawczego.:**

dr inż. Włodzimierz Boroń

Pozostali autorzy:

mgr inż. Łukasz Bownik

mgr inż. Andrzej Chomiak

mgr inż. Adam Kawa

mgr inż. Adam Piasecki

mgr inż. Anna Palka

mgr inż. Jadwiga Zawora

(tytuł naukowy, imię i nazwisko)

(podpis)

Rozdzielnik:

Egzemplarze nadzorowane „N”:

egz. nr 1 – SP

Egzemplarze nienadzorowane :

egz. nr 2 - dr inż. Włodzimierz Boroń

wersja elektroniczna – witryna internetowa Konsorcjum projektu

Sprawdził:

Zatwierdził:

.....

.....

Katowice, grudzień 2012 r.



Zadanie badawcze nr 3:

Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w budownictwie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



SPIS TREŚCI:

1. Wprowadzenie	9
.....	
Bibliografia do rozdz.	12
2. Charakterystyka algorytmów obliczeniowych zapotrzebowania i produkcji energii do zintegrowanego programu komputerowego wspomaganie wykorzystania OZE w budynkach	13
2.1. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii dla ogrzewania i wentylacji budynku	14
2.2. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii dla przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynku	32
2.3. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii dla chłodzenia i wentylacji budynku	43
2.4. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej w budynku	47
2.5. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła w pompie ciepła	53
2.6. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła w kolektorze słonecznym	58
2.7. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła w kotle do spalania biomasy...	61
2.8. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie kogeneracyjnym CHP	64
2.9. Algorytm obliczania produkcji gazu w mikrobiogazowi do współpracy z układem kogeneracyjnym CHP	71
2.10. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV	78
2.11. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji mikrowiatraka WE	83
2.12. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej meW	90
Bibliografia do rozdz. 2	95
3. Charakterystyka algorytmów obliczeniowych w zintegrowanym programie komputerowym w zakresie bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji energii z OZE	97

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



3.1. Algorytm obliczeniowy bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji ciepła z OZE w zakresie ogrzewania i wentylacji budynku oraz przygotowania c.w.u.	100
3.2. Algorytm obliczeniowy bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej z OZE	107
Bibliografia do rozdz. 3	112
4. Charakterystyka algorytmu obliczeniowego do zintegrowanego programu komputerowego w zakresie funkcji korzyści i rankingu rozwiązań wykorzystania OZE w budynkach	113
4.1. Charakterystyka funkcji korzyści w procesie decyzyjnym	116
4.2. Algorytm obliczeniowy rankingu rozwiązań wykorzystania OZE w budynkach	127
Bibliografia do rozdz. 4	132
5. Opis architektury i aplikacji analitycznych zintegrowanego programu komputerowego do analiz wykorzystania OZE w budynkach	133
6. Opis aplikacji strony internetowej z narzędziami komputerowego wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach	187
Bibliografia do rozdz. 6	199
7. Podsumowanie	201
8. Załączniki	213
Zał. Nr 1 - Schematy algorytmów obliczania godzinowego zapotrzebowania energii dla budynku	
Zał. Nr 2 - Schematy algorytmów obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej z OZE	
Zał. Nr 3 – Schematy algorytmów bilansowania energii dla budynku w zakresie jej zapotrzebowania i produkcji	
Zał. Nr 4 – Schemat algorytmu obliczeniowego w zakresie funkcji korzyści i rankingu rozwiązań	

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- Zał. Nr 5 – Prezentacja z seminarium „Aplikacje analityczne i architektura zintegrowanego programu komputerowego wspomagającego ocenę zastosowania OZE w budynkach”
- Zał. Nr 6 – Prezentacja stanu realizacji prac w Etapie nr 18 na IV Seminarium zadania badawczego nr 3
- Zał. Nr 7 – Raport ze stanu realizacji prac w Etapie nr 18 – Materiały konferencyjne do IV Seminarium zadania badawczego nr 3
- Zał. Nr 8 – Program komputerowy „Analizator OZE” wersja 1.0 – beta (CD ROM)

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Zadanie badawcze nr 3:

Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w budownictwie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



1. WPROWADZENIE

Niniejsza dokumentacja obejmuje Etap nr 18 zatytułowany „*Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie*”, który jest częścią strategicznego zadania badawczego nr 3 dotyczącego zwiększenia wykorzystania energii z OZE w budownictwie. W ramach tego etapu przeprowadzono analizy i weryfikacje opracowanych we wcześniejszych etapach zadania badawczego nr 3 metod i algorytmów obliczeniowych pozwalających ocenić i zwymiarować wpływ jakości energetycznej budynku na możliwość i zakres wykorzystania zasobów OZE. Upowszechnieniu stosowania instalacji opartych na zasobach OZE sprzyja ustanowiona legislacja unijna i krajowa, która wprowadza obowiązek racjonalizowania zużycia pierwotnych nośników energii poprzez konwersję źródeł konwencjonalnych systemami energetycznymi wykorzystującymi potencjał źródeł odnawialnych. Obliguje do tego zarówno dyrektywa RES [1.1] o promowaniu stosowania energii wytworzonej w OZE, jak również znowelizowana dyrektywa EPBD [1.2] wprowadzająca obowiązek sporządzania charakterystyki energetycznej dla budynków. Dywersyfikacja sposobów pokrywania w budynkach zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną jest formą realizacji idei zrównoważonego rozwoju gospodarki z uwagi na poszanowanie jego środowiska naturalnego. Perspektywicznie korzystny zrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy to wyraz optymalnej relacji człowieka z naturą. Ta zrównoważona działalność przejawiająca się w racjonalnym korzystaniu z zasobów pierwotnych Ziemi, stanowi wyznacznik naszego przyszłego rozwoju. Powinny temu sprzyjać globalne porozumienia w dziedzinie energetyki i racjonalnego pozyskiwania surowców naturalnych.

Poprawa charakterystyki energetycznej istniejących budynków w pełni jest możliwa poprzez wdrażanie instalacji wykorzystujących lokalne zasoby OZE [1.3]. Takie przedsięwzięcia wypełniają obowiązkowe wymagania wskazane przez ustawę o efektywności energetycznej [1.4] w odniesieniu do sektora budynków mieszkalnych i obiektów użyteczności publicznej. Aktualnie procedowana nowa ustawa zasadnicza o odnawialnych źródłach energii [1.5] promuje w przyszłości wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej poprzez technologie wykorzystujące OZE, co tym samym poprawi efektywność energetyczną w obszarze budownictwa, jak również zwiększy opłacalność takich inwestycji w gospodarce. Przedsięwzięcia modernizacyjne w zakresie instalacji energetycznych w budynkach, oparte na technologiach wykorzystujących OZE są już aktualnie kwalifikowanymi środkami poprawy efektywności energetycznej w tym sektorze gospodarki.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Obecnie na rynku istnieje wiele dostosowanych do warunków krajowych programów komputerowych wspomagających analizy oceny jakości energetycznej budynków [1.7]. Zakres funkcjonalny tych programów dotyczy różnych zagadnień, takich jak: wspomaganie obliczeń w zakresie określania projektowego obciążenia cieplnego pomieszczeń, sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji budynków, wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków i sporządzania ich świadectw, opracowywania audytów energetycznych dla przedsięwzięć termomodernizacyjnych i remontowych przeprowadzanych w budynkach. Niektóre z tych dostępnych programów mają rozszerzone zakresy obliczeń, co umożliwia analizę efektów ekologicznych obejmującą określenie redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery z możliwością ich porównywania w wypadku zastosowania OZE. Nie ma jednak programu kompleksowego z możliwością wyboru bądź zastosowania optymalnego systemu instalacji opartych na zasobach OZE, z charakterystyką dostępnych urządzeń, ich parametrami i kosztami inwestycyjnymi. W aktualnie dostępnych krajowych programach [1.7] brak jest możliwości symulacji zastosowania różnych systemów zasilania budynków z zasobów OZE i analiz ekologicznych zużycia nośników energii pierwotnej nieodnawialnej. Programy stosowane aktualnie do sporządzania charakterystyk energetycznych budynków lub opracowania audytów energetycznych dla przedsięwzięć termomodernizacyjnych w budynkach stanowią istotne, ale niewystarczające wsparcie dla takich analiz. Przy ich wykorzystaniu możliwa jest ocena wpływu zastosowania instalacji opartych na zasobach OZE na wskaźnik zużycia energii pierwotnej nieodnawialnej i określenie wielkości zmniejszenia emisji do środowiska produktów spalania paliw konwencjonalnych. W aktualnym stanie krajowe oprogramowanie wymaga uzupełnienia narzędziem umożliwiającym przeprowadzenie wariantowych obliczeń cieplno-ekologicznych dla różnych instalacji OZE w budynkach, co wraz z analizą wskaźników ekonomicznych pozwoliłoby wskazać najkorzystniejsze rozwiązanie dla takich przedsięwzięć termomodernizacyjnych.

W ramach realizacji prac badawczych w Etapie nr 18 wykonano weryfikację opracowanych algorytmów obliczeniowych, które następnie zostały zaimplementowane w aplikacjach zintegrowanego programu komputerowego, jako narzędzia wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach. To wsparcie narzędziowe, zastosowane przy opracowywaniu audytów energetycznych dla termomodernizowanych budynków, powinno przyczynić się do zwiększenia wykorzystania zasobów OZE w pokrywaniu potrzeb energetycznych w budownictwie. Schematy blokowe algorytmów obliczania godzinowego zapotrzebowania energii w poszczególnych dziedzinach jej zapotrzebowania w budynku opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [1.8]. Dla potrzeb oprogramowania wykorzystano również, opracowane w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [1.9], schematy blokowe algorytmów obliczania godzinowej produkcji ciepła lub energii elektrycznej w poszczególnych rodzajach instalacji OZE.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Na podstawie tych algorytmów zaprogramowane zostały moduły do obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w danej instalacji OZE, które następnie zostały zaimplementowane w zintegrowanym programie komputerowym wspierającym analizy możliwości wykorzystania OZE w pokryciu zapotrzebowania energii w budynku. Wytworzona energia w OZE lub w źródle konwencjonalnym w analizie bilansowej w danej i-tej godzinie pokrywa zapotrzebowanie ciepła lub chłodu w budynku. Niedobór lub nadwyżka wytwarzanej energii w źródłach jest niwelowana poprzez zasobniki ciepła lub chłodu, co uwzględniono w równaniach bilansowych. Zasada bilansowania zapotrzebowania energii i jej pokrycia dotyczy każdej i-tej godziny w przedziale rocznym i odnosi się do energii w postaci ciepła lub energii elektrycznej. Zintegrowany program komputerowy wykonuje obliczenia bilansowe dla okresu rocznego w kroku godzinowym, co jest rozwiązaniem innowacyjnym. Każde analizowane rozwiązanie instalacyjne z odnawialnym źródłem energii lub ze źródłem konwencjonalnym musi spełnić warunek pełnego zbilansowania zapotrzebowania energii poprzez jej produkcję w danym pojedynczym źródle lub w systemie hybrydowym.

Metoda wyznaczania zapotrzebowania ciepła, chłodu i energii elektrycznej w budynku oraz zasada bilansowania źródeł wytwarzania energii są zgodne z przyjętą krajową metodologią [1.6] obliczania wskaźników w charakterystyce energetycznej budynku dla potrzeb sporządzania świadectwa jego jakości energetycznej.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Bibliografia do rozdz. 1:

- [1.1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady WE/2009/28 z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. (Dz. U. Unii Europejskiej L140 z 5.6.2009).
- [1.2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/WE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dz. Urz. UE L 153 z dnia 18.06.2010 r. str.13)
- [1.3] Boroń W., Chomiak A., Kawa A., Zawora J. - Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i ich wpływ na charakterystykę energetyczną budynku, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Katowice 2012 r.
- [1.4] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. z 2011 r., Nr 94, poz. 551)
- [1.5] Ustawa o odnawialnych źródłach energii, projekt ustawy z dnia 26.07.2012r. Ministerstwo Gospodarki
- [1.6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2008 r. Nr 201, poz. 1240)
- [1.7] Ocena istniejących metod rekomendacji wykorzystania OZE w budownictwie, a zwłaszcza programów komputerowych. Raport z realizacji prac Etapu nr 3 zadania badawczego nr 3/ SP/B/3/76/469/10, ITI EMAG Katowice 2010 r.
- [1.8] Opracowanie modelu użytkownika energii (budynku lub grupy budynków mieszkalnych), uwzględniającego zróżnicowane parametry techniczne, funkcjonalne i ekonomiczne w aspekcie możliwości substytucji konwencjonalnych źródeł energii na OZE. Raport z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3/ SP/B/3/76/469/10, GIG Katowice 2011 r.
- [1.9] Opracowanie algorytmów programów komputerowych wykorzystania poszczególnych rodzajów OZE w budownictwie. Raport z realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3/ SP/B/3/76/469/10, GIG Katowice 2011 r.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2. Charakterystyka algorytmów obliczeniowych zapotrzebowania i produkcji energii do zintegrowanego programu komputerowego wspomagania wykorzystania OZE w budynkach

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.1. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na ogrzewanie i wentylację budynku

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Dla określenia godzinowego zapotrzebowania energii na ogrzewanie i wentylację przeprowadza się obliczenia zgodnie z sekwencją przedstawioną w algorytmie zamieszczonym w zał. Nr 1 – Schematy algorytmów obliczania godzinowego zapotrzebowania energii w budynku. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [2.1]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów komputerowych.

W przyjętej metodyce obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na ogrzewanie i wentylację budynku uwzględniono wymagania normy europejskiej [2.3] i krajowej metodologii [2.4] w zakresie obliczania zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. Na potrzeby symulacji wektora godzinowego potrzeb grzewczych wymagane jest podanie rocznego zapotrzebowanie na energię użytkową dla ogrzewania i wentylacji $Q_{H,nd}$ określone dla całego roku wg normy PN-EN ISO 13790 (okres roczny dotyczy miesięcy od stycznia do maja i od września do grudnia włącznie).

Dodatkowo należy określić:

- średnią sezonową sprawność akumulacji ciepła η_s ,
- średnią sezonową sprawność transportu (dystrybucji) ciepła η_d ,
- średnią sezonową sprawność regulacji i wykorzystania ciepła η_e .

Roczne zapotrzebowanie energii na wejściu do instalacji można obliczyć również szacunkowo na podstawie wskaźnika E_{Kco} , określającego zapotrzebowanie energii w zależności od wieku budynku, którego wartość ustala się według załączonego algorytmu.

Ponadto należy podać:

- położenie geograficzne budynku potrzebne do ustalenia najbliższej stacji meteorologicznej i przypisania wartości temperatury zewnętrznej w °C dla każdej godziny roku,
- kubaturę części ogrzewanej $V_{ogr,cal}$ wyrażoną w m³,
- kubaturę pomieszczeń o różnych przyjętych temperaturach projektowych $V_{k,Tk}$ wyrażoną w m³,
- powierzchnię ogrzewaną (o regulowanej temperaturze) $A_f = \sum_j A_j$ wyrażoną w m².

Dla kontynuacji obliczeń należy ustalić grupy pomieszczeń o jednakowych temperaturach obliczeniowych, określając ich powierzchnie i kubatury. Dla każdej kolejnej grupy pomieszczeń o k -tej temperaturze wewnętrznej i kubaturze $V_{k,Tk}$ oblicza się udziały objętościowe ich kubatur w stosunku do kubatury części ogrzewanej wg wzoru:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



$$z_k = \frac{V_{k,Tk}}{V_{ogrzew,cal}} \quad (2.1.1)$$

gdzie $V_{ogrzew,cal}$ jest wielkością kubatury ogrzewanej.

Wartości z_k wyliczane dla każdej z grup pomieszczeń o jednakowych temperaturach są podstawą uśrednienia temperatury części ogrzewanej wg wzoru:

$$\theta_{sr} = \sum_k z_k \cdot \theta_{set,H,k} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.1.2)$$

gdzie:

z_k - wartość udziału objętościowego grupy pomieszczeń w stosunku do kubatury części ogrzewanej,

$\theta_{set,H,k}$ - temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniach [°C]

W następnym kroku przystępuje się do obliczenia wartości stopniogodzin dla każdej i -tej godziny sezonu grzewczego. Te wartości będą podstawą estymacji rocznego zapotrzebowania na energię dla ogrzewania i wentylacji dla tych celów w każdej godzinie roku.

W przypadku sezonu standardowego obliczenia przeprowadza się dla każdej godziny z przedziału od 1 września do 30 maja, według wzoru:

$$S_{gi} = \theta_{sr} - \theta_e \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.1.3)$$

gdzie θ_{sr} jest wartością uśrednionej temperatury części ogrzewanej, a θ_e jest wartością temperatury zewnętrznej wg danych dla najbliższej stacji meteorologicznej.

Dla sezonu niestandardowego stopniogodziny oblicza się przy użyciu podanej temperatury granicznej θ_{gr} . W przypadku, gdy temperatura graniczna jest większa od temperatury zewnętrznej θ_e stopniogodziny liczone są jak dla sezonu standardowego wg wzoru (2.1.3); w przypadku, gdy temperatura graniczna jest mniejsza od θ_e to $Q_{H,cal,i} = 0$ czyli zapotrzebowanie na energię dla ogrzewania i wentylacji nie występuje. Do obliczeń konieczne jest wprowadzenie danych meteorologicznych.

W dalszej kolejności określa się zapotrzebowanie roczne energii na poziomie instalacyjnym t. j. przy uwzględnieniu sprawności instalacji, wg wzoru



$$Q_{H,cal} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_s \eta_d \eta_e} \quad (2.1.4)$$

gdzie:

η_s , η_d , η_e są średnimi, sezonowymi sprawnościami akumulacji, transportu i regulacji instalacji grzewczej.

W przypadku braku szczegółowych danych o budynku lub wielkości zużywanej energii można przyjąć dla budynków szacunkową wielkość $Q_{H,cal}$ określaną przy pomocy wskaźnika E_{kco} [kWh/m²rok].

Wskaźnik E_{kco} obrazuje zapotrzebowanie energii na ogrzewanie i wentylację w kWh/rok w stosunku do 1 m² powierzchni ogrzewanej budynku. Wartości wskaźnika przedstawiono w Etapie 7 zadania badawczego opracowanego przez GIG Katowice [2.1].

Zaprezentowano rezultaty analizy statystycznej współczynnika E_{kco} pochodzącego z danych obejmujących 2170 kart audytu energetycznego. Przeprowadzone obliczenia uwzględniają powierzchnię lub kubaturę ogrzewalną, datę budowy oraz strefę klimatyczną. Zaprezentowany został schemat obliczeniowy łączący metodologię ustalania wskaźnika E_{kco} dla budynków istniejących oraz budowanych zgodnie z obowiązującymi obecnie jak i w przyszłości normatywami. Analizę przeprowadzono dla 2170 budynków wielorodzinnych wybudowanych w latach 1850 - 2003. Dane o budynkach są zamieszczone w bazie danych Pracowni Oszczędności Energii zakładu Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza, Głównego Instytutu Górnictwa.

Zapotrzebowanie jednostkowe na energię w kWh/(m³rok) lub w kWh/(m²rok) w warunkach polskich użytkowników jest bardzo zmienne i zależy od wielu czynników wyszczególnionych w odpowiednich normatywach i warunkujących efektywność ogrzewania budynku. Wśród głównych globalnych czynników wpływających na to zapotrzebowanie można wyróżnić takie, jak kubatura lub powierzchnia części ogrzewanej budynku, rok budowy czy strefa klimatyczna. Istotnym czynnikiem jest struktura budynku.

W zbiorze analizowanej grupy widać statystyczną zbieżność, co wyraża globalne równanie korelujące zapotrzebowanie energii na potrzeby centralnego ogrzewania dla całej próby w postaci formuły:

$$E_{kco,V} = E_{km} [(2011-a)/1970]^{0.5} (V_m/V_o)^{0.5} \quad (2.1.5)$$

w którym $E_{kco,V}$ jest średnim zapotrzebowaniem w kWh/(m³rok) określonym dla całej próby wynoszącym $E_{km} = 76$ kWh/m³, a jest rokiem oddania budynku do eksploatacji, V_m jest średnią kubaturą ogrzewaną analizowanej próby i ma wartość $V_m = 5842$ m³, zaś V_o kubaturą części ogrzewalnej danego budynku. Wyrażenie $(2011-a)$ w formule (2.1.5) jest wiekiem budynku. Formuła (2.1.5) charakteryzuje się zbyt małym współczynnikiem korelacji do danych

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

audytowych wynoszącym $|R|=0,5$, dlatego w celu podniesienia dokładności uzyskanych przewidywań podzielono dane eksploatacyjne na następujące grupy:

- Według daty oddania do eksploatacji – kryterium czasowym były okresy obowiązywania odpowiednich rozporządzeń związanych z ochroną cieplną budynków. Zgodnie z nimi podzielono budynki na lata: do 1945 roku; od 1946 do 1966; od 1967 do 1985; od 1986 do 1992 oraz od 1992 do 2003 r (ostatnią grupę rozszerzono głównie z uwagi na małą liczebność próby). Dla każdego z przedziału wyznaczono średnią algebraiczną dla wszystkich lat oddania do eksploatacji, która stanowiła podstawę do dalszej analizy. Przedział 2003-2008 ekstrapolowano równaniem określonym dla lat 1992 – 2003.
- Według kubatury – podział opierał się na trzech grupach w zakresie: do 1000 m^3 (budynki małe), od 1000 m^3 do 5000 m^3 (średnie) oraz od 5000 do 20000 m^3 (budynki duże). W każdej z tych grup budynków wyznaczono średnią algebraiczną współczynnika $E_{kco,V}$.
- Według powierzchni - podział opierał się na trzech grupach w zakresie: do 500 m^2 (budynki małe), od 500 m^2 do 1000 m^2 (średnie) oraz od 1000 do 5000 m^2 (budynki duże). W każdej z tych grup budynków wyznaczono średnią algebraiczną współczynnika $E_{kco,A}$.
- Dla budynku przed i po termomodernizacji – dane dla budynków poddanych termomodernizacji pochodziły głównie z bazy danych przedsięwzięć termomodernizacyjnych.

Uzyskane dane pochodziły z pięciu różnych stref klimatycznych. Podział obszaru Polski na poszczególne strefy klimatyczne dla sezonu grzewczego (okres zimowy) przedstawia rys. 2.1.1.



Rys. 2.1.1. Strefy klimatyczne dla okresu zimowego w Polsce [2.7]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



W celu ujednorodnienia wskaźników E_{kco} dla każdej strefy czasowej określono w danym roku liczbę stopniodni oraz poprawkę dla współczynnika E_{kco} przeliczając wartości tak jak dla strefy III stanowiącej największą część obszaru Polski (do obliczeń przyjęto liczbę stopniodni jak dla stacji klimatycznej Katowice). Aby uzyskać wartość wskaźnik E_{kco} dla strefy i -tej innej niż obliczeniowa należy uzyskany rezultat pomnożyć proporcjonalnie przez stosunek stopniodni w strefie i -tej przez liczbę stopniodni w strefie III (dla stacji klimatycznej Katowice).

Korelacje dla współczynnika $E_{kco,v}$ [kWh/(m³rok)]

Dla wszystkich grup budynków uzyskano korelację w postaci:

$$E_{kco,v} = A(2011-a)^B V_o^C \quad (2.1.6)$$

gdzie dla budynku przed termomodernizacją współczynniki A , B i C wynoszą odpowiednio:

$$A = 134 \pm 28 \text{ kWh/}[\text{rok}^{B+1} \text{m}^{3(C+1)}], B = 0,29 \pm 0,04, C = -0,18 \pm 0,02,$$

Zaś dla budynku po termomodernizacji

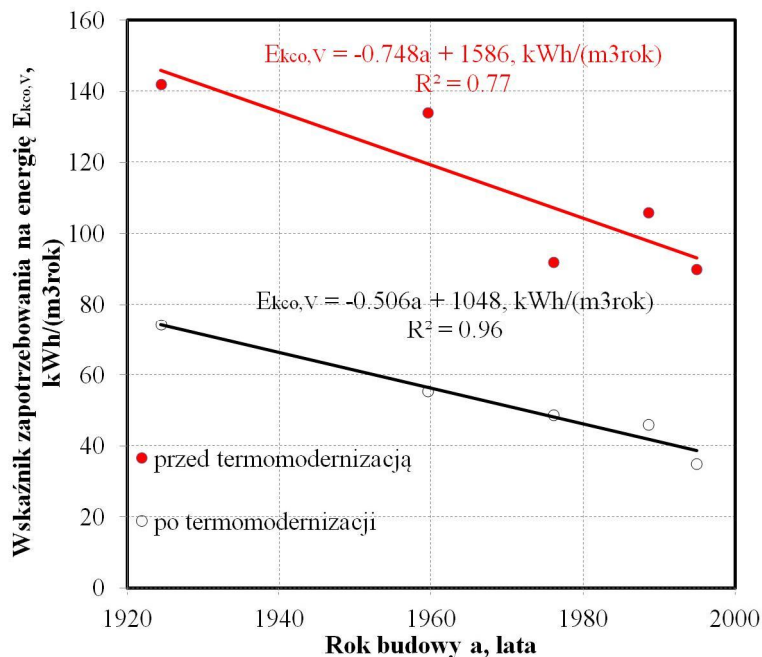
$$A = 35 \pm 7 \text{ kWh/}[\text{rok}^{B+1} \text{m}^{3(C+1)}], B = 0,3 \pm 0,04, C = -0,1 \pm 0,02,$$

- uzyskane współczynniki korelacji wynoszą $|R|=0,82$ przed oraz $|R|=0,84$ po termomodernizacji.

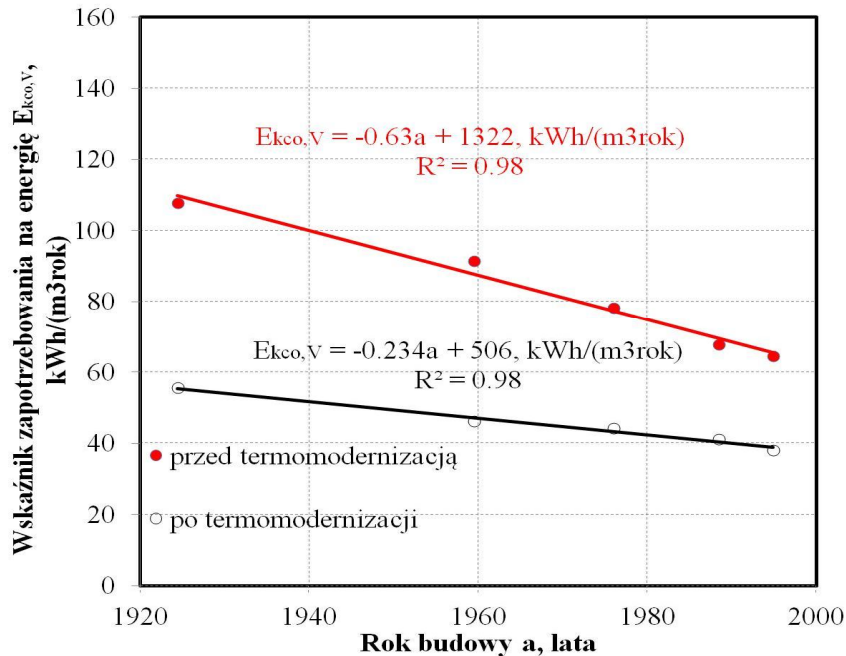
Dla celów dokładnej analizy przeprowadzono korelację funkcjami liniowymi dla każdej z grup budynków podzielonych według kubatur. Uzyskane rozwiązania przedstawiają rysunki od 2.1.2 do 2.1.4, gdzie na wykresach zamieszczono uzyskane wartości równań korelacyjnych i współczynniki korelacji.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



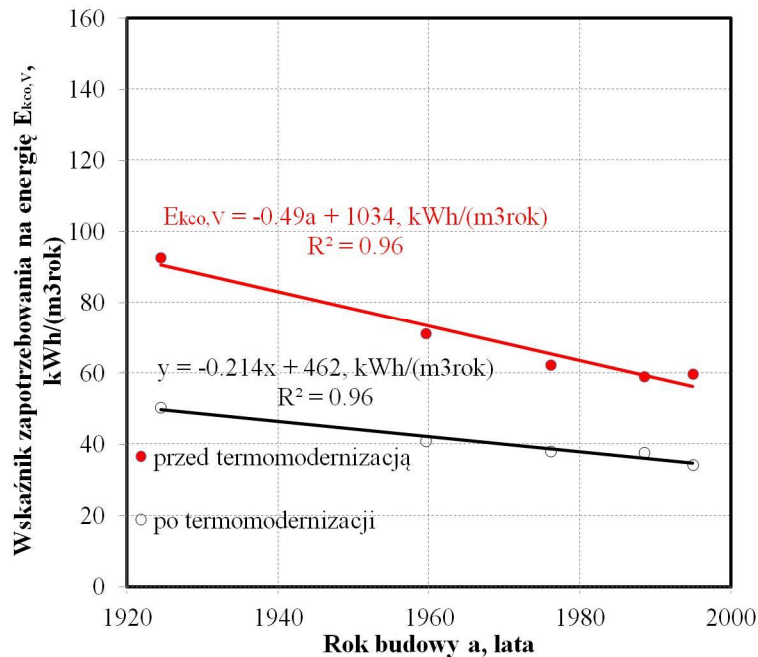
Rys. 2.1.2. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla grupy budynków o kubaturze <1000 m³



Rys. 2.1.3. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla grupy budynków o kubaturze 1000-5000 m³

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 2.1.4. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla grupy budynków o kubaturze 5000-20000m³

Podobne analizy przeprowadzono w odniesieniu do metra kwadratowego powierzchni ogrzewalnej i współczynnika $E_{kco,A}$.

Korelacje dla współczynnika $E_{kco,A}$ [kWh/(m²rok)]

Dla wszystkich grup budynków uzyskano korelację w postaci:

$$E_{kco,A} = D(2011-a)^E A_o^F \quad (2.1.7)$$

gdzie dla budynku przed termomodernizacją współczynniki D , E i F wynoszą odpowiednio: $D=370 \pm 250$ kWh/[rok^{E+1} m^{2(F+1)}], $E=0,39 \pm 0,11$, $F= -0,23 \pm 0,08$,

- współczynnik korelacji wynosi $|R|=0,8$

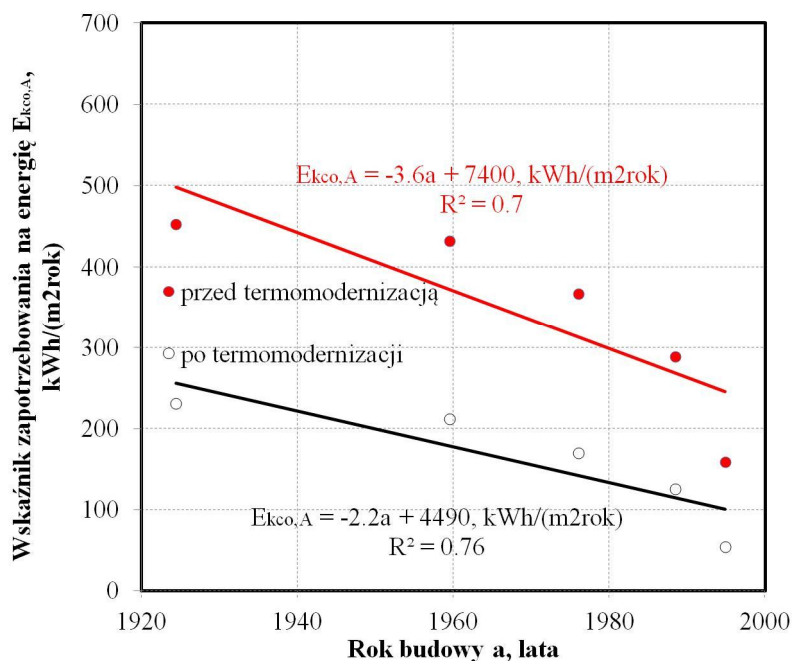
Zaś dla budynku po termomodernizacji współczynniki D , E i F wynoszą odpowiednio: $D=130 \pm 120$ kWh/[rok^{E+1} m^{2(F+1)}], $E=0,4 \pm 0,16$, $F= -0,17 \pm 0,1$,

- współczynnik korelacji wynosi $|R|=0,67$,

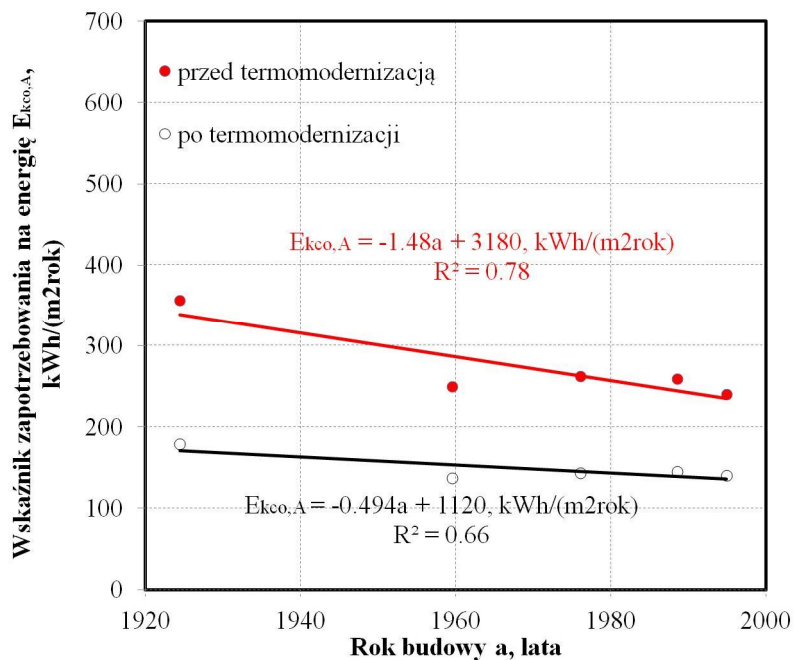
Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

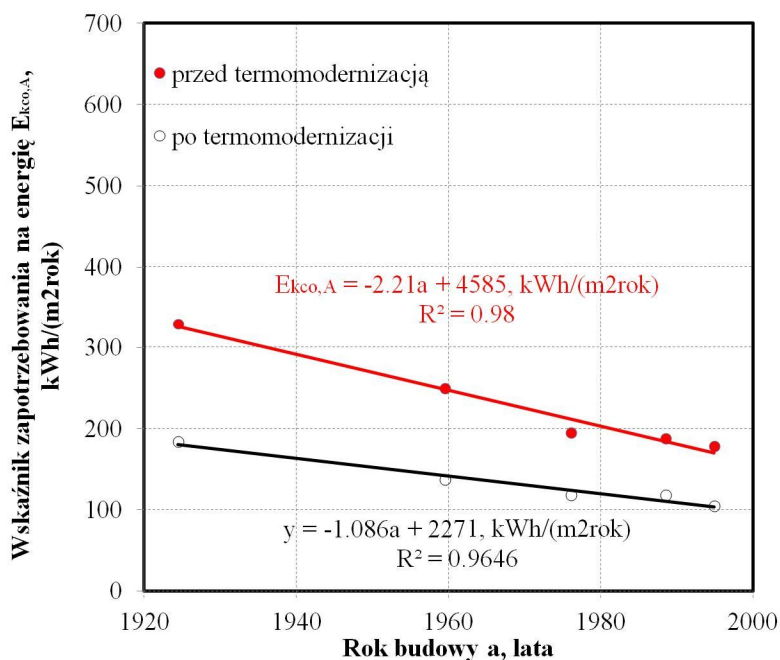
Podobnie, jak w przypadku wartości $E_{kco,V}$ dla celów dokładnej analizy przeprowadzono korelację funkcjami liniowymi dla każdej z grup budynków. Uzyskane rozwiązania przedstawiają rysunki od 2.1.5 do 2.1.7, gdzie na wykresach zamieszczono uzyskane wartości równań korelacyjnych i współczynniki korelacji.



Rys. 2.1.5. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla grupy budynków o powierzchni $<500 \text{ m}^2$



Rys. 2.1.6. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla grupy budynków o powierzchni <1000 m²



Rys. 2.1.7. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla grupy budynków o powierzchni <5000 m²

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Zatem obliczenia wielkości wskaźnika E_{kco} zależne są od roku budowy obiektu. Dla budynków realizowanych przed rokiem 2008 należy podać rok, w którym zrealizowano obiekt oraz jego powierzchnię ogrzewalną A_f w m^2 . Wartość wskaźnika E_{kco} [kWh/m^2rok] oblicza się w zależności od zakresu wielkości powierzchni ogrzewalnej (dla $A_f < 500 m^2$, $A_f < 1000 m^2$, $A_f < 5000 m^2$ i $A_f > 5000 m^2$) oraz stanu ochrony cieplnej przedmiotowego budynku wg wzorów podanych w algorytmie.

Dla budynków realizowanych po roku 2008 należy podać dodatkowo sumę A pól powierzchni wszystkich przegród budynku oddzielających część ogrzewalną od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczoną po obrysie zewnętrznym w m^2 oraz kubaturę zewnętrzną V_e w m^3 . Wartość wskaźnika E_{kco} [kWh/m^2rok] w tym wypadku określa się w zależności od zakresu wartości współczynnika kształtu A/V_e (dla $A/V_e > 1,05 m^{-1}$, $0,2 < A/V_e \leq 1,05 m^{-1}$, $A/V_e \leq 0,2 m^{-1}$) oraz stanu ochrony cieplnej badanego budynku wg wzorów podanych w algorytmie.

Sposób obliczania wartości wskaźników E_{kco} [kWh/m^2rok] usystematyzowano w algorytmie i podano dla budynków w zależności od roku ich budowy a , powierzchni ogrzewalnej A_f , sumy A pól powierzchni wszystkich przegród budynku oddzielających część ogrzewalną od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych stanu ochrony cieplnej, kubatury zewnętrznej budynku V_e oraz stanu ochrony cieplnej. Obliczenie rocznego zapotrzebowania energii dla ogrzewania i wentylacji $Q_{H,cal}$ w tym wypadku przeprowadza się w zgodzie z sekwencją przedstawioną w algorytmie zawartym w załączniku Nr 1 – Schematy algorytmów obliczania godzinowego zapotrzebowania energii w budynku (*Algorytm obliczania rocznego zapotrzebowania energii na ogrzewanie wg wskaźnika E_{kco}*).

Po określeniu wskaźnika E_{kco} [kWh/m^2rok] (w algorytmie wg opcji obliczania rocznego zapotrzebowania energii na ogrzewanie przy pomocy wskaźnika E_{kco}), oblicza się szacunkową wartość rocznego zapotrzebowania energii dla ogrzewania i wentylacji wg wzoru:

$$Q_{H,cal} = E_{kco} \cdot A_f \cdot \frac{S_{TN}}{S_{TIII}} \quad (2.1.8)$$

gdzie S_{TN} jest wartością stopniodni dla danej lokalizacji budynku, natomiast S_{TIII} jest wartością stopniodni dla stacji meteorologicznej w Katowicach (wartości odczytywane z tabeli 2.1.1).

Obliczenia wartości stopniodni S_{TN} przeprowadzono dla każdej ze stacji meteorologicznej z terenu Polski, dla których wygenerowano zbiory danych źródłowych oraz opracowano parametry statystyczne oraz typowe lata do obliczeń energetycznych budynków.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Wszystkie dane meteorologiczne zawarte są w bazie danych zamieszczonych na portalu Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej.

Do obliczeń wartości stopniodni założono temperaturę wewnętrzną w pomieszczeniach ogrzewanych w budynku równą 20 °C oraz średnie wieloletnie zewnętrzne temperatury miesiąca w °C i liczbę dni ogrzewania w miesiącu zgodnie z wymaganiami normatywnymi [2.5]. Zestawienie obliczonych wartości stopniodni S_{TN} dla każdej ze stacji meteorologicznej z terenu Polski przedstawia tabela 2.1.1.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.1.1 Wyniki obliczeń wartości stopniodni dla stacji meteorologicznych z terenu Polski

Lp.	Stacja meteo	Strefa	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Miesiące												Sd	
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
1	Aleksandrowice	II	49° 00' N	19° 00' E	T _e	-2,4	-1,3	2,2	7,3	11,0	15,5	18,0	15,5	10,2	8,0	4,0	-0,1	3145
					L _e	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
2	Białystok	IV	53° 06' N	23° 10' E	T _e	-4,8	-4,2	-0,3	6,8	12,4	18,5	17,6	12,2	7,1	2,3	-2,0	4245	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	10	31	30	31		
3	Bydgoszcz	II	53° 58' N	17° 58' E	T _e	-2,8	-2,2	1,4	6,9	12,4	18,7	17,6	12,9	7,9	3,3	-0,6	3924	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	5	31	30	31		
4	Chojnice	II	53° 43' N	17° 33' E	T _e	-3,2	-2,7	0,8	5,8	11,4	15,5	16,5	12,3	7,6	2,7	-1,0	4058	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	5	31	30	31		
5	Częstochowa	II	50° 49' N	19° 06' E	T _e	-2,9	-1,8	1,9	7,4	12,6	18,4	17,4	13,1	8,3	3,4	-0,6	3631	
					L _e	31	28	31	30	6	0	0	5	31	30	31		
6	Elbląg	II	54° 10' N	19° 36' E	T _e	-2,7	-2,3	1,3	6,5	11,7	16	17,2	13,1	8,4	3,5	-0,4	3917	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	5	31	30	31		
7	Gdańsk	I	54° 34' N	18° 42' E	T _e	-1,6	-1,3	1,6	6,1	11	15,7	17,4	13,6	6	4,2	0,7	3811	
					L _e	31	28	31	30	20	0	0	10	31	30	31		
8	Gorzów Wielkopolski	II	52° 48' N	15° 17' E	T _e	-1,8	-1	2,5	7,4	12,8	18,8	17,7	13,5	8,6	3,7	0,3	3144	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	5	31	30	31		
9	Hel	I	54° 38' N	18° 48' E	T _e	-0,8	-1	1,2	6	9,7	14,7	16,6	13,8	6,6	4,9	1,4	3689	
					L _e	31	28	31	30	20	0	0	10	31	30	31		
10	Jelenia Góra	II	50° 54' N	15° 48' E	T _e	-2,7	-1,7	1,7	6,2	11	14,8	16,1	11,9	7,6	2,2	-0,7	3908	
					L _e	31	28	31	30	5	0	0	5	31	30	31		
11	Kalisz	II	51° 47' N	18° 05' E	T _e	-2,7	-1,7	2	7,4	12,6	18,6	17,7	13,3	8,4	3,6	-0,6	3646	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	5	31	30	31		
12	Kasprowy Wierch	V	49° 14' N	19° 59' E	T _e	-3,6	-6,2	-8,6	-2,6	1,7	5,7	7	4,1	1	-3,5	-3,7	5687	
					L _e	31	28	31	30	20	0	0	20	31	30	31		
13	Katowice	II	50° 14' N	19° 02' E	T _e	-2,8	-1,5	2,1	7,5	12,6	18,2	17,4	13,1	8,4	3,6	-0,6	3798	
					L _e	31	28	31	30	6	0	0	5	31	30	31		
14	Kętrzyn	IV	54° 34' N	21° 22' E	T _e	4	-5,8	0	6,1	11,7	15,8	16,9	12,5	7,7	2,7	-1,4	4164	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	10	31	30	31		
15	Kielce	II	50° 49' N	20° 42' E	T _e	-3,9	-2,7	1	7	12,3	18,2	17,5	12,7	7,7	2,8	-1,2	3682	
					L _e	31	28	31	30	5	0	0	5	31	30	31		
16	Kłodzko	II	50° 28' N	16° 37' E	T _e	-2,6	-1,6	1,9	6,8	11,8	15,2	16,4	12,5	8	3,4	-0,5	3648	
					L _e	31	28	31	30	6	0	0	5	31	30	31		
17	Kolo	II	52° 12' N	18° 40' E	T _e	-2,8	-1,9	1,8	7,5	12,7	18,9	17,6	13,3	8,5	3,8	-0,4	3647	
					L _e	31	28	31	30	10	0	0	5	31	30	31		
18	Kolobrzeg	I	54° 11' N	15° 35' E	T _e	-0,9	-0,7	1,8	6,5	10	14,4	16,5	13,5	6,1	4,5	1,1	3681	
					L _e	31	28	31	30	20	0	0	10	31	30	31		
19	Koszalin	I	54° 12' N	16° 09' E	T _e	-1,4	-1,2	1,7	6	10,8	16	18,4	13	8,7	4,1	0,6	3960	
					L _e	31	28	31	30	20	0	0	10	31	30	31		

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



20	Kraków	II	50° 06' N	18° 48' E	T _r	-3	-1,6	2,3	8	+3	18,7	98	+7,4	10,4	8,1	2,7	-0,5	3776
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
21	Legnica	III	51° 12' N	18° 17' E	T _r	-1,5	-0,8	3	7,9	+2,7	18,0	17,9	+7,3	10,7	8,4	4,3	0,5	3654
					Ld	31	28	31	30	-1	0	0	0	5	31	30	31	
22	Lesko	IV	49° 28' N	21° 31' E	T _r	-3,2	-1,6	1,7	7,2	-2	15,3	16,6	-12	12,5	8,1	3,6	-0,6	3838
					Ld	31	28	31	30	-1	0	0	0	10	31	30	31	
23	Leszno	III	51° 57' N	18° 32' E	T _r	-2,1	-1,2	2,4	7,5	+2,6	19,0	17,7	17	10,2	8,2	3,9	0,1	3764
					Ld	31	28	31	30	-1	0	0	0	5	31	30	31	
24	Lebork	I	54° 32' N	17° 45' E	T _r	-1,5	-1,6	1,4	6	11	15,4	16,7	+6,3	12,8	8,2	4,1	0,5	3855
					Ld	31	28	31	20	20	0	0	0	10	31	30	31	
25	Łódź	II	51° 13' N	21° 26' E	T _r	-2,0	-2,9	0,9	7,5	+2,9	18,8	17,8	+8,9	12,7	7,8	3,1	+1,1	3857
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
26	Łeba	I	54° 42' N	17° 31' E	T _r	+1,2	+1,2	1,3	5,1	5,8	16,2	16,4	+5,4	10,2	8,1	4,4	0,2	3858
					Ld	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31	
27	Łódź	II	51° 44' N	18° 24' E	T _r	-3,2	-2,3	1,6	7,2	+2,5	16,5	17,6	+7,1	10,1	8,2	3,3	-0,8	3885
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
28	Mikołajki	IV	53° 47' N	21° 35' E	T _r	-4,2	-4	-2,3	6,9	+1,6	18,1	17,5	+8,7	12,7	7,6	2,7	-1,5	4193
					Ld	31	28	31	30	+2	0	0	0	10	31	30	31	
29	Mława	II	53° 08' N	20° 31' E	T _r	-4	-3,4	0,4	8,5	+2,2	18,4	17,4	+8,7	12,4	7,4	2,8	-1,5	4068
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
30	Nowy Sącz	III	49° 38' N	20° 42' E	T _r	-3,2	-1,6	2,6	7,7	+2,7	18,2	17,4	+8,9	10,2	8,2	3,9	-0,5	3769
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
31	Olśtyn	IV	53° 46' N	20° 25' E	T _r	-3,5	-3,3	0,3	6,1	+1,8	18	17	+8,5	12,4	7,2	2,7	+1,2	4142
					Ld	31	28	31	30	-1	0	0	0	10	31	30	31	
32	Opole	III	50° 38' N	17° 58' E	T _r	-2,1	-1	1,7	7,9	+2,5	16,8	18	+7,5	10,7	8,1	4	0,1	3884
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
33	Ostrółęka	II	53° 04' N	21° 25' E	T _r	-4	-3,8	0,2	7	+2,7	16,9	17,8	17	12,0	7,8	2,8	+1,3	4222
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
34	Plock	II	52° 38' N	18° 48' E	T _r	-2,3	-2,2	1,6	7,6	+3	17,2	16,3	+7,5	10,3	8,1	3,6	-0,5	3833
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
35	Poznań	III	52° 28' N	18° 53' E	T _r	-2,2	-1,4	2,1	7,4	+2,7	17	18	+7,1	10,4	8,2	3,7	-0,1	3886
					Ld	31	28	31	30	0	0	0	0	0	31	30	31	
36	Przemysł	II	49° 45' N	21° 48' E	T _r	-3,5	-2,2	1,8	8	+3	18,6	17,8	+7,2	10,5	8,2	3,8	-0,7	3829
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
37	Racibórz	II	50° 05' N	18° 17' E	T _r	-2,1	-1	2,0	8,1	+2,8	18,6	17,7	+7,1	10,4	8,7	4,2	0,1	3670
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
38	Resko	III	52° 48' N	18° 25' E	T _r	-1,3	-1,3	1,8	8,4	+1,5	15,6	16,8	+8,3	12,8	8,4	3,8	0,4	3833
					Ld	31	28	31	30	25	0	0	0	10	31	30	31	
39	Rzeszów	II	50° 08' N	21° 58' E	T _r	-3,7	-2,6	1,5	7,8	+2,7	18,4	17,8	+7,1	10,2	8,2	3,5	-0,8	3886
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
40	Sandomierz	III	50° 42' N	21° 43' E	T _r	-3,2	-2,5	1,4	7,9	+3	18,0	17,9	+7,4	10,3	8,1	3,1	-1,3	3818
					Ld	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31	
41	Siedce	IV	50° 18' N	21° 45' E	T _r	-4,2	-3,4	0,8	7,1	+2,8	18,0	17,7	+6,8	12,7	7,6	2,8	-1,4	4105
					Ld	31	28	31	30	-1	0	0	0	10	31	30	31	

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

43	Surażki	V	54° 18' N	19° 57' E	T ₁	6,4	-2,1	-1,3	3,2	11,7	16,2	18,9	15,2	11,8	8,7	1,6	-2,6	4580
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	20	3	32	21	
44	Sieroszin	I	52° 24' N	14° 57' E	T ₁	-1,2	-2,7	2,6	7,1	12,4	16,2	17,8	17,1	13,5	8,9	1,4	1	3761
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	0	3	32	21	
45	Szczodrak	I	52° 43' N	13° 42' E	T ₁	-2,5	-2,2	1,1	6,1	11,5	16,3	18,8	15,2	12,5	7,9	1,4	-2,3	4066
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	0	3	32	21	
46	Świeża	III	52° 14' N	13° 42' E	T ₁	-1,2	-1	-3,1	-1,8	3	2,3	8,1	6,1	2,3	2,1	-2,6	-2,5	5203
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
47	Świdziejka	I	52° 58' N	18° 14' E	T ₁	-2,6	-2,4	2,5	8,1	13,9	15,3	17	15,6	13,6	9,4	4,7	1,3	3783
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	0	3	32	21	
48	Timowa	III	52° 02' N	13° 52' E	T ₁	-2,8	-1,4	2,4	8,1	12,9	16,8	17,9	17,4	13,7	9	4,2	1	3711
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
49	Trojanów	IV	52° 04' N	13° 32' E	T ₁	-4,8	-3,8	2,6	7,1	11,7	16,2	17,9	15,6	12,7	7,7	1,8	-1,8	4116
					L ₁	21	26	21	28	10	2	0	0	0	3	32	21	
50	Turab	III	52° 03' N	13° 32' E	T ₁	-3,1	-2,2	1	6,1	11,7	16,1	17,2	15,3	12,4	7,7	1,2	-2,7	3656
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
51	Piła	II	52° 08' N	13° 42' E	T ₁	-2,4	-1,7	1,6	8,1	12,2	16,2	17,4	15,7	12,8	8,1	1,4	-2,2	3660
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	0	3	32	21	
52	Wierzbowa	III	52° 18' N	13° 52' E	T ₁	-2,4	-2,1	1,6	7,1	11,9	17	18,1	17,4	13,2	8,4	1,3	-2,8	3885
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
53	Wielki	II	52° 12' N	18° 34' E	T ₁	-2,7	-1,8	2,1	7,2	12,6	16,2	17,8	17	13,8	8,5	1,6	-2,4	3826
					L ₁	21	26	21	28	10	2	0	0	2	3	32	21	
54	Wierzbna	III	52° 12' N	13° 32' E	T ₁	-4,5	-3,2	2,4	7,2	12	17	18,1	17,2	12,9	7,7	1,6	-1,7	4043
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
55	Wrocław	II	52° 06' N	13° 52' E	T ₁	-1,9	-2,2	2,7	7,1	12,7	16,7	17,8	17,1	13,5	8,7	1,1	0,2	3707
					L ₁	21	26	21	28	10	2	0	0	2	3	32	21	
56	Zdzieszewo	V	48° 18' N	13° 52' E	T ₁	0	-2,2	-0,2	-0,2	6,4	12,2	14,3	12,7	10,2	6,9	1,2	-2,8	4656
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	20	3	32	21	
57	Zembski	III	52° 43' N	13° 12' E	T ₁	-4,3	-2,2	2,7	7,1	12,7	16,2	17,3	15,8	12,8	7,8	2	-1,4	4003
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
58	Boleski	I	54° 35' N	13° 52' E	T ₁	-2,4	-1,7	1,6	8,1	12,2	16,2	17,4	15,7	12,8	8,1	1,4	-2,2	3960
					L ₁	21	26	21	28	20	2	0	0	0	3	32	21	
59	Złotna Góra	II	52° 58' N	13° 32' E	T ₁	-1,9	-2,2	2,6	7,1	12,6	16,3	17,8	17,2	13,7	8,9	1,8	0,1	3726
					L ₁	21	26	21	28	10	2	0	0	2	3	32	21	
60	Świeża	III	52° 21' N	13° 52' E	T ₁	-2,2	-2,3	1,5	7,1	12,6	16,2	17,6	17,1	13,1	8,2	1,2	-2,8	3885
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	
61	Kiełbaso	III	48° 43' N	21° 42' E	T ₁	-2,2	-1,2	2,6	7,1	12,7	16,2	17,4	15,6	12,2	8,9	1,6	-2,5	3766
					L ₁	21	26	21	28	5	2	0	0	2	3	32	21	

T₁ Średnia temperatura powietrza zewnętrzna w miesiącu °C

L₁ Liczba dni ogrzewania w miesiącu °C

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Obliczenie rocznego zapotrzebowania energii dla ogrzewania i wentylacji $Q_{H,cal}$ (według jednej z metod określonych w algorytmie) pozwala na estymację godzinową tej wartości w skali roku wg wzoru:

$$|Q_{H,cal,i}| = \frac{Q_{H,cal}}{\sum_i S_{gi}} \cdot S_{gi} \quad (2.1.9)$$

gdzie S_{gi} jest wartością stopniogodziny dla każdej i -tej godziny sezonu grzewczego liczoną zgodnie z formułą (2.1.3).

W kolejnym kroku kontynuacji obliczeń wg algorytmu zapotrzebowania energii na ogrzewanie i wentylację oblicza się obciążenie cieplne budynku ϕ_{HLi} wg wzoru:

$$\phi_{HLi} = \frac{Q_{H,cal,max}}{\Delta\tau} \cdot \left(\frac{\theta_{set,H,max} - \theta_{strefy}}{\theta_{set,H,max} - \theta_{e,max}} \right) \quad (2.1.10)$$

gdzie $Q_{H,cal,max}$ jest maksymalną godzinową wartością zapotrzebowania energii, a temperatury określają odpowiednio:

$\theta_{set,H,max}$ – maksymalna temperatura wewnętrzna w budynku dla okresu ogrzewania, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w jego pomieszczeniach [$^{\circ}\text{C}$],

$\theta_{e,max}$ – temperatura zewnętrzna w punkcie o maksymalnej wartości $Q_{H,nd,ki}$ [$^{\circ}\text{C}$],

$\theta_{e,strefy}$ – temperatura zewnętrzna obliczeniowa dla danej strefy klimatycznej [$^{\circ}\text{C}$].

Istnieje możliwość obliczenia nadwyżki mocy cieplnej wymaganej do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania strefy ogrzewanej wg wzoru:

$$\phi_{RH,j} = A_j \cdot f_{RH} [W] \quad (2.1.11)$$

gdzie f_{RH} (współczynnik nagrzewania) jest współczynnikiem korekcyjnym zależnym od czasu nagrzewania i założonego obniżenia temperatury wewnętrznej podczas osłabienia [W/m^2] wg złącznika D.6. do normy krajowej PN-EN 12831 [2.7].

Po uwzględnieniu wszystkich k -tych grup pomieszczeń o różnych przyjętych temperaturach, całkowite obciążenie cieplne przestrzeni ogrzewanej wylicza się zgodnie z formułą:

$$\phi_C = \phi_{HL,i} + \sum_k z_k \cdot \phi_{RH,j} [\text{kW}] \quad (2.1.12)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Obliczona wielkość całkowitego obciążenia cieplnego budynku jest niezbędna do określenia wielkości urządzeń technologicznych w źródłach OZE zaopatrujących budynek.

Ich koszty są podstawą analiz finansowych ujętych w algorytmach oceny ekonomicznej przedsięwzięć warunkujących zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł w budownictwie.

Spis oznaczeń w algorytmie obliczeniowym zamieszczonym w zał. Nr 1:

$V_{k,Tk}$ - kubatura grupy pomieszczeń o k-tej temperaturze $V_{ogr,z,k}$ [m^3],

A_j - j - ta powierzchnia ogrzewana [m^2],

f_{HR} - współczynnik nagrzewania w budynkach mieszkalnych,

j - kolejna powierzchnia ogrzewana,

k - kolejna projektowa temperatura wewnętrzna,

S_{gki} - liczba stopniogodzin dla każdego pomieszczenia o różnej wymaganej temperaturze wewnętrznej w i-tej godzinie,

$\Delta\tau$ - analizowany przedział czasowy = 1h,

ϕ_C - obliczeniowa moc cieplna budynku [W],

$\phi_{RH,j}$ - nadwyżka mocy cieplnej do kompensowania skutków nieciągłego ogrzewania [W],

$\theta_{set,H,k}$ - temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniu [$^{\circ}C$],

$\theta_{set,H,max}$ - maksymalna temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniu [$^{\circ}C$],

θ_e - temperatura zewnętrzna w analizowanym okresie czasowym, wg danych dla najbliższej stacji meteorologicznej [$^{\circ}C$],

$\theta_{e,max}$ - temperatura zewnętrzna w punkcie o maksymalnej wartości $Q_{H,nd,ki}$ [$^{\circ}C$],

θ_{sr} - średnia temperatura pomieszczeń ogrzewanych [$^{\circ}C$],

η_s - średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku (instalacji centralnego ogrzewania),

η_d - średnia sezonowa sprawność transportu (dystrybucji) nośnika ciepła w budynku,

η_e - średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w budynku,

E_{kco} - wskaźnik zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji z uwzględnieniem sprawności (dla metody uproszczonej) [kWh/m^2rok],

A_f - powierzchnia ogrzewalna [m^2],

A - suma pól powierzchni wszystkich przegród budynku oddzielających część ogrzewalną od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczoną po obrysie zewnętrznym [m^2],

a - rok budowy,

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



S_{TN} - liczba stopniodni w strefie lokalizacji budynku,

S_{TIII} - liczba stopniodni w strefie III,

V_e – kubatura zewnętrzna [m³],

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.2. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Algorytm służy do obliczeń godzinowego i rocznego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową (c.w.u.) oraz ilości ciepła potrzebnego do jej podgrzania dla budynków jedno- i wielorodzinnych. Schemat blokowy algorytmu obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na przygotowanie c.w.u. zużywanej w budynku przedstawiono w zał. Nr 1. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [2.1]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Dane wejściowe

- Dla budynku jednorodzinnego:
 - budynek istniejący TAK/NIE
 - temperatura ciepłej wody użytkowej θ_{cw} [°C]
 - temperatura zimnej wody θ_{zw} [°C]
 - sprawność dystrybucji η_d , magazynowania η_s , i regulacji $\eta_e=1$
 - rodzaj systemu (zasobnikowy / przepływowy)
 - liczba mieszkańców (dla budynku istniejącego) U
 - liczba pomieszczeń (dla budynku projektowanego) L
- Dla budynku wielorodzinnego:
 - budynek istniejący TAK/NIE
 - temperatura ciepłej wody użytkowej θ_{cw} [°C]
 - temperatura zimnej wody θ_{zw} [°C]
 - sprawność dystrybucji η_d , magazynowania η_s , i regulacji $\eta_e=1$
 - rodzaj systemu (zasobnikowy / przepływowy)
 - liczba mieszkań N
 dla każdego mieszkania
 - liczba mieszkańców (dla budynku projektowanego) $U(N)$
 - liczba pomieszczeń (dla budynku istniejącego) $L(N)$

Wyniki obliczeń

- wielkości zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w budynku dla danej godziny roku $V_{cw,hi}$ [dm³]
- wielkości rocznego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w budynku roku $V_{cw,Rm}$, $V_{cw,Rb}$ [dm³]
- ilości ciepła wymagane do podgrzania c.w.u. w budynku dla danej godziny roku $Q_{w,nd,i}$ [kWh]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- ilości ciepła produkowane przez źródło ciepła na potrzeby podgrzania c.w.u. w budynku dla danej godziny roku $Q_{w,cat,i}$ [kWh]
- sumaryczne roczne wielkości ciepła roku $Q_{w,nd}$ i $Q_{w,cat}$ [kWh]

Przebieg obliczeń

Dla budynku jednorodzinnego przyjmuje się:

$$V_{cw,U} = 35 \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \quad (2.2.1)$$

$$V_{cw,mp} = 16 \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \quad (2.2.2)$$

gdzie:

$V_{cw,U}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody na mieszkańca [dm^3 /osoba·24h]

$V_{cw,mp}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody – pranie [dm^3 /24h]

Jeżeli rozpatrywany budynek istnieje należy podać liczbę mieszkańców U . Jeżeli budynek jest budynkiem projektowanym należy podać liczbę pomieszczeń L . Liczba mieszkańców U dla takiego budynku wyznaczana jest z zależności:

$$U = \frac{L}{0.97+0.04L} \quad (2.2.3)$$

Jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody w mieszkaniu $V_{cw,md}$ [dm^3 /24h] oblicza się wg formuły:

$$V_{cw,md} = UV_{cw,Ud} + V_{cw,mp} \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \quad (2.2.4)$$

Po określeniu jednostkowego dobowego zużycia ciepłej wody w mieszkaniu $V_{cw,md}$ obliczany jest rozkład godzinowy zużycia w kolejnych dobach roku. Odbywa się to poprzez wywołanie procedury obliczeń krzywej zapotrzebowania godzinowego.

Roczne zużycie ciepłej wody budynku jednorodzinnego $V_{cw,Rm}$ [dm^3] oblicza się z zależności:

$$V_{cw,Rm} = \sum_{i=1}^{8760} V_{cw,hmi} [dm^3] \quad (2.2.5)$$

przyjmując, że budynek jednorodzinny oznacza jedno mieszkanie.

Dla budynku wielorodzinnego przyjmuje się:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



$$V_{cw,U} = 38,4 \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \text{ gdy budynek wyposażony jest w wodomierze} \quad (2.2.6)$$

$$V_{cw,U} = 48 \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \text{ gdy budynek nie posiada wodomierzy} \quad (2.2.7)$$

$$V_{cw,mp} = 16 \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \quad (2.2.8)$$

gdzie:

$V_{cw,U}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody na mieszkańca [$dm^3/osoba \cdot 24h$]

$V_{cw,mp}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody – pranie [$dm^3/24h$]

Jeżeli rozpatrywany budynek istnieje należy podać ilość mieszkań N , a dla każdego mieszkania liczbę mieszkańców $U(N)$.

Jeżeli budynek jest budynkiem projektowanym należy podać ilość mieszkań N , a dla każdego mieszkania liczbę pomieszczeń L . Liczba mieszkańców U dla takiego budynku wyznaczana jest z zależności:

$$U = \frac{L}{0.97 + 0.04L} \quad (2.2.9)$$

Jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody w mieszkaniu $V_{cw,md}$ [$dm^3/24h$] oblicza się następująco:

$$V_{cw,md} = UV_{cw,Ud} + V_{cw,mp} \left[\frac{dm^3}{24h} \right] \quad (2.2.10)$$

Obliczenia przeprowadza się dla każdego z mieszkań.

Po określeniu jednostkowego dobowego zużycia ciepłej wody dla danego mieszkania $V_{cw,md}$ obliczany jest rozkład godzinowy zużycia w kolejnych dobach roku za pomocą procedury obliczeń krzywej zapotrzebowania godzinowego. W dalszej kolejności oblicza się wielkość zużycia ciepłej wody użytkowej dla całego budynku z uwzględnieniem niejednoczesności poboru przez poszczególne mieszkania.

Dla pory nocnej o długości t_l :

$$V_{cw,hbi} = \sum_{j=1}^N V_{cw,hmj} \quad (2.2.11)$$

Poza porą nocną:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



$$V_{cw,hbi} = \frac{(\sum_{j=1}^N V_{cw,md,j} - \sum_{i=1}^{t_1} V_{cw,jih(t)})^{(1-\varphi)}}{24-t_1} + \varphi \sum_{j=1}^N (\sum_{i=1}^t V_{cw,mi} - \sum_{i=1}^{t-1} V_{cw,mi}) \quad (2.2.12)$$

$$\varphi = \frac{1.15}{1+0.62 \ln N} \quad (2.2.13)$$

gdzie:

i – kolejna „i-ta” godzina

j – kolejne „j-te” mieszkanie

$V_{cw,hm}$ – godzinowe zużycie ciepłej wody na mieszkanie [dm^3]

$V_{cw,hb}$ – godzinowe zużycie ciepłej wody budynku wielorodzinnego [dm^3]

$V_{cw,Rb}$ – roczne zużycie ciepłej wody budynku wielorodzinnego [dm^3]

φ – współczynnik jednoczesności poboru c.w.u.

Roczne zużycie ciepłej wody budynku wielorodzinnego $V_{cw,Rb}$ [dm^3] oblicza się z zależności:

$$V_{cw,Rb} = \sum_{i=1}^{8760} V_{cw,hbi} [\text{dm}^3] \quad (2.2.14)$$

PROCEDURA OBLICZEŃ KRZYWEJ ZAPOTRZEBOWANIA GODZINOWEGO

W procedurze tej dla każdej i-tej godziny roku wyznacza się wielkość zużycia ciepłej wody użytkowej $V_{cw,hmi}$ w zależności od dobowego zużycia $V_{cw,md}$.

Jeżeli $V_{cw,md} \leq 170$ [$\text{dm}^3/24\text{h}$], to:

$$V_{cw,hmi} = \frac{V_{170cw,h(t)} \cdot V_{cw,md}}{170} \quad (2.2.15)$$

Jeżeli $170 < V_{cw,md} \leq 330$ [$\text{dm}^3/24\text{h}$], to:

$$V_{cw,hmi} = V_{170cw,h(t)} + [V_{330cw,h(t)} - V_{170cw,h(t)}] \frac{V_{cw,md} - 170}{330 - 170} \quad (2.2.16)$$

Jeżeli $330 < V_{cw,md} \leq 500$ [$\text{dm}^3/24\text{h}$], to:

$$V_{cw,hmi} = V_{330cw,h(t)} + [V_{500cw,h(t)} - V_{330cw,h(t)}] \frac{V_{cw,md} - 330}{500 - 330} \quad (2.2.17)$$

Jeżeli $V_{cw,md} > 500$ [$\text{dm}^3/24\text{h}$], to:

$$V_{cw,hmi} = \frac{V_{330cw,h(t)} \cdot V_{cw,md}}{500} \quad (2.2.18)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



gdzie:

$V_{170cw,h}(t)$ – funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu 170 [dm³/h]

$V_{330cw,h}(t)$ – funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu 330 [dm³/h]

$V_{500cw,h}(t)$ – funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu 500 [dm³/h]

t – bieżąca godzina użytkowania [h]

Funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu icw ($i=170,330,500$) ma postać [2.1]:

$$V_{icw,h}(t) = (a_2 + ct^{0.5} + et + gt^{1.5} + it^2) / (1 + bt^{0.5} + dt + ft^{1.5} + ht^2) \quad \text{dla } 24 \geq t > t_l \quad (2.2.19)$$

$$V_{icw,h}(t) = a_0 \quad \text{dla } 0 < t \leq t_l \quad (2.2.20)$$

gdzie: t_l – godzina zakończenia okresu nocnego, $t_l=6$ [h]

Parametry funkcji pozwalającej opisać rozkład godzinowego zapotrzebowania podano w tabelach 2.2.1 – 2.2.3. Na tym kończy się w algorytmie procedura obliczeń krzywej zapotrzebowania godzinowego ciepłej wody użytkowej.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.2.1 Parametry funkcji zużycia godzinowego dla odbiorcy o zapotrzebowaniu średnim 170 dm³/24h

Wsp.	styczeń	lut	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	paździer.	listopad	grudzień	wolne
a ₀ , dm ³ /h	0.24	0.38	0.37	0.27	0.23	0.4	0.3	0.2	0.25	0.34	0.45	0.25	0.11
a ₁ , dm ³ /h	0.0760921	0.438528899	0.459865765	-0.59490412	0.999744231	0.228631645	-0.53505795	0.309738948	0.183879046	0.134516301	0.315671704	-0.28177214	0.6267396
b ₁ , h ^{-0.5}	-1.2110951	-1.19385771	-1.13729859	-1.11286488	-1.21445287	-1.12630027	-1.13217985	-0.99835353	-1.13876513	-1.14901957	-1.18984623	-1.1962963	1.1410363
c ₁ , dm ³ /h ^{1.5}	-0.4903066	-0.65555373	-0.45433687	0.738335808	-1.6621147	-0.4629371	0.525297181	-0.10987737	-0.44604231	-0.49766807	-0.5690131	-0.1756659	0.6621475
d ₁ , h ⁻¹	0.5402693	0.52494167	0.483459029	0.462785608	0.548893907	0.468192438	0.479443937	0.378715239	0.478570281	0.485838445	0.520809526	0.5295054	0.4753201
e ₁ , dm ³ /h ²	0.4143464	0.354450753	0.21948252	-0.29649046	0.965648253	0.286127194	-0.13752781	0.003572865	0.28766887	0.355163811	0.35539682	0.3409225	0.2207627
f ₁ , h ^{1.5}	-0.1046626	-0.10002198	-0.09040814	-0.08593224	-0.10923067	-0.08492187	-0.09008032	-0.06419816	-0.08775909	-0.08934038	-0.09906891	-0.1019889	0.0855556
g ₁ , dm ³ /h ^{2.5}	-0.1149	-0.07867766	-0.05022243	0.039217654	-0.23474901	-0.06798642	0.000947432	0.001238267	-0.06910444	-0.08888788	-0.08706561	-0.1133424	0.0225500
h ₁ , h ⁻²	0.0074303	0.006992729	0.006258633	0.006107384	0.008072724	0.005673031	0.006353918	0.004081827	0.005927804	0.006033325	0.006915766	0.0072056	0.0056419
i ₁ , dm ³ /h ³	0.0102748	0.006169359	0.004201794	0	0.02041172	0.005507161	0.002334673	0	0.00560697	0.007358912	0.007285333	0.0109759	0.0000000

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.2.2 Parametry funkcji zużycia godzinowego dla odbiorcy o zapotrzebowaniu średnim 330 dm³/24h

Wsp.	styczeń	lut	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień	wolne
a_0 , dm ³ /h	0.79	0.72	0.87	0.91	0.45	0.79	0.52	0.60	0.96	0.95	1.36	0.93	0.35
a , dm ³ /h	1.602371581	0.365418219	0.622388596	-0.88333349	-0.53931031	0.058152639	-0.03212379	0.130851788	0.264512987	-0.23925288	1.906501431	-1.85350191	1.3135157
b , h ^{-0.5}	-1.12968636	-1.19200422	-1.1622873	-1.137964	-1.28001318	-1.09407707	-1.123555	-1.1282956	-1.11932417	-1.12199528	-1.1563516	-1.21815132	1.1713453
c , dm ³ /h ^{1.5}	-1.39181648	-0.90035048	-0.52857297	0.789258431	-0.4163364	-0.36473338	0.06554628	-0.07705003	-0.27882747	0.233103107	-1.7701955	1.724524483	1.8903721
d , h ⁻¹	0.466358621	0.522986088	0.495516331	0.478251924	0.62462776	0.466016233	0.464933836	0.469497707	0.460893209	0.464217487	0.4910106	0.545087977	0.5070857
e , dm ³ /h ²	0.357611892	0.619392268	0.140651333	-0.21736532	0.929153094	0.600992427	-0.04489693	0.019686829	0.099283752	-0.06221017	0.5369170	-0.48808782	0.9974271
f , h ^{-1.5}	-0.0831445	-0.09984359	-0.09159695	-0.08782094	-0.13799567	-0.09746747	-0.08385912	-0.08524363	-0.08260757	-0.08377559	-0.0906164	-0.10570527	0.0959864
g , dm ³ /h ^{2.5}	-0.0110478	-0.15782276	-0.00420458	0.019363494	-0.39897851	-0.32998735	0.014296739	-0.00192508	-0.01075638	0.00519892	-0.0520197	0.043873049	0.2226071
h , h ⁻²	0.005417594	0.007004235	0.006207056	0.005950185	0.011659869	0.008961992	0.005571067	0.005701978	0.005446176	0.005569041	0.0061473	0.007502693	0.0067060
i , dm ³ /h ³	-0.0035856	0.013501037	-0.00156722	0	0.051945775	0.057881025	-0.00151099	0	0	0	0.0000000	0	0.0177837

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.2.3 Parametry funkcji zużycia godzinowego dla odbiorcy o zapotrzebowaniu średnim 500 dm³/24h

Wsp.	styczeń	lut	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	paździer.	listopad	grudzień	wolne
$a_0, \text{dm}^3/\text{h}$	0.79	0.72	0.87	0.91	0.45	0.79	0.52	0.60	0.96	0.95	1.36	0.93	0.48
$a, \text{dm}^3/\text{h}$	1.535967276	0.920419761	1.3415392	3.548602473	0.286690061	0.838923691	-0.43472854	-0.778553596	2.182900795	1.470133529	0.678266875	1.408893379	2.7225498
$b, \text{h}^{-0.5}$	-1.14776848	-1.19816934	-1.20447863	-1.14617789	-1.09684295	-1.10921339	-1.14114753	-1.13937538	-1.12630993	-1.13728426	-1.1684710	-1.20926382	-1.1664215
$c, \text{dm}^3/\text{h}^{1.5}$	-1.43458741	-1.84862726	-2.3850687	-4.82282106	-0.21206311	-1.105113291	-0.31447837	0.666338305	-2.67358355	-2.17300863	-0.6060538	-2.46929945	-3.6137631
d, h^{-1}	0.48520652	0.527818328	0.54283478	0.485348115	0.44164889	0.448760677	0.480348165	0.478252899	0.467003818	0.47625824	0.5021759	0.537713063	0.5016906
$e, \text{dm}^3/\text{h}^2$	0.455522701	1.169682287	1.433742919	2.375912125	0.017519652	0.402805886	0.48947873	-0.17570823	1.187545334	1.133061604	0.1994484	1.498555289	1.7503647
$f, \text{h}^{-1.5}$	-0.08838725	-0.10106031	-0.10312191	-0.08984293	-0.07718985	-0.07819697	-0.0881397	-0.08748022	-0.08434554	-0.08682944	-0.0938449	-0.10373006	-0.0941525
$g, \text{dm}^3/\text{h}^{2.5}$	-0.0461254	-0.2860602	-0.34454741	-0.49843122	0.020215783	-0.04517616	-0.15008433	0.014773808	-0.22294671	-0.24294561	-0.0211080	-0.36126573	-0.3612699
h, h^{-2}	0.005928479	0.007103996	0.00731258	0.006138147	0.004950668	0.004965752	0.003950653	0.00588816	0.005606148	0.005820326	0.0064435	0.007329968	0.0065114
$i, \text{dm}^3/\text{h}^3$	0	0.023909739	0.028762333	0.037766071	-0.00349526	0	0.013708637	0	0.015022206	0.018358247	0.0000000	0.029992914	0.0269294

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Ilości ciepła wymagane do podgrzania c.w.u. w budynku dla danej godziny roku $Q_{w,nd,i}$ [kWh] obliczane są z zależności:

$$|Q_{w,nd,i}| = \frac{|V_{cw,hi}| \rho c_w (\theta_{cw} - \theta_{zw})}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh]} \quad (2.2.21)$$

a ilości ciepła produkowane przez źródło ciepła na potrzeby podgrzania c.w.u. w budynku dla danej godziny roku $Q_{w,cal,i}$ [kWh] wynoszą:

$$|Q_{w,cal,i}| = \frac{|Q_{w,nd,i}|}{\eta_d \eta_s \eta_e} \text{ [kWh]} \quad (2.2.22)$$

gdzie:

$V_{cw,hi} = V_{cw,hmi}$ lub $V_{cw,hi} = V_{cw,hmi}$ [dm³] w zależności od rodzaju budynku (jedno- lub wielorodzinny)

θ_{cw} – temperatura ciepłej wody na zaworze czerpalnym [°C]

θ_{zw} – temperatura zimnej wody [°C]

c_w – pojemność cieplna właściwa wody ($c_w = 4186$) [J/(kgK)]

ρ – gęstość wody ($\rho = 0,985$) [kg/dm³]

η_d – sprawność dystrybucji

η_s – sprawność magazynowania

η_e – sprawność regulacji, $\eta_e = 1$

Obliczeniowa moc cieplna Φ_c [kW] na pokrycie potrzeb c.w.u. wynosi:

$$\Phi_c = 10,44 \cdot N \left(\frac{1,15}{1+0,62 \cdot \ln N} \right) \text{ [kW]} \text{ dla instalacji z zasobnikiem} \quad (2.2.23)$$

$$\Phi_c = 22,5 \cdot N \left(\frac{1,15}{1+0,62 \cdot \ln N} \right) \text{ [kW]} \text{ dla instalacji bez zasobnika} \quad (2.2.24)$$

Spis oznaczeń w algorytmie obliczeniowym zamieszczonym w zał. Nr 1:

i – kolejna „i-ta” godzina

j – kolejne „j-te” mieszkanie

L – liczba pomieszczeń

$L(N)$ – liczba pomieszczeń dla każdego mieszkania

N – liczba mieszkań

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- $Q_{w,nd,i}$ – godzinowe zapotrzebowanie na ciepło do podgrzania c.w.u. [kWh]
 $Q_{w,cal,i}$ – ciepło produkowane przez źródło ciepła do podgrzania c.w.u.
dla danej godziny roku [kWh]
 t – bieżąca godzina użytkowania [h]
 t_l – godzina zakończenia okresu nocnego [h]
 θ_{cw} - temperatura ciepłej wody na zaworze czerpalnym [°C]
 θ_{zw} - temperatura zimnej wody [°C]
 η_d – sprawność dystrybucji
 η_s – sprawność magazynowania
 η_e – sprawność regulacji, $\eta_e=1$
 U – liczba mieszkańców
 $U(N)$ – liczba mieszkańców dla każdego mieszkania budynku istniejącego
 $V_{cw,Ud}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody na mieszkańca [$\text{dm}^3/\text{osoba}\cdot 24\text{h}$]
 $V_{cw,mp}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody – pranie [$\text{dm}^3/24\text{h}$]
 $V_{cw,md}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody w mieszkaniu [$\text{dm}^3/24\text{h}$]
 $V_{cw,hm}$ – godzinowe zużycie ciepłej wody na mieszkanie [dm^3/h]
 $V_{cw,hb}$ – godzinowe zużycie ciepłej wody budynku wielorodzinnego [dm^3/h]
 $V_{cw,Rm}$ – roczne zużycie ciepłej wody przez mieszkanie (budynek jednorodzinny) [dm^3]
 $V_{cw,Rb}$ – roczne zużycie ciepłej wody budynku wielorodzinnego [dm^3]
 $V_{170cw,h}(t)$ – funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu 170 [dm^3/h]
 $V_{330cw,h}(t)$ – funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu 330 [dm^3/h]
 $V_{500cw,h}(t)$ – funkcja zużycia godzinowego dla odbiorcy o zaopatrzeniu 500 [dm^3/h]
 c_w – pojemność cieplna właściwa wody ($c_w = 4186$) [$\text{J}/(\text{kgK})$]
 ρ – gęstość wody ($\rho = 0,985$) [kg/dm^3]
 φ – współczynnik jednoczesności poboru c.w.u.
 Φ_c - obliczeniowa moc cieplna na pokrycie potrzeb c.w.u. [kW]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.3. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na chłodzenie i wentylację budynku

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Schemat blokowy algorytmu obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na chłodzenie i wentylację budynku przedstawiono w zał. Nr 1. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [2.1]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

W przyjętej metodyce obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na chłodzenie i wentylację budynku uwzględniono wymagania normy europejskiej [2.3] i krajowej metodologii [2.4] w zakresie obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.

Oznaczenia do schematu blokowego:

$A_j - j$ - ta powierzchnia klimatyzowana [m^2]

$E_{el,kl,i}$ – energia elektryczna pobierana przez klimatyzator w i -tej godzinie [Wh/h]

$ESEER$ – średniosezonowa sprawność klimatyzatora

i – kolejna godzina

j – kolejna powierzchnia chłodzona

k – kolejna projektowa temperatura wewnętrzna

$Q_{CH,nd,i}$ - zapotrzebowanie na energię użyteczną w i -tej godzinie dla kubatury o k - różnych przyjętych temperaturach projektowych [kWh]

S_{gki} - liczba stopniogodzin dla każdego pomieszczenia o różnej wymaganej temperaturze wewnętrznej w i -tej godzinie

Δt – analizowany przedział czasowy = 1h,

$\theta_{set, C, k}$ – temperatura wewnętrzna dla okresu chłodzenia, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniu [$^{\circ}C$]

$\theta_{set, C, max}$ – maksymalna temperatura wewnętrzna dla okresu chłodzenia, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniu [$^{\circ}C$]

θ_e – temperatura zewnętrzna w analizowanym okresie czasowym, wg danych dla najbliższej stacji meteorologicznej [$^{\circ}C$]

$\theta_{e, max}$ – temperatura zewnętrzna w punkcie o maksymalnej wartości $Q_{CH,nd,ki}$ [$^{\circ}C$]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



θ_{sr} – średnia temperatura pomieszczeń klimatyzowanych [$^{\circ}\text{C}$],

θ_{strefy} – temperatura dla strefy I lub II w okresie letnim wg. Normy PN-76/B-03420 max. temperatura dla strefy I w okresie letnim to 28°C , a dla strefy II to 30°C .

W początkowej fazie działania zgodnie z algorytmem użytkownik wprowadza następujące dane wejściowe:

1. Dane pomiarowe dotyczące zużycia energii w poprzednich sezonach chłodniczych (jeżeli istnieją) lub obliczeniowe zapotrzebowanie energii użytkowej dla chłodzenia $Q_{CH,nd}$ [kWh] liczone dla całego roku wg PN-EN ISO 137900 i współczynniki sprawności instalacji chłodniczej (akumulacji, przesyłu i regulacji energii dla potrzeb chłodzenia)
2. Położenie geograficzne budynku, potrzebne by ustalić najbliższą stację meteorologiczną i przypisać wartość temperatury zewnętrznej termometru suchego w $^{\circ}\text{C}$ dla każdej godziny w roku
3. Kubatura części chłodzonej (klimatyzowanej) $V_{CH,cał}$ [m^3]
4. Kubatura pomieszczeń o różnych przyjętych temperaturach projektowych dla komfortu chłodzenia pomieszczeń w budynku $V_{CH,k}$ [m^3]
5. Powierzchnia chłodzona (klimatyzowana) o regulowanej temperaturze komfortu chłodzenia $A_f = \sum_j A_j$ [m^2]
6. Strefa klimatyczna dla analizowanego budynku.

Po wprowadzeniu danych wejściowych należy odpowiedzieć na pierwsze podstawowe pytanie „czy posiadasz układ chłodzenia”, jeżeli odpowiedź jest twierdząca, następnym krokiem jest podanie mocy posiadanego urządzenia, jego zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz wartość sprawności średniosezonowej ESEER. Po podaniu tych danych możliwe jest określenie zapotrzebowania na chłód. W przypadku gdy nie posiada się układu chłodzenia przechodzi się do kolejnego bloku decyzyjnego, w którym należy odpowiedzieć na pytanie „czy chcesz układ chłodzenia”. Jeżeli odpowiedź będzie negatywna, program kończy pracę, w przeciwnym razie przechodzimy do określenia zapotrzebowania na chłód.

Pierwszym krokiem obliczania zapotrzebowania na chłód jest wybór temperatur w pomieszczeniach, czas ich trwania oraz czas dochodzenia do zadanej temperatury po jej wcześniejszym obniżeniu. Następnie obliczany jest udział objętościowy kubatur chłodzonych o jednakowej temperaturze projektowej oraz określana jest średnia temperatura pomieszczeń.

Kolejnym krokiem jest wybór decyzyjny określający czy zapotrzebowanie na chłód należy liczyć dla sezonu chłodniczego standardowego tj. od 1 czerwca do 1 września danego roku czy dla niestandardowego z określeniem zewnętrznej temperatury granicznej, powyżej której będą

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



chłodzone pomieszczenia w budynku. Jeżeli wybierzemy opcję dla sezonu standardowego algorytm w oparciu o bazę danych meteorologicznych obliczy stopniogodziny dla każdej godziny sezonu standardowego w zakresie chłodzenia pomieszczeń w budynku, w przeciwnym razie należy wpisać temperaturę graniczną. Dane niezbędne do obliczenia stopniogodzin pobierane są z bazy danych meteorologicznej dla danej lokalizacji budynku.

Następnie obliczane jest zapotrzebowanie na energię instalacyjną do celów chłodniczych dla każdej godziny roku i dla każdej wyodrębnionej kubatury chłodzonej składającej się na całą kubaturę chłodzoną budynku.

W końcowym kroku obliczana jest moc średnia chłodzenia dla wszystkich przedziałów godzinowych w których występują wartości $Q_{CH,cal,i} > 0$ oraz zostaje zadane pytanie o akceptację tak obliczonej wartości. Jeśli nie odpowiada nam wyliczona wartość średniej mocy dla potrzeb chłodzenia, można wpisać wybraną wartość tej mocy. Wielkość ta pozwoli w innym module zintegrowanego programu określić nakłady inwestycyjne na instalację chłodzenia dla oceny opłacalności analizowanego wariantu rozwiązania. W obu przypadkach w dalszym kroku przechodzimy do obliczenia godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej zużywanej przez napęd chłodziarki sprężarkowej.



2.4. Algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej w budynku

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Schemat blokowy algorytmu obliczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej w budynku przedstawiono w zał. Nr 1. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [2.1]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Opis algorytmu wyznaczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej w budynkach różnych klas zasilanych z sieci nN

Dla wyznaczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej dla danego budynku wymagane jest podanie danych wejściowych, na które składają się roczne zapotrzebowania na energię E_r [kWh/rok] oraz przyporządkowana dla budynku klasa odbiorcy [2.1]. Ze względu na średnie roczne zapotrzebowanie na energię oraz charakter odbiorców podzielono ich na poszczególne klasy. Podział klas odbiorców w budynkach zasilanych z sieci nN został przedstawiony w tabeli 2.4.1.

Tabela 2.4.1. Zróżnicowane klasy odbiorców zasilanych z sieci nN

Taryfa	Grupa odbiorców	$E_{r-śr}$ [kWh/a]	E_{r-min} [kWh/a]	E_{r-max} [kWh/a]
G11	Mieszkania, zużycie poniżej 1000 kWh/a	700	300	1000
G11	Mieszkania, zużycie od 1000 do 3000 kWh/a	1900	1000	3000
G11	Mieszkania, zużycie powyżej 3000 kWh/a	4400	3000	12100
G11	Domy	4100	1000	23300
G12	Mieszkania	5600	1100	16200
G12	Domy	7000	1200	53600

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



C	Handel	19900	1000	102400
C	Usługi	15800	1100	104500
C	Produkcja	21800	1100	101300

Po wprowadzeniu w danych rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz klasy odbiorcy wprowadzone zostają z bazy danych wymagane parametry dla danej klasy.

Rozrzut wartości obciążenia w poszczególnych godzinach doby dla odbiorców danej klasy określony jest współczynnikiem zmienności pozwalającym określić spodziewaną szczytową wartość obciążenia jaka może wystąpić w danym układzie. Wyznaczone współczynniki zmienności przedstawione są w poniższej tabeli 2.4.2.

Tabela 2.4.2. Współczynniki zmienności dla występujących zmiennych w procesie losowym

Taryfa	Grupa odbiorców	Rzeczywiste uzyskane z pomiarów współczynniki zmienności			Modelowy współczynnik zmienności
		max.	min.	śr.	
G11	Mieszkania, zużycie poniżej 1000 [kWh/a]	0,9	0,6	0,7	0,7
G11	Mieszkania, zużycie od 1000 do 3000 [kWh/a]	0,8	0,6	0,7	0,7
G11	Mieszkania, zużycie powyżej 3000 [kWh/a]	0,8	0,5	0,6	0,7
G11	Domy	0,9	0,5	0,6	0,7
G12	Mieszkania	0,7	0,4	0,5	0,5

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

G12	Domy	0,7	0,4	0,5	0,5
C	Handel	0,6	0,3	0,4	0,4
C	Usługi	0,6	0,3	0,4	0,4
C	Produkcja	0,6	0,3	0,4	0,4

Obciążenie odbiorcy określa się dla losowo wybranych numerów przedziałów czasowych (jednej godziny losowo wybranej z 8760 godzin w ciągu roku). Obciążenie odbiorcy (zużyta energia w czasie 1 godziny) określa się jako:

$$E(k') = e^{u \cdot \sqrt{\ln(1+v^2)} + \ln \frac{EX(k')}{\sqrt{1+v^2}}} \quad (2.4.1)$$

gdzie:

u – liczba generowana przez generator liczb losowych o unormowanym rozkładzie normalnym $N(0,1)$,

$EX(k')$ - wartość oczekiwana obciążenia w przedziale czasowym (w godzinie) k' – zależna od klasy odbiorcy, miesiąca,

v - współczynnik zmienności obciążenia

Tak wyznaczone obciążenie odbiorcy jest wyrażone w wartości względnej. Kolejnym krokiem do wygenerowania rocznego godzinowego przebiegu obciążenia dowolnego odbiorcy jest wylosowanie przez generator liczb losowych dowolnego przedziału czasowego. Po jego wylosowaniu sprawdzany jest warunek czy został już wylosowany wcześniej przedział sąsiadujący z wylosowanym. Jeżeli wylosowano numer przedziału czasowego sąsiadujący z już wcześniej wylosowanym przedziałem to przy określaniu obciążenia należy uwzględnić istniejącą zadaną korelację. Obciążenie odbiorcy wyznacza się wtedy z zależności:

$$E(k') = e^{u_A \cdot \delta \cdot \sqrt{\ln(1+v^2)} + u_B \cdot \sqrt{1-\delta^2} \cdot \sqrt{\ln(1+v^2)} + \ln \frac{EX(k')}{\sqrt{1+v^2}}} \quad (2.4.2)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



gdzie:

- u_A jest wcześniej wygenerowaną liczbą losową o rozkładzie normalnym (dla przedziału sąsiadującego),
- u_B jest aktualnie generowaną liczbą losową,
- δ jest współczynnikiem korelacji pomiędzy obciążeniami w analizowanych sąsiadujących przedziałach czasowych.

W przypadku gdy numer przedziału znajduje się pomiędzy dwoma już wylosowanymi, należy skorelować obciążenie z jedną z dwóch losowo wybranych sąsiadujących wartości. W przypadku wylosowania przedziału niesąsiadującego z żadnym poprzednim przedziałem wyznaczone jest obciążenie względne, w przeciwnym przypadku obliczane jest obciążenie względne z korelacją. Wartości średnie współczynnika korelacji pomiędzy przedziałami czasowymi odległymi od siebie o nie więcej niż kilka godzin przedstawiono w tabeli 2.4.3.

Tabela 2.4.3. Wartości współczynnika korelacji δ pomiędzy poszczególnymi przedziałami czasowymi dla przykładowego odbiorcy klasy G11 -mieszkania

Odstęp pomiędzy przedziałami czasowymi [h]	1	2	3	4	5	6	7	8
Wsp. korelacji G11-mieszk.	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Wsp. korelacji C-handel	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0

W modelu wprowadzono współczynnik autokorelacji dla sąsiadujących ze sobą godzin w ciągu doby. Przyjęto wartość uśrednioną dla wszystkich przedziałów dla poszczególnych klas odbiorców (tablica 2.4.4). Należy zwrócić uwagę, że w symulacjach da to zmniejszające się dodatnie skorelowanie przedziałów czasowych odległych od siebie o więcej niż godzinę tak jak ma to miejsce w rzeczywistych obciążeniach.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.4.4 Współczynniki autokorelacji procesu losowego dla poszczególnych klas odbiorców

Klasa odbiorców	G11	G12	C
Wsp. autokorelacji	0,4	0,6	0,8

Po wylosowaniu wszystkich wartości względnego obciążenia należy przejść na wartości bezwzględne. Można je określić z zależności:

$$E_B(k') = \frac{E(k')}{\sum_{k'=1}^{8760} E(k')} \cdot E_r \quad (2.4.3)$$

gdzie:

E_r jest zadaną roczną energią zużywaną przez danego odbiorcę [kWh/rok].

Procedura w algorytmie obliczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej w budynku jest powtarzana aż do momentu, gdy wylosowane zostaną wszystkie przedziały godzinowe. W przypadku, gdy chcemy określić obciążenie dla większej ilości odbiorców należy powyższą procedurę powtórzyć dla każdej klasy odbiorcy, a następnie zsumować obciążenia dla tych odbiorców w każdej godzinie w ciągu roku.



2.5. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła w pompie ciepła

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Schemat blokowy algorytmu obliczania godzinowej produkcji ciepła w pompie ciepła zamieszczono w zał. Nr 2. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [2.2]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Zgodnie z sekwencją działań w algorytmie doboru pompy ciepła PC należy przygotować następujące dane wejściowe:

A_{dz} – powierzchnia działki wyrażona [m^2],

Φ_H – moc nominalna dla potrzeb ogrzewania wyrażona [kW],

Φ_W – moc nominalna dla potrzeb przygotowania ciepłej wody wyrażona [kW],

$Q_{H,cal,i}$ – energia instalacyjna dla potrzeb ogrzewania wyrażona [kWh],

$Q_{W,cal,i}$ – energia instalacyjna dla potrzeb przygotowania ciepłej wody użytkowej wyrażona [kWh],

Pierwszym krokiem w algorytmie jest wybór dziedziny zapotrzebowania energii, którą dostarczać będzie pompa ciepła. W zależności od potrzeb, PC może pokrywać zapotrzebowanie wyłącznie na ogrzewanie lub zarówno na ogrzewanie jak i na ciepłą wodę użytkową. Po wyborze dziedziny zapotrzebowania energii należy obliczyć moc nominalną wymaganą dla PC.

Pompa ciepła może pracować z dwoma typami gruntowych wymienników ciepła GWC (po stronie dolnego źródła), powierzchniowym lub pionowym. W przypadku wyboru wymiennika powierzchniowego (poziomego) należy z tabeli 2.5.1 odczytać współczynnik jednostkowego pola wymiennika gruntowego a_g wyrażonego w m^2 ze względu na rodzaj gruntu. Kolejnym krokiem jest dobór PC wg profilu producenta ze względu na wymaganą moc nominalną Φ_C z uwzględnieniem współczynnika efektywności energetycznej obiegu pompy ciepła (COP) oraz temperatury wody instalacyjnej.

Następnie obliczana jest powierzchnia działki wymagana do poprawnego ułożenia wężownicy poziomego GWC. Do obliczenia tej powierzchni wykorzystujemy wymaganą moc nominalną Φ_C oraz odczytany z tabeli 2.5.1 współczynnik a_g .

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Tabela 2.5.1. Wartości do wymiarowania poziomych, gruntowych wymienników ciepła GWC w instalacji sprężarkowych, elektrycznych pomp ciepła

Rodzaj gruntu	Jednostkowe pole dla wymiennika gruntowego a_g [m ² /kW]						Jednostkowy strumień ciepła pobieranego z gruntu q_E [W/m ²]		
	SPF= 3,0 (COP)			SPF= 3,5 (COP)					
	min.	śr	max	min.	śr	max	min.	śr	max
Suchy, piaszczysty	44	55,5	67	48	59,5	71	10	12,5	15
Wilgotny, piaszczysty	33	38,5	44	36	42	48	15	17,5	20
Suchy gliniasty	27	30	33	29	32,5	36	20	22,5	25
Wilgotny, gliniasty	22	24,5	27	24	26,5	29	25	27,5	30
Nasycony wodą piasek/ żwi	17	19,5	22	18	21	24	30	35	40

Następnie należy sprawdzić warunek czy powierzchnia działki nie jest mniejsza od wymaganej powierzchni koniecznej do wykonania poziomego GWC. W przypadku gdy powierzchnia działki do ułożenia GWC okazała się większa od powierzchni działki dla budynku wyliczana jest wartość procentowa X %, przedstawiająca jaką część zapotrzebowania pokrywać będzie wymiennik powierzchniowy umieszczony na danej działce. W tym przypadku konieczne jest zastosowanie pionowych GWC (sondy głębinowe). Jeśli spełniamy warunek, że powierzchnia działki będzie większa od powierzchni wymaganej do ułożenia poziomego GWC, przechodzimy do obliczenia rocznego wektora godzinowego ciepła wytworzonego przez pompę ciepła dla ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, a następnie obliczony zostaje roczny wektor godzinowego zużycia energii elektrycznej przez napęd sprężarki w obiegu pompy ciepła.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

W przypadku wyboru wymienników gruntowych pionowych (sondy głębinowe) należy dobrać na podstawie tabeli 2.5.2 jednostkową długość sondy l_g ze względu na rodzaj gruntu. Następnie oblicza się długość sond głębinowych wykorzystując wymaganą moc obliczeniową oraz odczytany z tabeli 2.5.2 współczynnik l_g .

Tabela 2.5.2. Jednostkowy strumień ciepła z różnego rodzajów gruntów – dla wymiarowania sond gruntowych pionowych do mocy 20 kW

Rodzaj gruntu	Jednostkowa długość sondy w odniesieniu do 1 kW mocy grzewczej l_g [m/kW]						Pobierana jednostkowa moc cieplna q_l [W/m]		
	SPF= 3,0 (COP)			SPF= 3,5 (COP)			min.	śr	max
	min.	śr	max	min.	śr	max			
Żwir, piasek – suchy	>33			>36			<20		
Żwir, piasek – w warstwie wody	10	11	12	11	12	13	55	60	65
Gлина wilgotna	17	19,5	22	18	20	24	30	35	40
Wapień (skała)	11	13	15	12	14	16	45	52,5	60
Piaskowiec	10	11	12	11	12	13	55	60	65
Granit	9,5	10,75	12	10	11,5	13	55	62,5	70
Bazalt	12	15,5	19	13	16,5	20	35	45	55
Gnejs	9,5	10,25	11	10	11	12	60	65	70
Duże ciekłe grunty w piaskach i żwirach	6,7	7,5	8,3	7,1	8	8,9	80	90	100

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Kolejnym krokiem w algorytmie jest obliczanie dopuszczalnej liczby odwiertów na posiadanej działce oraz wyświetlenie parametrów: G - liczba odwiertów oraz L – długość (głębokość) odwiertów. Należy przy doborze wziąć pod uwagę, że odwierty nie przekraczające głębokości 30 m możliwe są do wykonania bez pozwolenia budowlanego. Jeśli parametry G i L uznajemy za poprawne przechodzimy do obliczenia rocznego wektora godzinowego ciepła wytworzonego przez pompę ciepła dla pokrycia potrzeb ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, w oparciu o który obliczony zostaje roczny wektor godzinowy zużycia energii elektrycznej przez napęd sprężarki w obiegu pompy ciepła.

Jeżeli obliczone parametry G oraz L nie spełniają naszych oczekiwań należy ponownie dobrać liczbę odwiertów i ich długość. W tym celu należy wpisać własną proponowaną długość sondy z przedziału od 30 do 100 [m]. Następnie w zależności od wpisanej wartości przyjęta zostaje jednostkowa powierzchnia na jeden odwiert oraz uzyskujemy informację, czy wymagane będzie pozwolenie na budowę. Następnie obliczona zostaje wymagana liczba odwiertów G' dla nowej długości sond oraz minimalna powierzchnia potrzebna na wykonanie odwiertów.

W przypadku gdy akceptujemy obliczony parametr G' oraz powierzchnia działki jest większa od powierzchni wymaganej pod odwierty przechodzimy do ostatniego etapu tj. obliczenia rocznego wektora godzinowego ciepła wytworzonego przez pompę ciepła dla ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej, a następnie obliczony zostaje roczny wektor godzinowego zużycia energii elektrycznej przez napęd sprężarki w obiegu pompy ciepła. W przeciwnym razie, gdy działka jest mniejsza od wymaganej powierzchni na wykonanie odwiertów możliwe jest albo zamiana liczby odwiertów (przez wpisanie nowej długości sond) lub obliczenie wartości procentowej $Y\%$ określającej, jaką część zapotrzebowania pokrywać będzie pompa ciepła z wymiennikiem pionowym umieszczonym na danej działce. Następnie obliczany jest roczny wektor godzinowej ilości ciepła wytworzonego przez pompę ciepła dla potrzeb ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz z uwzględnieniem współczynnika $Y\%$ roczny wektor godzinowego zużycia energii elektrycznej przez napęd sprężarki w obiegu pompy ciepła.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.6. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła w kolektorze słonecznym

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Obliczenia godzinowej produkcji ciepła w kolektorze słonecznym przeprowadza się zgodnie z algorytmem zamieszczonym w załączniku Nr 2. Schemat algorytmu opracowano w oparciu o dokumentację z realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [2.2]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Na podstawie algorytmu wyznaczania godzinowej produkcji ciepła w kolektorze słonecznym opracowany został moduł obliczeniowy w zintegrowanym programie komputerowym. W początkowym kroku dla wykonania obliczeń konieczne jest wprowadzenie następujących danych wejściowych:

- roczny wektor godzinowego zapotrzebowania na energię na przygotowanie ciepłej wody użytkowej $|Q_{W,cał,i}|$ na poziomie instalacyjnym, pobierany w zintegrowanym programie z modułu obliczeń zapotrzebowania energii w dziedzinie c.w.u., [kWh]
- roczny wektor godzinowego zapotrzebowania na energię dla ogrzewania i wentylacji $|Q_{H,cał,i}|$ na poziomie instalacyjnym, pobierany w zintegrowanym programie z obliczeń zapotrzebowania energii w dziedzinie ogrzewanie i wentylacja, [kWh]
- położenie geograficzne budynku (szerokość i długość geograficzna), określone i pobierane w zintegrowanym programie z danych wejściowych do obliczeń lub podane przez użytkownika ,
- powierzchnia dachu A_{dach} dostępna do wykorzystania do montażu kolektorów słonecznych, kąty nachylenia połaci dachowych i usytuowanie względem stron świata [m^2],
- wybór kolektora (jednego elementu):
 - sprawność optyczna η_g ,
 - powierzchnia czynna jednego kolektora A_K [m^2],
 - wysokość a [m], szerokość b [m],
- ilość mieszkańców z ,
- jednostkowe dobowe zapotrzebowanie ciepłej wody V_{cw} na mieszkańca [$dm^3/24h$]

Wprowadzenie danych wejściowych pozwala na rozpoczęcie obliczeń według schematu algorytmu obliczania godzinowej produkcji ciepła w kolektorze solarnym. Algorytm jest podstawą opracowania modułów obliczeniowych do zaimplementowania ich w zintegrowanym programie komputerowym.

Program pobiera z bazy danych meteorologicznych (dla podanego położenia geograficznego, nachylenia i usytuowania powierzchni do montażu kolektorów względem stron świata) wartości G_β [W/m^2] całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię o podanej orientacji i pochyleniu.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



W pierwszej kolejności obliczenia przeprowadza się przy założeniu, że dobrane kolektory słoneczne mają pokrywać $x1=100$ % potrzeb ciepłych na przygotowanie ciepłej wody użytkowej; $|Q_{Ci}| = |Q_{W,cat,i}|$. Następnie oblicza się godzinową produkcję energii wytwarzanej przez pojedynczy kolektor $|Q_{KS,i}|$, uwzględniając sprawność optyczną η_g poszczególnego elementu oraz współczynnik nasłonecznienia G_β . Następnie określa się niezbędną ilość kolektorów potrzebnych do pokrycia wymaganego zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz ich powierzchnię brutto A_p .

Kolejnym krokiem w algorytmie obliczeniowym jest porównanie powierzchni dobranych kolektorów A_p z powierzchnią dachu A_{dach} przeznaczoną do ich zabudowy. W przypadku, gdy obliczona powierzchnia kolektorów jest większa od powierzchni dachu, oblicza się procent pokrycia potrzeb ciepłych na przygotowanie c.w.u. przez kolektory słoneczne. Jeżeli wymagana powierzchnia kolektorów jest mniejsza od powierzchni dachu przeznaczonego na ich zabudowę przechodzi się do określenia nadwyżki energii $|\Delta Q_{Ci}|$ w każdej i-tej godzinie możliwej do wytworzenia przez kolektory słoneczne przy wykorzystaniu całej powierzchni dachu $|\Delta Q_{Ci}|$.

Dodatkowa powierzchnia, będąca różnicą powierzchni brutto dobranych kolektorów i powierzchni dachu przeznaczonej na montaż kolektorów, pozwala na montaż dodatkowej ilości I' kolektorów słonecznych, w których produkowana ilość energii może pokryć dodatkowo w $x2$ % zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania $|Q_{H,cat,i}|$.

W tym przypadku, przy bilansowaniu godzinowym energii wytworzonej w kolektorach słonecznych uwzględnia się sumę godzinowej produkcji energii $|Q_{Ci}| + |\Delta Q_{Ci}|$.

Dla rocznego zbilansowania produkcji energii cieplnej z zastosowaniem kolektorów słonecznych oblicza się wielkości rocznej produkcji energii wytworzonej przez I sztuk kolektorów podstawowych oraz I' sztuk dodatkowych kolektorów słonecznych.

Dla potrzeb akumulacji w układach węzłów ciepłych dla celów grzewczych i przygotowania ciepłej wody użytkowej, dodatkowo oblicza się objętość zasobnika zgodnie ze wzorami algorytmu w zależności od liczby mieszkańców i dobowego zapotrzebowania wody.

Oznaczenia w algorytmie wyznaczania godzinowej produkcji ciepła w kolektorze słonecznym (do załącznika Nr 2):

G_β - współczynnik nasłonecznienia [W/m^2]

τ - czas 1h

z - ilość mieszkańców

V_{cw} - jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody na mieszkańca [dm^3/d]

A_p - powierzchnia brutto dobranych kolektorów [m^2]

η_g - sprawność optyczna kolektora

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.7. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła w kotle do spalania biomasy

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Obliczanie godzinowej produkcji ciepła w kotle do spalania biomasy przeprowadza się zgodnie z sekwencją przedstawioną w algorytmie zamieszczonym w załączniku Nr 2. Schemat algorytmu opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [2.2]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Zgodnie z algorytmem przeprowadzenie obliczeń wymaga podania poniższych danych wejściowych:

- roczny wektor godzinowego zapotrzebowania na energię na przygotowanie ciepłej wody użytkowej $|Q_{W,cal,i}|$ na poziomie instalacyjnym, pobierany przez program z modułu obliczeń zapotrzebowania energii w dziedzinie przygotowania c.w.u. [kWh],
- roczny wektor godzinowego zapotrzebowania na energię dla ogrzewania i wentylacji $|Q_{H,cal,i}|$ na poziomie instalacyjnym, pobierany przez program z modułu obliczeń zapotrzebowania energii w dziedzinie ogrzewania i wentylacji [kWh],
- określenie możliwości zastosowania biomasy do opalania kotła i dostępu do niej (ze względów ekonomicznych w odległości co najwyżej do 50 km),

W pierwszej kolejności określa się rodzaj dostępnej biomasy według tabeli zawartej w programie komputerowym. Tabela podaje procentowy udział masowy poszczególnych składników spalania dla wybranej biomasy, będących podstawą do obliczenia wartości opalowej tego paliwa. Następnie ustala się zakres pokrycia potrzeb energetycznych przez kocioł opalany biomasą. Analizuje się wektory godzinowe zapotrzebowania energii w poszczególnych dziedzinach, które ma pokryć godzinowa produkcja ciepła z zastosowaniem kotła opalanego biomasą. Taka analiza pozwala na przeprowadzenie końcowego zbilansowania energetycznych potrzeb i produkcji w danym odnawialnym źródle ciepła w każdej godzinie roku.

Rozpatruje się dwie możliwości bilansowe:

- pokrycie zapotrzebowania na energię dla ogrzewania i wentylacji

$$|Q_{c,i}| = |Q_{H,cal,i}| \quad (2.7.1)$$

- pokrycie zapotrzebowania na energię dla ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej

$$|Q_{c,i}| = |Q_{H,cal,i}| + |Q_{W,cal,i}| \quad (2.7.2)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Następnie oblicza się wartość opałową zastosowanej biomasy przy wykorzystaniu danych udziałów masowych poszczególnych składników biomasy wg tabeli zaimplementowanej w programie komputerowym.

Po określeniu sprawności dobranego źródła η_g (wartości zgodne z tabelą ujętą w algorytmie w zależności od rodzaju biomasy) oblicza się roczne zapotrzebowanie na biomasę [kg/rok] do opalania kotła.

Energia cieplna wytwarzana przez kocioł opalany biomasą jest uzależniona od zakresu dziedzin potrzeb energetycznych, stanowi produkcję tego typu OZE i jest elementem w bilansie energetycznym budynku.

Oznaczenia w algorytmie obliczania godzinowej produkcji ciepła w kotle do spalania biomasy są następujące:

$|Q_{c,i}|$ - roczny wektor godzinowej produkcji ciepła w kotle opalany biomasą [kWh]

$|Q_{H,cal,i}|$ - roczny wektor godzinowego zapotrzebowania na energię dla ogrzewania i wentylacji budynku [kWh]

$|Q_{W,cal,i}|$ - roczny wektor godzinowego zapotrzebowania na energię na przygotowanie ciepłej wody użytkowej w budynku [kWh]

$W_{d,k}$ - wartość opałowa k –tego rodzaju biomasy do opalania kotła [kWh/kg]

c, h, o, s, w - udział masowy i-tego składnika biomasy w wybranym rodzaju biomasy [kg sm/kg sm]

η_g – sprawność kotła na biomasę

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.8. Algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie kogeneracyjnym CHP

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Schemat blokowy algorytmu obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie kogeneracyjnym CHP zamieszczono w zał. Nr 2. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 16 zadania badawczego nr 3 [2.6]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Do przeprowadzenia obliczeń godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie kogeneracyjnym CHP wykorzystywane są dane pochodzące z innych modułów obliczeniowych (w zakresie zapotrzebowania energii oraz sposób sterowania układem kogeneracyjnym) oraz dane opisujące układ technologiczny.

W zakresie danych koniecznych do pozyskania z innych modułów obliczeniowych wykorzystywane są:

- P_{thkdi} - zapotrzebowanie na ciepło (w i-tej godzinie),
- P_{elkdi} - zapotrzebowanie energii elektrycznej (w i-tej godzinie),
- P_{elks} - zadana moc elektryczna w układzie kogeneracyjnym CHP,
- tryb pracy układu,
- informacja o sezonowej pracy układu kogeneracyjnego.

W zakresie parametrów opisujących układ technologiczny CHP wykorzystywane są następujące dane wejściowe:

- P_{elkn} , P_{elkk} - moc elektryczna układu kogeneracyjnego (znamionowa, w danym punkcie pracy CHP)
- P_{thkn} , P_{thkk} - moc cieplna układu kogeneracyjnego (znamionowa, w danym punkcie pracy CHP)
- Q_{chkn} , Q_{chkk} - strumień energii chemicznej paliwa (znamionowy, w danym punkcie pracy CHP)
- P_{elkmin} - minimum techniczne układu kogeneracyjnego CHP,

W toku procesu obliczeniowego wyznaczane są i wykorzystywane następujące wielkości:

- P_{elki} - moc elektryczna układu kogeneracyjnego CHP w danej i-tej godzinie
- P_{thki} - moc cieplna układu kogeneracyjnego w danej i-tej godzinie
- Q_{chki} - strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- η_{elkn} , η_{elkk} - sprawność elektryczna układu (znamionowa, w danym punkcie pracy układu CHP)
- η_{thkn} , η_{thkk} - sprawność cieplna układu kogeneracyjnego CHP (znamionowa, w danym punkcie pracy układu CHP)

Pierwszym krokiem realizowanym w algorytmie obliczenia parametrów układu kogeneracyjnego CHP jest wprowadzenie następujących danych wejściowych:

- P_{elkn} - znamionowa moc elektryczna układu kogeneracyjnego CHP,
- P_{thkn} - znamionowa moc cieplna układu kogeneracyjnego CHP,
- Q_{chkn} - strumień energii chemicznej paliwa dla znamionowych warunków pracy,
- P_{elkk} , P_{thkk} , Q_{chkk} - charakterystyki $P_{thkk}=f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk}=f(P_{elkk})$ zależności mocy cieplnej oraz strumienia energii chemicznej paliwa od mocy elektrycznej z jaką pracuje układ kogeneracyjny; W przypadku braku dostępności takich danych należy rozważyć przyjęcie danych w tym zakresie na podstawie literatury albo przyjęcie uproszczenia, w ramach którego sprawność elektryczna oraz sprawność cieplna są jednakowe, równe sprawnościom znamionowym, w każdym punkcie pracy układu CHP : $\eta_{elkk}=\eta_{elkn}$ oraz $\eta_{thkk}=\eta_{thkn}$,
- P_{elkmin} - minimum techniczne układu - minimalna średnia (godzinowa) moc elektryczna układu kogeneracyjnego CHP przy której praca układu jest możliwa.

Na podstawie mocy znamionowych układu kogeneracyjnego CHP oraz znamionowego strumienia energii chemicznej paliwa wyznaczane są sprawności znamionowe:

$$\eta_{elkn} = P_{elkn} / Q_{chkn} \quad (2.8.1)$$

$$\eta_{thkn} = P_{thkn} / Q_{chkn} \quad (2.8.2)$$

oraz wskaźnik skojarzenia układu kogeneracyjnego CHP :

$$\sigma_{kn} = P_{elkn} / P_{thkn} \quad (2.8.3)$$

Następnie w ramach bloku „Czytaj dane wejściowe z innych modułów” następuje odczyt informacji o sposobie sterowania układem kogeneracyjnym oraz informacji o zadanych parametrach pracy:

- tryb pracy układu - w oprogramowaniu symulacyjnym należy uwzględnić przynajmniej następujące tryby pracy: praca ze stałą zadaną mocą P_{elks} (jednakową dla każdej i-tej godziny lub też według zadanego programu pracy, ze zróżnicowaną mocą w

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



poszczególnych godzinach P_{elksi}), praca z mocą dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania energii elektrycznej P_{elkdi} , praca z mocą dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania ciepła P_{thkdi} ,

- informacja o sezonowej pracy układu ko generacyjnego; informacja w postaci godziny zakończenia sezonu grzewczego w okresie wiosennym oraz godziny rozpoczęcia sezonu grzewczego w okresie jesiennym albo (w wersji rozbudowanej) w postaci wektora zmiennych dwustanowych (dla każdej i-tej godziny roku); dane te służą do określenia, czy w danej godzinie roku zaplanowano pracę układu kogeneracyjnego,
- P_{elks} , P_{elkdi} , P_{thkdi} - do dalszych obliczeń potrzebna jest jedna z tych wielkości, zależnie od wybranego trybu pracy układu.

W kolejnym kroku ze względu na wybrany tryb pracy wyróżnia się w algorytmie trzy toki obliczeniowe.

I. W przypadku realizacji trybu pracy z mocą dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania energii elektrycznej przeprowadzane są następujące obliczenia:

- sprawdzenie, czy zapotrzebowanie na moc elektryczną P_{elkdi} nie przekracza mocy znamionowej układu ko generacyjnego CHP,
- jeżeli znane są charakterystyki $P_{thkk} = f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk} = f(P_{elkk})$ rozpatrywanego układu ko generacyjnego CHP, aktualna moc cieplna w danej godzinie P_{thkOi} oraz strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie Q_{chk0} , to z tych charakterystyk wyznaczane są:

$$P_{thkOi} = f(P_{elkdi}) \quad (2.8.4)$$

$$Q_{chk0i} = f(P_{elkdi}) \quad (2.8.5)$$

- jeżeli nie są znane charakterystyki $P_{thkk} = f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk} = f(P_{elkk})$, aktualna moc cieplna w danej i-tej godzinie P_{thkOi} oraz strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie Q_{chk0} ; wyznaczane są w oparciu o sprawność układu i wskaźnik skojarzenia układu ko generacyjnego CHP:

$$P_{thkOi} = P_{elkdi} / \sigma_{ki} \quad (2.8.6)$$

$$Q_{chk0i} = P_{elkdi} / \eta_{elki} \quad (2.8.7)$$

$$P_{elkOi} = P_{elkdi} \quad (2.8.8)$$

przy czym wskaźnik skojarzenia i sprawność elektryczną w układzie ko generacyjnym CHP można ustalić na podstawie danych literaturowych:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

$$\sigma_{ki} = f(P_{elkdi} / P_{elkn}) * \sigma_{kn} \quad (2.8.9)$$

$$\eta_{elki} = f(P_{elkdi} / P_{elkn}) * \eta_{elkn} \quad (2.8.10)$$

II. W przypadku realizacji trybu pracy z mocą dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania ciepła przeprowadzane są następujące obliczenia:

- a. sprawdzenie, czy zapotrzebowanie na moc cieplną P_{thkdi} nie przekracza mocy znamionowej układu. Jeśli taka sytuacja zachodzi to moc cieplną układu kogeneracyjnego CHPw danej i-tej godzinie do wielkości mocy znamionowej korygowana jest według wzoru:

$$P_{thkdi} = P_{thkn} \quad (2.8.11)$$

- b. jeżeli znane są charakterystyki $P_{thkk}=f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk}=f(P_{elkk})$ rozpatrywanego układu ko generacyjnego CHP, aktualną moc elektryczną w danej godzinie P_{elkOi} oraz strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie Q_{chk0i} wyznaczone są z charakterystyk:

$$P_{elkOi}=f_1(P_{thkdi}) \quad (2.8.12)$$

$$Q_{chk0i}=f(P_{elk0i}) \quad (2.8.13)$$

- c. jeżeli nie są znane charakterystyki $P_{thkk}=f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk}=f(P_{elkk})$, aktualną moc elektryczną w danej i-tej godzinie P_{elkOi} ; oraz strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie Q_{chk0i} wyznacza się w oparciu o sprawność układu ko generacyjnego CHP i wskaźnik jego skojarzenia:

$$P_{elkOi} = P_{thkdi} * \sigma_{ki} \quad (2.8.14)$$

$$P_{thkOi} = P_{thkdi} \quad (2.8.15)$$

$$Q_{chk0i} = P_{elkdi} / \eta_{elki} \quad (2.8.16)$$

przy czym wskaźnik skojarzenia i sprawność elektryczną można ustalić na podstawie danych literaturowych:

$$\sigma_{ki} = f(P_{elkdi} / P_{elkn}) * \sigma_{kn} \quad (2.8.17)$$

$$\eta_{elki} = f(P_{elkdi} / P_{elkn}) * \eta_{elkn} \quad (2.8.18)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



III. W przypadku realizacji trybu pracy ze stałą mocą elektryczną należy przeprowadzane są następujące obliczenia:

- a. sprawdzenie, czy zadana moc elektryczna P_{elks} nie przekracza mocy znamionowej układu kogeneracyjnego CHP. Jeśli taka sytuacja zachodzi to zadana moc elektryczna zostaje skorygowana do wielkości mocy znamionowej:

$$P_{elks} = P_{elkn} \quad (2.8.19)$$

- b. Jeżeli znane są charakterystyki $P_{thkk}=f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk}=f(P_{elkk})$ rozpatrywanego układu kogeneracyjnego CHP, aktualną moc cieplną w danej i-tej godzinie P_{thkOi} oraz strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie Q_{chkOi} wyznacza się z charakterystyk:

$$P_{thkOi}=f(P_{elks}) \quad (2.8.20)$$

$$Q_{chkOi}=f(P_{elks}) \quad (2.8.21)$$

- c. Jeżeli nie są znane charakterystyki $P_{thkk}=f(P_{elkk})$ oraz $Q_{chkk}=f(P_{elkk})$, aktualną moc cieplną w danej i-tej godzinie P_{thkOi} oraz strumień energii chemicznej paliwa w danej i-tej godzinie Q_{chkOi} wyznacza się w oparciu o sprawność układu kogeneracyjnego i wskaźnik jego skojarzenia:

$$P_{thkOi} = P_{elks} / \sigma_{ki} \quad (2.8.22)$$

$$Q_{chkOi} = P_{elks} / \eta_{elki} \quad (2.8.23)$$

$$P_{elkOi} = P_{elks} \quad (2.8.24)$$

przy czym wskaźnik skojarzenia i sprawność elektryczną można ustalić na podstawie danych literaturowych:

$$\sigma_{ki} = f(P_{elks} / P_{elkn}) * \sigma_{kn} \quad (2.8.25)$$

$$\eta_{elki} = f(P_{elks} / P_{elkn}) * \eta_{elkn} \quad (2.8.26)$$

Po wstępnym określeniu zestawu parametrów charakteryzujących stan pracy układu kogeneracyjnego CHP w danej i-tej godzinie (moc elektryczna, moc cieplna, strumień energii chemicznej paliwa): P_{elkOi} , P_{thkOi} , Q_{chkOi} , sprawdzane są warunki wynikające z minimum

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



technicznego (czy spełniona jest zależność $P_{elkOi} \geq P_{elkmin}$) oraz sezonowego programu pracy układu ko generacyjnego CHP. W przypadku gdy parametry określające stan pracy (moc) układu ko generacyjnego CHP są mniejsze niż wymagane minimum techniczne albo w danej i-tej godzinie nie przewidziano pracy układu kogeneracyjnego (np. i-ta godzina roku nie mieści się w sezonie grzewczym) - układ nie pracuje:

$$Q_{chki} = 0 \quad (2.8.27)$$

$$P_{elki} = 0 \quad (2.8.28)$$

$$P_{thki} = 0 \quad (2.8.29)$$

W przypadku gdy warunek minimum technicznego jest spełniony oraz w danej i-tej godzinie przewidziano pracę układu ko generacyjnego CHP:

$$Q_{chki} = Q_{chk0i} \quad (2.8.30)$$

$$P_{elki} = P_{elk0i} \quad (2.8.31)$$

$$P_{thki} = P_{thk0i} \quad (2.8.32)$$

Jeżeli cząstkowe wyniki uzyskiwane w trakcie obliczeń dla i-tej godziny nie są wykorzystywane (np. do wyznaczania wskaźników techniczno-ekonomicznych), to w celu uniknięcia zbędnych obliczeń, warunki opisane w niniejszym punkcie należy sprawdzić na samym początku algorytmu obliczeń dla danej i-tej godziny.

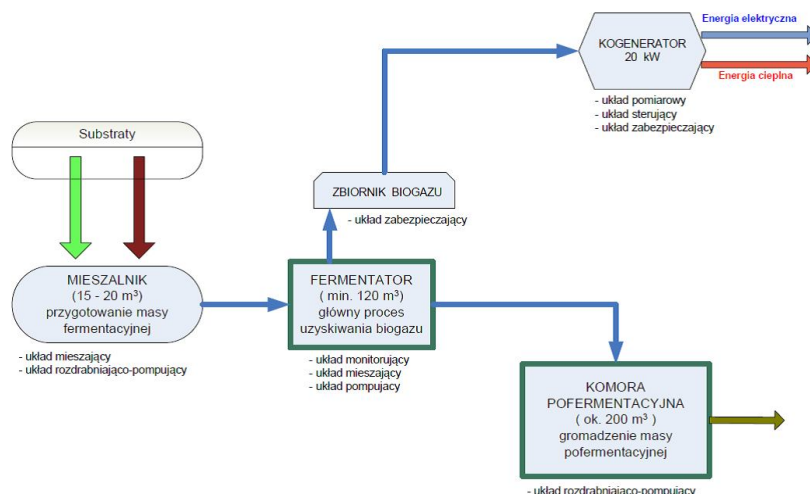


2.9. Algorytm obliczania produkcji gazu w mikrobiogazowi do współpracy z układem kogeneracyjnym CHP

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Algorytm obliczania produkcji gazu w mikrobiogazowni do współpracy z układem kogeneracyjnym CHP opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 16 zadania badawczego nr 3 [2.6]. Jest to prosty w obsłudze kalkulator pozwalający wyznaczyć w oparciu o użyte substraty do fermentacji w akceleratorze mikrobiogazowni ilości biometanu, który zasilając układ kogeneracyjny CHP pozwala wytworzyć ciepło i energię elektryczną. Obliczenia można prowadzić dla najczęściej stosowanych w gospodarstwach rolnych mikrobiogazowniach typu KMR (kontenerowa mikrobiogazownia rolnicza) i CMR (cysternowa mikrobiogazownia rolnicza) dla oszacowania możliwości wytwarzania energii dla pokrycia potrzeb budynku. W oparciu o analizy przeprowadzone przy realizacji prac Etapu nr 16 [2.6] zakłada się, że potencjalny rynek użytkowników mikrobiogazowni typu KMR i CMR obejmuje właścicieli Średnich Towarowych Gospodarstw Rolnych (ŚTGR). Szacuje się, że na cele upraw energetycznych (uprawa buraka energetycznego, kukurydzy, koniczyny, trawy i inne jednoroczne uprawy roślin energetycznych) można przeznaczyć 20% gruntów ornych, którymi dysponuje ŚTGR. Taki udział produkcji roślin energetycznych w areale upraw gospodarstw rolnych nie naruszenia bezpieczeństwa żywnościowego kraju. Przy założeniu, że kiszonka z upraw roślin energetycznych pokrywa 50% zapotrzebowania mikrobiogazowni typu CMR, to pozostałą część zapotrzebowania substratów dla mikrobiogazowni pokrywają substraty odpadowe z własnej produkcji rolnej oraz z małych gospodarstw rolnych w gminie, a także substraty odpadów komunalnych pozyskiwane w gminie do ich utylizacji w mikrobiogazowni. W badaniach przeprowadzonych w [2.6] ocenia się, że mikrobiogazownie typu CMR są właściwe dla gospodarstw o powierzchni upraw od 15 do 80 ha. Liczbę takich gospodarstw ocenia się w Polsce na około 210 tys. Na rys. 2.9.1 zamieszczono schemat blokowy mikrobiogazowni współpracującej z instalacją kogeneracyjnego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej.



Rys. 2.9.1. Schemat blokowy mikrobiogazowni rolniczej zasilającej kogenerator CHP [2.6]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Na bazie opracowanego w Etapie nr 16 [2.6] kalkulatora symulacyjnego *BIOGASFACTORY* opartego na arkuszu kalkulacyjnym Excel, zaprogramowano moduł obliczeniowy dla mikrobiogazowni będący aplikacją w zintegrowanym programie komputerowym wspierającym analizy możliwości wykorzystania OZE. Wykorzystano opracowany algorytm uwzględniający zależności, warunki konieczne i progowe oraz niezbędne dane wejściowe dla przeprowadzenia obliczeń ilości biometanu wg użytych ilości i rodzaju substratów, który zasilając kogenerator CHP pozwala wytworzyć ciepło i energię elektryczną.

Obliczenia symulacyjne wytwarzania metanu w biogazowni rolniczej można przeprowadzić dwoma metodami [2.6]:

- dane są warunki lokalizacji oraz spektrum substratów - w zależności od zasobów biomasy i założonej mocy biogazowni można dobrać proces technologiczny, określić parametry instalacji i w dalszej kolejności zaprojektować jej moduły.
- dana jest standardowa biogazownia ze swoimi instalacjami – dobiera się do niej lokalizację i oblicza niezbędne spektrum substratów.

Przy pomocy opracowanego kalkulatora symulacyjnego można będzie wyznaczać parametry eksploatacyjne instalacji z mikrobiogazownią zasilającą kogenerator CHP. Kalkulator symulacyjny pozwoli wyznaczyć produkcję ciepła i energii elektrycznej dla dobranych substratów i warunków progowych oraz ułatwi dalsze przeprowadzenie uproszczonej analizy finansowej inwestycji niezbędnej dla przygotowania biznesplanu. Biogazownie o małej mocy w zakresie mocy elektrycznej od 7 do około 50 kW_{el}, tzw. mikrobiogazownie, konstruuje się standardowo w modułach instalacyjnych po 10 kW_{el} [2.6].

Obliczenia cząstkowe przeprowadzone dla okresu rocznego przy użyciu kalkulatora symulacyjnego *BIOGASFACTORY* pozwalają określić następujące parametry:

- roczna ilość wygenerowanego ciepła i energii elektrycznej [kWh]
- roczna ilość wygenerowanego ciepła [kWh]
- potrzeby własne - energia elektryczna [kWh]
- potrzeby własne – ciepło [kWh]
- roczny uzysk biogazu [m³]
- roczny uzysk biometanu w biogazie [m³]
- moc cieplna i elektryczna układu kogeneracyjnego [kW_{th}, kW_{el}]

Bazą dla obliczeń przy użyciu kalkulatora symulacyjnego *BIOGASFACTORY* w zakresie rodzajów substratów i ich właściwości do wytwarzania biogazu jest zamieszczona w tabeli 2.9.1 ekwiwalentności różnych substratów w stosunku do kisonki kukurydzy.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.9.1. Ekwiwalent uzysku biogazu i biometanu z substratów [2.6]

Lp	Substrat	Zawartość suchej masy [%]	Uzysk biogazu [m ³ /t]	Zawartość metanu CH ₄ [%]	Stosunek uzysku biogazu z substratu / kiszonka kukurydzy	Koszt energii odniesiony do 1 tony kiszonki kukurydzy, [PLN]	Konieczność rozrzedzenia np. wodą
1.	kiszonka kukurydzy	32,60	178,4	55	1,00	100	tak
2.	gnojowica świńska	8,00	19,2	65	0,11	11	nie
3.	gnojowica bydłęca	8,00	17,9	60	0,10	10	nie
4.	obornik ściśński	25,00	60,0	60	0,34	34	tak
5.	kurzyniec	45,00	168,8	60	0,95	95	tak
6.	odpady piekarnicze	88,00	525,0	60	2,94	294	tak
7.	wywar pogorzelniany	6,00	36,1	59	0,20	20	nie
8.	kiszonka trawy	26,00	123,2	54	0,69	69	tak
9.	kurzyniec	86,40	207,5	60	1,16	116	tak
10.	burak pastewny	10,50	81,5	53	0,46	46	nie
11.	liście buraka cukrowego	18,00	95,0	54	0,53	53	nie
12.	burak cukrowy	23,00	148,1	53	0,83	83	tak
13.	liście buraka cukrowego-kiszonka	23,40	78,0	54	0,44	44	tak
14.	wytłoki-rzepak	88,50	636,6	60	3,57	357	tak
15.	olej rzepakowy - pozostałość	46,00	575,5	60	3,23	323	tak
16.	resztki owoców	22,00	112,1	65	0,63	63	tak
17.	oleje posmażalnicze	95,00	826,5	60	4,63	463	tak

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



W wyniku procesów fermentacyjnych uzyskany biogaz ma średnie udziały objętościowe składników i parametry podane w tabeli 2.9.2.

Tabela 2.9.2. Składniki i parametry biogazu [2.6]

Składnik lub parametr	Jednostka	Biogaz	Biogaz	
			oczyszczony	uzdatniony
CH ₄	%	60	61,4	98
CO ₂	%	37	37,7	≤ 2
H ₂ O (para wodna)	g/m ³	> 13,5	6,36	0,05
H ₂ S	mg/m ³	500	≤ 5	≤ 5
Temperatura gazu	°C	36	4	4
Ciepło spalania	kWh/m ³	6,62	6,78	10,8
	MJ/m ³	23,8	24,4	38,9
Gęstość	kg/m ³	1,17	1,19	0,72
Liczba Wobbego	kWh/m ³	6,92	7,03	14,4
	MJ/m ³	24,9	25,3	51,8

W zależności od rodzaju zastosowanych substratów roślinnych lub odzwierzęcych można określić efektywność energetyczną wykorzystania tych substratów w mikrobiogazowni zasilającej układ kogeneracyjny CHP. Możliwe do uzyskania parametry energetyczne z poszczególnych rodzajów substratów wykorzystywanych w biogazowni zestawiono w tabelach 2.9.3 i 2.9.4.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Tabela 2.9.3. Efektywność energetyczna substratów zastosowanych w mikrobiogazowni zasilającej układ kogeneracyjny CHP [2.6]

Substrat	Produkcja energii elektrycznej dla sprawności CHP 35% z 1 tony masy substratu [MWh]	Ilość biomasy do uzyskania 1 kW _{el} mocy elektrycznej układu CHP dla 8 000 h pracy [t]	Produkcja energii elektrycznej dla sprawności CHP 35% z 1 ha upraw [MWh]	Moc elektryczna układu CHP dla 8 000 h pracy z 1 ha upraw [kW _{el}]
kiszonka kukurydzy	0,33	24,2	16	2
ziarna żyta	1,1	7,3	6	0,75
ziarna pszenicy	1,1	7,3	8,7	1,1
kiszonka trawy	0,28	28,6	10	1,25
burak energetyczny	0,2	40	20	2,5
burak cukrowy	0,21	38,1	12	1,5
kiszonka topinamburu	0,27	29,6	11,6	1,45
trawa sudańska	0,21	38,1	12	1,5
zawartość jelit zwierzęcych	0,12	66,7		
wywar gorzelniany	0,1	80		
gnojowica świńska	0,04	200		
kurzyniec	0,38	21,1		
resztki owocowe	0,2	40		
stary chleb	0,9	8,9		
gliceryna	1,5	5,3		
olej posmażalniczy	2	4		

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Tabela 2.9.4. Efektywność energetyczna substratów odzwierzęcych zastosowanych w mikrobiogazowni zasilającej układ kogeneracyjny CHP [2.6]

Substrat zwierząt	Ilość sztuk zwierząt	Moc elektryczna układu CHP dla 8 000 h pracy [kW _{el}]	Roczna produkcja energii elektrycznej dla sprawności układu CHP 35% [MWh]
krowy	100	12	96
wieprze	100	3	24
kury nioski o wadze 1,5-2 kg	1000	1	8
indyki	1000	1,5	12
cielęta do 0,5 roku	100	3	24
krowy do 2 lat	100	8,5	68

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.10. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Schemat blokowy algorytmu obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV zamieszczono w zał. Nr 2. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [2.2]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Zgodnie z sekwencją działań w algorytmie obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV należy przygotować następujące dane wejściowe:

- 1) położenie geograficzne (długość i szerokość geograficzna)
- 2) kąt nachylenia dachu,
- 3) usytuowanie dachu względem stron świata,
- 4) ilość m^2 dachu dostępnego pod montaż instalacji,
- 5) ilość m^2 fasady dostępnej pod montaż instalacji,
- 6) godzinowe zapotrzebowanie na energię elektryczną,

Jeżeli odpowiedź na pytanie „czy są dostępne informacje z bazy danych nt: nasłonecznienia, uzysku energii z $1 m^2$ ” jest pozytywna to:

- pobór danych dla danej lokalizacji z bazy danych - dane meteorologiczne dostępne na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury, dla danej lokalizacji geograficznej uzyskujemy wartość całkowitą gęstości strumienia promieniowania słonecznego $G_{\beta}[W/m^2]$:

- G_{β} (uwzględnia: *nachylenie, usytuowanie względem stron świata*) – w i-tej godzinie dla zadanego kierunku oraz nachylenia zestawu ogniw; dostępne są dla 33 kombinacji kierunku i nachylenia: 1 - N_0, 2 - N_30, 3 - NE_30, 4 - E_30, 5 - SE_30, 6 - S_30, 7 - SW_30, 8 - W_30, 9 - NW_30, 10 - N_45, 11 - NE_45, 12 - E_45, 13 - SE_45, 14 - S_45, 15 - SW_45, 16 - W_45, 17 - NW_45, 18 - N_60, 19 - NE_60, 20 - E_60, 21 - SE_60, 22 - S_60, 23 - SW_60, 24 - W_60, 25 - NW_60, 26 - N_90, 27 - NE_90, 28 - E_90, 29 - SE_90, 30 - S_90, 31 - SW_90, 32 - W_90, 33 - NW_90.

Następnie w algorytmie dobiera się moduły fotowoltaiczne (możliwość wyboru z listy), aby pokryć częściowo lub całkowicie zapotrzebowanie na energię elektryczną (zależy to od preferencji użytkownika i możliwości montażu paneli PV na dostępnej powierzchni dachu).

Z bazy danych pobiera się dane na temat:

- panelu fotowoltaicznego – sprawności, powierzchnia, (przy czym sprawność może być podana z uwzględnieniem sprawności przetwornicy), moc nominalna, etc.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Przebieg obliczeń godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV jest zgodny z poniższymi formułami:

1. Obliczenie sprawności modułu fotowoltaicznego wraz z przekształtnikiem:

$$\eta_{PV} = s\eta_{PV} \cdot (P_{nom_PV} / A_{PV}) / P_{1000} \quad (2.10.1)$$

gdzie:

A_{PV} – powierzchnia czynna ogniwa PV, m²

$s\eta_{PV}$ – sprawność przekształtnika do którego przyłączony jest zestaw ogniw PV,

$P_{1000} = 1000$ W/m².

2. Wyznaczenie możliwej do wytworzenia energii w i-tej godzinie roku:

$$PVP_i = G_{\beta i} \cdot A_{PV} \cdot \eta_{PV} \quad (2.10.2)$$

$$PVE_i = PVP_i \cdot t \quad (2.10.3)$$

gdzie:

PVP_i – średnia moc zestawu ogniw fotowoltaicznych w i-tej godzinie

PVE_i – energia elektryczna wytworzona w zestawie ogniw fotowoltaicznych w i-tej godzinie

t – długość okresu obliczeniowego; w rozpatrywanym przypadku $t = 1$ godzina.

W przypadku, gdy w rozpatrywanym budynku występują różne rodzaje zestawów ogniw fotowoltaicznych (np. z pozycjonowaniem oraz umieszczone statycznie, odmiennych typów), obliczenia należy przeprowadzić osobno dla każdego rodzaju zestawu ogniw PV. Uzyskany wynik obliczeń (energia możliwa do wytworzenia w zestawie ogniw PV w i-tej godzinie roku) stanowi wejście dla procedur obliczeniowych w zakresie bilansu energii w budynku.

3. Wyznaczenie technicznych możliwości instalacji fotowoltaicznej:

$$PVPt_i = PVP_i \cdot \eta_{ak} \quad (2.10.4)$$

$$PVEt_i = PVPt_i \cdot t \quad (2.10.5)$$

gdzie: η_{ak} – sprawność akumulacji energii elektrycznej

4. Obliczenie całkowitej energii uzyskanej ze wszystkich zestawów ogniw w analizowanej instalacji fotowoltaicznej PV:

- energii teoretycznej

$$PVE_{cal} = \sum_n \sum_{i=1}^{8760} PVE_{i,n} \quad (2.10.6)$$

- energii technicznej

$$PVEt_{cal} = \sum_n \sum_{i=1}^{8760} PVEt_{i,n} \quad (2.10.7)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



5. Obliczenie całkowitej mocy wszystkich zestawów ogniw w analizowanej instalacji fotowoltaicznej:

- mocy teoretycznej

$$PVP_{cal} = \sum_n \sum_{i=1}^{8760} PVP_{i,n} \quad (2.10.8)$$

- mocy technicznej

$$PVPt_{cal} = \sum_n \sum_{i=1}^{8760} PVPt_{i,n} \quad (2.10.9)$$

6. Obliczenie średniej teoretycznej mocy instalacji fotowoltaicznej PV:

$$PVP_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{8670} PVP_{cal}}{8670} \quad (2.10.10)$$

7. Obliczenie średniej mocy technicznej instalacji fotowoltaicznej PV:

$$PVPt_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{8670} PVPt_{cal}}{8670} \quad (2.10.11)$$

Do przeprowadzenia obliczeń godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV zgodnie z algorytmem należy przygotować następujące dane:

- roczne zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną,
- położenie geograficzne,
- usytuowanie dachu względem stron świata,
- kąt nachylenia dachu,
- liczba n powierzchni i ich pole w m² dostępne do wykorzystania (dachy, fasady) oraz ich usytuowane pod różnym kątem i w różną stronę (N, S, W, E i pośrednie)

W pierwszym etapie działania algorytmu należy wprowadzić dane wejściowe takie jak: pole pierwszej powierzchni dostępnej do wykorzystania pod instalację fotowoltaiczną PV, kąt pochylenia danej powierzchni oraz jej kierunek geograficzny. Na podstawie wprowadzonego położenia geograficznego przydzielana jest najbliższa stacja meteorologiczna uwzględniona w bazie danych oraz przyjęte są jej wartości do dalszych obliczeń. Następnie pobrane zostają

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



informacje na temat nasłonecznienia i uzysku energii na powierzchni 1 m² dla wybranej stacji z bazy danych umieszczonej na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury.

Na podstawie dostępnych informacji pobranych z bazy danych Ministerstwa Infrastruktury, informacji wprowadzonych do programu oraz przy użyciu bazy danych paneli zostaje dobrany optymalny zestaw modułów fotowoltaicznych, tak aby pokryć zależnie od preferencji użytkownika częściowo lub całościowo zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Na podstawie dobranych wartości (typu, rozmiaru, mocy, sprawności i ceny) zostają zgodnie z algorytmem obliczone:

- energia końcowa możliwa do uzyskania z wybranego panelu,
- sprawność modułu fotowoltaicznego wraz z przekształtnikiem,
- możliwą do wytworzenia energię w i-tej godzinie w roku,
- możliwości techniczne instalacji fotowoltaicznej PV,

Możliwości techniczne instalacji obliczane są jako wartości teoretyczne z uwzględnieniem sprawności akumulacji. Po obliczeniu powyższych parametrów wszystkie wyniki zostają zapisane, a następnie zostaje zadane pytanie o kolejne powierzchnie przeznaczone na panele fotowoltaiczne PV. W przypadku gdy występuje więcej niż jedna taka powierzchnia następuje powrót do początku programu tj. do bloku wprowadzania nowych danych wejściowych.

Ostatnim krokiem algorytmu jest sumowanie oraz prezentacja otrzymanych wyników dla wszystkich wprowadzonych paneli. Obliczane są następujące parametry w skali rocznej:

- energia końcowa teoretyczna
- całkowita moc teoretyczna
- średnia teoretyczna moc instalacji fotowoltaicznej PV.

Następnie obliczane zostają wartości parametrów technicznych możliwych do uzyskania w skali rocznej:

- energia końcowa techniczna
- całkowita moc techniczna
- średnia techniczna moc instalacji fotowoltaicznej PV.



2.11. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji mikrowiatraka WE

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Algorytm służy do obliczeń, dla danej lokalizacji obiektu, wielkości rocznej produkcji energii elektrycznej przez mikrowiatraki (turbiny wiatrowe) w rozkładzie godzinowym oraz obliczenia stopnia pokrycia z OZE zapotrzebowania na energię elektryczną dla budynku lub grupy budynków. Obliczanie godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji mikrowiatraka przeprowadza się zgodnie z sekwencją przedstawioną w algorytmie zamieszczonym w załączniku Nr 2 – Schematy algorytmów obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w OZE. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [2.2]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Dane wejściowe

- położenie geograficzne (długość, szerokość), °
- typ terenu określony wg normy EN ISO 15927-1:2003
- roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną przez budynek E_{el} [kWh]
- liczba mikrowiatraków WL

Wyniki obliczeń

- wielkość produkcji energii elektrycznej przez pojedynczy mikrowiatrak w danej godzinie roku WE_i [kWh]
- łączna produkcja energii elektrycznej przez mikrowiatraki [kWh]
- stopień pokrycia przez mikrowiatraki zapotrzebowania budynku na energię elektryczną x , %

Przebieg obliczeń

Dla danej lokalizacji obiektu wyszukiwana jest z bazy danych znajdująca się najbliżej stacja meteorologiczna, dla której wczytywane są wielkości nominalnych prędkości wiatru WS_i [m/s] dla każdej godziny w roku. Dane meteorologiczne dla poszczególnych stacji dostępne są na stronie internetowej Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej.

Następnie przy zadanej liczbie wiatraków należy osobno dla każdego z nich wprowadzić następujące dane:

- typ mikrowiatraka (wybierany z tabeli 2.11.1)

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Tabela 2.11.1. Charakterystyczne wartości typowych rodzajów wiatraków

Typ	Rodzaj	Oś ^{*)}	WS _{min}	WS _{nom}	WS _{max}
1	Jednołatowy	HAWT	5	14	35
2	Dwupłatowy	HAWT	4	12	50
3	Trzyłatowy	HAWT	2.5	11	32
4	Wielopłatowy	HAWT	3.0	15	-
5	Z dyfuzorem	HAWT	4	11	30
6	Z wyk. Efektu Magnusa	HAWT	4	13	30
7	Venturi	HAWT	2	17	40
8	Savonius 2 łopatowy	VAWT	4	14	20
9	Sawonius 4 łopatowy	VAWT	3.5	14	30
10	Darrieus	VAWT	2	14	40
11	Darrieus z rozruchowym Savoniusa	VAWT	3	14	25
12	H-Rotor	VAWT	3	12	30
13	Z turbiną świderkową	VAWT	2	18	40

*) HAWT – oś pozioma, VAWT – oś pionowa

gdzie:

WS_{min} – minimalna prędkość wiatru, przy której wytwarzana jest energia elektryczna [m/s]

WS_{nom} – prędkość wiatru, przy której mikrowiatrak osiąga moc znamionową [m/s]

WS_{max} – maksymalna dopuszczalna prędkość wiatru oznacza prędkość wiatru, przy której następuje zatrzymanie turbiny wiatrowej ze względów bezpieczeństwa [m/s]

- wysokość zainstalowania mikrowiatraka ponad poziomem terenu WH [m]
- powierzchnia czynna pojedynczego mikrowiatraka WA [m²]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- moc znamionowa turbiny wiatrowej WP_{nom} [kW]

Każdorazowo po wybraniu typu mikrowiatraka wczytywane są dla niego wielkości WS_{min} , WS_{nom} i WS_{max} , a następnie wywoływana jest procedura obliczeń przedstawiona poniżej.

PROCEDURA OBLICZEŃ MIKROWIATRAKA

Dla każdej i-tej godziny roku wyznacza się obliczeniową prędkość wiatru dla warunków zainstalowania elektrowni wiatrowej (mikrowiatraka) WSH_i [m/s].

Jeżeli $WH > W_{zmin}$, to

$$WSH_i = WS_i \cdot WCT \cdot WKR \cdot \ln\left(\frac{WH}{W_{z0}}\right), \quad WCT = 1 \quad (2.11.1)$$

w przeciwnym razie

$$WSH_i = WS_i \cdot WCT \cdot WKR \cdot \ln\left(\frac{W_{zmin}}{W_{z0}}\right), \quad WCT = 1 \quad (2.11.2)$$

gdzie:

WH – wysokość zainstalowania mikrowiatraka ponad poziomem terenu [m],

WS_i – nominalna prędkość wiatru [m/s],

WCT – współczynnik topograficzny określony zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2 (w niniejszym algorytmie przyjęto wartość WCT równą 1)

WKR – współczynnik określający kategorię terenu określony zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2,

W_{z0} – współczynnik określający chropowatość terenu określony zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2,

W_{zmin} – wysokość minimalna zainstalowania mikrowiatraka dla danej kategorii terenu określona zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2.

Następnie określa się moc chwilową turbiny wiatrowej w i-tej godzinie roku WP_i , kW:

- dla $WSH_i < WS_{min}$

$$WP_i = 0 \quad (2.11.3)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- dla $WSH_i \geq WS_{min}$ oraz $WSH_i < WS_{nom}$

$$WPJ_i = 0,5/1000 \cdot W_{pa} \cdot (WSH_i)^3 \quad (2.11.4)$$

$$W_{\eta n} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot WP_{nom}}{W_{pa} \cdot WA \cdot WS_{nom}^3} \quad (2.11.5)$$

$$WP_i = WPJ_i \cdot W_{\eta n} \cdot WA \quad (2.11.6)$$

- dla $WSH_i \geq WS_{nom}$ oraz $WSH_i \leq WS_{max}$

$$WP_i = WP_{nom} \quad (2.11.7)$$

gdzie:

WPJ_i – gęstość mocy wiatru dla zadanej prędkości wiatru na wysokości zainstalowania elektrowni dla i-tej godziny roku [kW/m^2],

W_{pa} – gęstość powietrza ($1,225 \text{ [kg/m}^3]$),

$W_{\eta n}$ – sprawność elektrowni wiatrowej w warunkach znamionowych.

W programie przyjęto ograniczenie, że sprawność turbiny wiatrowej nie może być większa od 0,5926.

Dla obliczonych wartości WP_i wyznacza się wielkość produkcji energii elektrycznej przez pojedynczy mikrowiatrak w danej godzinie roku WE_i , kWh:

$$WE_i = WP_i \cdot t, \quad \text{dla } t = 1h \quad (2.11.8)$$

Po zakończeniu obliczeń produkcji energii elektrycznej przez poszczególne mikrowiatraki (procedura obliczeń mikrowiatraka) określa się stopień pokrycia zapotrzebowania x ,%. Jest to iloraz łącznej produkcji rocznej dobranych mikrowiatraków i zapotrzebowania energii elektrycznej przez budynek.

$$x = \frac{\sum_{j=1}^{WL} |WE_i|_j}{E_{el}} \cdot 100\% \quad (2.11.9)$$

gdzie:

j – kolejny numer mikrowiatraka

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Oznaczenia w algorytmie obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji mikrowiatraka (do załącznika Nr 2):

j – długość geograficzna [°]

e – szerokość geograficzna [°]

i – kolejna „i-ta” godzina,

j – kolejny „j-ty” wiatrak,

WL – liczba mikrowiatraków (turbin wiatrowych),

WH – wysokość zainstalowania mikrowiatraka ponad poziomem terenu [m],

WCT – współczynnik topograficzny określony zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2,

WKR – współczynnik określający kategorię terenu określony zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2,

Wz0 – współczynnik określający chropowatość terenu określony zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2,

Wzmin – wysokość minimalna zainstalowania elektrowni dla danej kategorii terenu określona zgodnie z EN ISO 15927-1:2003 rozdział 7.2,

Wpa – gęstość powietrza (1.225 [kg/m³]),

WA – powierzchnia czynna pojedynczego mikrowiatraka [m²],

WSmin – minimalna prędkość wiatru, przy której wytwarzana jest energia elektryczna [m/s],

WSnom – prędkość wiatru, przy której mikrowiatrak osiąga moc znamionową [m/s],

WSmax – maksymalna dopuszczalna prędkość wiatru – prędkość wiatru, przy której następuje zatrzymanie turbiny wiatrowej ze względów bezpieczeństwa [m/s],

WSi – nominalna prędkość wiatru [m/s],

WPnom – moc znamionowa turbiny wiatrowej [kW],

Wηn – sprawność elektrowni turbiny w warunkach znamionowych,

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



WSH_i – obliczeniowa prędkość wiatru dla warunków zainstalowania turbiny wiatrowej dla i -tej godziny roku [m/s],

WPJ_i – gęstość mocy wiatru dla zadanej prędkości wiatru na wysokości zainstalowania turbiny wiatrowej dla i -tej godziny roku [kW/m^2],

WP_i – moc dostarczona z turbiny wiatrowej w i -tej godzinie roku [kW],

WE_i – energia dostarczana z turbiny wiatrowej w i -tej godzinie roku [kWh]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



2.12. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej meW

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Obliczanie godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej przeprowadza się zgodnie z sekwencją przedstawioną w algorytmie zamieszczonym w załączniku Nr 2 – Schematy algorytmów obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w OZE. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 [2.2]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Na podstawie algorytmu opracowany został moduł obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej, który został wykorzystany w zintegrowanym programie komputerowym wspomagającym analizy możliwości wykorzystania OZE w pokryciu zapotrzebowania na energię w budynku.

Mając możliwość wykorzystania istniejącego cieklu wodnego do wytwarzania energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej możemy przeprowadzić obliczenia przy określeniu następujących danych wejściowych:

V_r – roczne średnie natężenie przepływu wody [m^3/s],

V_d – dobowe średnie natężenie przepływu wody [m^3/s],

V_i – godzinowe natężenie przepływu wody [m^3/s],

h – wysokość warstwy wody od przelewu do powierzchni cieklu wodnego [m],

p – wysokość warstwy od dna cieklu do przelewu [m],

b – szerokość przelewu [m],

B – średnia szerokość koryta [m],

A – powierzchnia zlewni (dorzecza) [m^2],

L – długość mierzona po osi łożyska cieklu [m],

H – spad użyteczny [m],

E_{el} - roczne zapotrzebowanie energii elektrycznej w budynku [kWh]

Wprowadzenie danych wejściowych pozwala na przystąpienie do obliczeń. W toku obliczeń wyznacza się średnie roczne natężenia przepływu w cieklu wodnym. Wybieramy jedną z poniższych metod określenia przepływu:

- metoda podstawionego naczynia,
- metoda przelewu Ponceleta,
- metoda przelewu Thomsona,
- inna metoda.

Najdokładniejszą metodą pomiaru przepływu jest metoda podstawionego naczynia używana jednak tylko w przypadku małych cieków wodnych. Polega na pomiarze czasu napełnienia naczynia o znanej pojemności. Zmierzony czas i określona pojemność naczynia pozwala obliczyć natężenie przepływu wg wzoru:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.12.1)$$

Metoda przelewu Ponceleta wymaga zainstalowania w przekroju poprzecznym cieku prostokątnego przelewu z zwężeniem bocznym i dolnym. Dla obliczenia przepływu należy podać wysokość warstwy wody od przelewu do powierzchni (h), szerokość przelewu (b) oraz średnią szerokość koryta (B). Wartość przepływu w m³/s oblicza się ze wzoru:

$$\dot{V}_d = \frac{2}{3} \left(0.578 + 0.037 \times \left(\frac{b}{B} \right)^2 \frac{3.615 - 3 \left(\frac{b}{B} \right)^2}{h + 1.6} \right) \times \left(1 + 0.5 \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^4 \times \left(\frac{h}{h+p} \right) \right) \times h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{2 \times g \times h} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.12.2)$$

Określenie przepływu metodą przelewu Thomsona wymaga zainstalowania w przekroju poprzecznym cieku przelewu trójkątnego ze zwężeniem bocznym. W tej metodzie pomiaru przepływ obliczany jest na podstawie wzoru:

$$\dot{V}_h = k \cdot h_d^{2.5} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.12.3)$$

gdzie:

$$k = -0.000191 \cdot h_d + 0.014325 \left[\frac{m^{0.5}}{s} \right]$$

h_d - wysokość napełnienia [m]

Jeśli kąt w przelewie wynosi 90°, to $k = 0,014 \left[\frac{m^{0.5}}{s} \right]$.

W przypadku wyboru innej metody określenia natężenia przepływu w cieku wodnym należy w danych obliczeniowych podać wartość natężenia przepływu oraz wysokość napełnienia.

Zgodnie z algorytmem w następnym kroku obliczeniowym wyznacza się wektor roczny wartości średniodobowych natężeń przepływu $|\dot{V}_d|$ [m³/s].

Tabela doboru typu turbiny wodnej zaimplementowana w programie, pozwala na porównanie uzyskanych wartości strumienia i spadku użytecznego z zakresem wartości podanym w tabeli i wyborem typu turbiny. Według danych producenta dobiera się urządzenie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



o właściwej charakterystyce. Z krzywych wykresów sprawności dobranej turbiny (określonych przez producenta) dla obliczonego średniego rocznego przepływu dobowego określa się jej sprawności:

$\eta_{iT}(\dot{V}r)$ - sprawność wewnętrzną turbiny będącą iloczynem sprawności hydraulicznej i wolumetrycznej,

$\eta_{em}(\dot{V}r)$ – iloczyn sprawności elektrycznej i mechanicznej turbiny.

Dla średniego godzinowego przepływu wody w cieku na podstawie obliczonego według poniższego wzoru modułu godzinowej mocy:

$$N_{Ti} = g \cdot \rho \cdot H \cdot \dot{V}_i \cdot \eta_{iT} \cdot \eta_{em} [W] \quad (2.12.4)$$

oblicza się godzinową produkcję energii elektrycznej, a następnie wielkość rocznej produkcji energii elektrycznej $E_{el,r}$ w dobranej turbinie wodnej.

Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej pozwala na wyliczenie współczynnika x [%], informującego w jakim stopniu turbina wodna pokrywa zapotrzebowanie na energię elektryczną w budynku, tzn. w jakim stopniu potrzeby energii pokrywane są produkcją z wykorzystaniem tego typu OZE.

Oznaczenia w algorytmie obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej (do załącznika Nr 2):

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

ρ – gęstość wody [kg/m^3]

V_r – roczne średnie natężenie przepływu wody [m^3/s],

V_d – dobowe średnie natężenie przepływu wody [m^3/s],

h – wysokość warstwy wody od przelewu do powierzchni [m],

p – wysokość warstwy od dna cieku do przelewu [m],

b – szerokość przelewu [m],

B – średnia szerokość koryta [m],

A – powierzchnia zlewni (dorzecza) [m^2],

L – długość mierzona po osi łożyska cieku [m],

H – spad użyteczny [m],

$E_{el,r}$ – energia elektryczna wyprodukowana w ciągu roku działania turbiny [kWh],

$E_{el,d}$ – energia elektryczna wyprodukowana w ciągu doby działania turbiny [kWh],

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



$E_{el,h}$ - energia elektryczna wyprodukowana w ciągu godziny działania turbiny [kWh],
 $\eta_{iT,d}(\dot{V}), \eta_{em,d}(\dot{V})$ - krzywe sprawności turbin,
 η_{iT} - sprawność wewnętrzna turbiny – iloczyn sprawności hydraulicznej i wolumetrycznej, określany dla dobowego natężenia przepływu wody,
 η_{em} - iloczyn sprawności elektrycznej i mechanicznej turbiny, określany dla dobowego natężenia przepływu wody,
 $\eta_{iT,r}, \eta_{em,r}$ - określone dla średniego rocznego natężenia przepływu wody,
 φ – długość geograficzna [$^{\circ}$],
 ε – szerokość geograficzna [$^{\circ}$],

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Bibliografia do rozdz. 2:

- [2.1] Opracowanie modelu użytkownika energii (budynku lub grupy budynków mieszkalnych), uwzględniającego zróżnicowane parametry techniczne, funkcjonalne i ekonomiczne w aspekcie możliwości substytucji konwencjonalnych źródeł energii na OZE. Raport z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 /SP/B/3/76/469/10, GIG Katowice 2011 r.
- [2.2] Opracowanie algorytmów programów komputerowych wykorzystania poszczególnych rodzajów OZE w budownictwie. Raport z realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3/ SP/B/3/76/469/10, GIG Katowice 2011 r.
- [2.3] PN-EN ISO 13790: Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. PKN Warszawa 2009 r.
- [2.4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2008 r. Nr 201, poz. 1240)
- [2.5] PN-B-02025: Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego, PKN Warszawa 2011 r.
- [2.6] Opracowanie algorytmu programu komputerowego związanego z mikrokogeneracją oraz mikropoligeneracją z OZE z uwzględnieniem mikrobiogazowni. Raport z realizacji prac Etapu nr 16 zadania badawczego nr 3/ SP/B/3/76/469/10, IE i SU Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012 r.
- [2.7] PN-EN 12831: Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. PKN Warszawa 2006 r.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Zadanie badawcze nr 3:

Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w budownictwie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

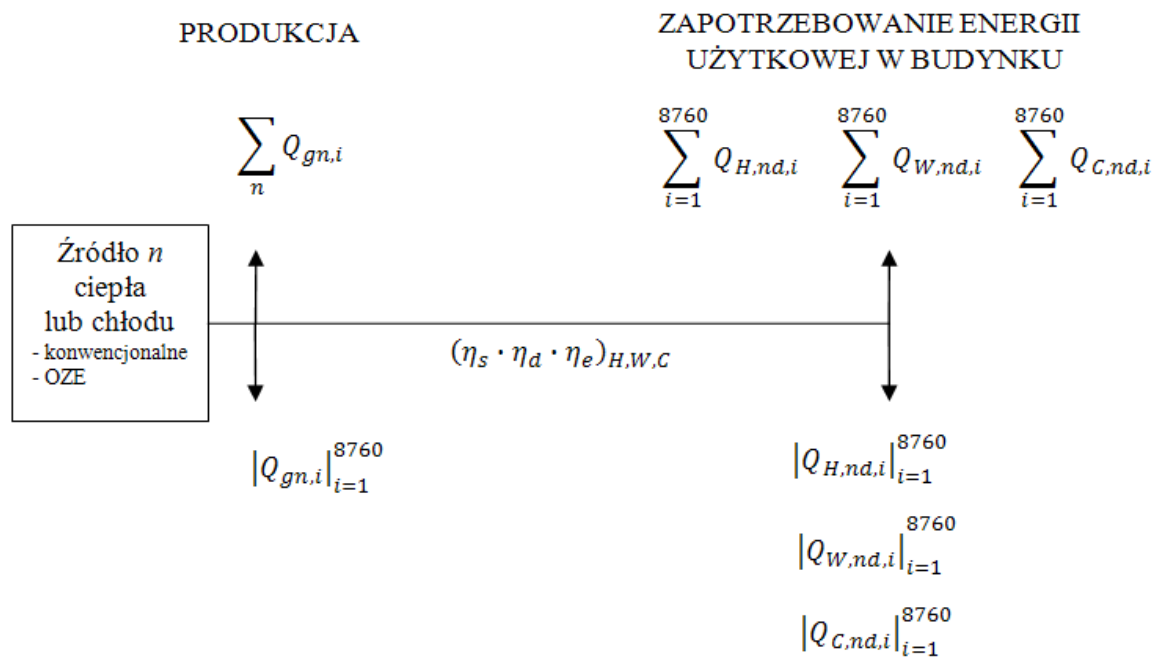


3. Charakterystyka algorytmów obliczeniowych w zintegrowanym programie komputerowym w zakresie bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji energii z OZE

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Przyjęta zasada bilansowania energii odnosi się do bilansu w stanie ustalonym [3.1] tj. bez uwzględniania przyrostu energii wewnętrznej układu i obejmuje energię wprowadzoną do instalacji energetycznej budynku dla pokrycia potrzeb w danej dziedzinie jej użytkowania. W przyjętej metodyce bilansowania energii w obrębie budynku uwzględniono wymagania normy europejskiej [3.2] i krajowej metodologii [3.3] w zakresie obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. Zasadę bilansowania energii instalacyjnej w zakresie zapotrzebowania ciepła na cele ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) i chłodu oraz jej produkcji w danym źródle przedstawiono schematycznie na rys.3.1.



Rys. 3.1. Bilans energii wytworzonej w źródle dla pokrycia potrzeb ciepła i chłodu w budynku

Bilans zapotrzebowania i produkcji energii wytworzonej w OZE lub w źródle konwencjonalnym dla danej i-tej godziny wyrażony jest formułą:

$$\sum_n Q_{gn,i} - \sum_k Q_{cał,i}^k = 0 \quad (3.1)$$

gdzie oznaczono:

$Q_{gn,i}$ - godzinowa ilość energii wytworzona w danym n –tym źródle energii (OZE lub źródło konwencjonalne) [kWh]



$Q_{cał,i}^k$ – godzinowa energia wprowadzona do instalacji dla danej k-tej dziedziny potrzeb ciepła lub chłodu w budynku [kWh]

W zakresie zapotrzebowania energii dla celów ogrzewania i wentylacji budynku można wyznaczyć dla i-tej godziny bilansowej wymaganą ilość energii wprowadzaną do instalacji grzewczej dla pokrycia tych potrzeb.

$$Q_{H,cał,i} = \frac{Q_{H,nd,i}}{(\eta_s \cdot \eta_d \cdot \eta_e)_H} \rightarrow |Q_{H,cał,i}|_{i=1}^{8760} \quad (3.2)$$

gdzie:

$Q_{H,nd,i}$ – ilość energii użytkowej dla potrzeb ogrzewania i wentylacji budynku w i-tej godzinie [kWh]

$(\eta_s \cdot \eta_d \cdot \eta_e)_H$ – średnia sezonowa sprawności instalacji ogrzewania (sprawność przesyłania, akumulacji i regulacji ciepła w instalacji c.o., c.w.u. lub chłodu)

Z uzyskanych godzinowych wielkości energii instalacyjnej $Q_{H,cał,i}$ można utworzyć wektor w przedziale rocznym $|Q_{H,cał,i}|_{i=1}^{8760}$, który po zsumowaniu stanowi roczną ilość energii wymaganą dla pokrycia energii użytkowej danego budynku w zakresie ogrzewania i wentylacji.

Podobnie należy bilansować zapotrzebowanie energii w dziedzinie przygotowania c.w.u. i chłodzenia pomieszczeń w budynku.

$$Q_{W,cał,i} = \frac{Q_{W,nd,i}}{(\eta_s \cdot \eta_d \cdot \eta_e)_W} \rightarrow |Q_{W,cał,i}|_{i=1}^{8760} \quad (3.3)$$

$$Q_{C,cał,i} = \frac{Q_{C,nd,i}}{(\eta_s \cdot \eta_d \cdot \eta_e)_C} \rightarrow |Q_{C,cał,i}|_{i=1}^{8760} \quad (3.4)$$

Wytworzona energia w OZE lub w źródle konwencjonalnym w godzinowej analizie bilansowej pokrywa zapotrzebowanie ciepła lub chłodu w budynku w danej i-tej godzinie. Jej niedobór lub nadwyżka w produkcji źródeł są niwelowane poprzez zasobniki ciepła lub chłodu, co uwzględniono w równaniach bilansowych. Zasada bilansowania potrzeb energii i jej pokrycia zgodna z formułą (3.1) dotyczy każdej godziny w przedziale rocznym i odnosi się do energii w postaci ciepła lub energii elektrycznej. Każde analizowane rozwiązanie instalacyjne z OZE lub ze źródłami konwencjonalnymi musi spełnić warunek zbilansowania zapotrzebowania energii przez jej produkcję w danym pojedynczym źródle lub przez system biwalentny.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



3.1. Algorytm obliczeniowy bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji ciepła z OZE dla ogrzewania i wentylacji budynku oraz przygotowania c.w.u.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Schemat blokowy algorytmu bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji ciepła z OZE dla ogrzewania i wentylacji budynku oraz przygotowania c.w.u. przedstawiono w zał. Nr 3. Schemat algorytmu opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [3.4]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z jego autorami i zespołem programistów.

Struktura obliczeń opiera się na osobnych bilansach ciepła i energii elektrycznej i przedstawiona jest w następujących schematach blokowych:

- schemat algorytmu bilansowania ciepła,
- schemat algorytmu bilansowania energii dla potrzeb ogrzewania i przygotowania cwu.

W drugim przypadku bilansowym, gdy część energii elektrycznej wyprodukowana w instalacjach wykorzystujących OZE, magazynowana jest w zasobniku ciepła, bilans ciepła i energii elektrycznej jest łączny. Dotyczy to nadwyżek energii elektrycznej, gdy wytworzona energia zasila grzałkę elektryczną zainstalowaną w zasobniku ciepła, będącego akumulatorem ciepła dla potrzeb ogrzewania i c.w.u.

Każdy z głównych bloków algorytmu istotny ze względu na logikę działania programu został opisany osobno.

Przepływ ciepła, jego akumulację lub rozładowanie w zasobniku ciepła przedstawia schemat algorytmu bilansowania ciepła. Natomiast przepływy ciepła i energii elektrycznej (akumulacja i rozładowanie) przedstawia schemat algorytmu bilansowania energii dla potrzeb ogrzewania i przygotowania cwu.

Algorytm bilansowania ciepła przedstawiono w załączniku nr 3. Dla przeprowadzenia obliczeń należy wprowadzić następujące dane:

- wektor zapotrzebowania godzinowego energii na ogrzewanie i wentylację, na poziomie instalacyjnym $|Q_{H,cat,i}|_{i=1}^{8760}$,
- wektor zapotrzebowania godzinowego energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej, na poziomie instalacyjnym $|Q_{W,cat,i}|_{i=1}^{8760}$,
- parametry źródła bazowego,
- parametry źródła szczytowego,
- parametry zasobnika ciepła,
- parametry instalacji grzewczej,
- wymaganą temperaturą c.w.u. w instalacji.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Poszczególne dane wartości do analiz bilansowania ciepła są deklarowane przez użytkownika, bądź są wynikami wcześniejszych obliczeń w programie komputerowym. Wektory zapotrzebowania godzinowego energii na ogrzewanie i wentylację na poziomie instalacyjnym $|Q_{H,cał,i}|_{i=1}^{8760}$ oraz zapotrzebowania godzinowego energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej na poziomie instalacyjnym $|Q_{W,cał,i}|_{i=1}^{8760}$ są obliczane w zintegrowanym programie komputerowym w zakładce *Zapotrzebowanie energii – ogrzewanie* lub *Zapotrzebowanie energii – c.w.u.*

Pozostałe parametry wprowadzane jako dane określone są w programie komputerowym przez użytkownika przy doborze źródła podstawowego i szczytowego w zakładce *Źródła energii* przy obliczaniu godzinowych wartości produkcji ciepła poszczególnych źródeł.

W prowadzonej analizie z punktu widzenia zwiększenia wykorzystania OZE istotne jest, aby w jak najszerszym zakresie stosowane były źródła energii odnawialnej lub wysokosprawne kogeneratory zastępujące energię konwencjonalną. Stanowią one źródła podstawowe. W sytuacji w której produkcja podstawowego źródła ciepła nie wystarcza dla zaspokojenia potrzeb budynku włączane jest źródło szczytowe.

W obliczeniach zakłada się, że źródłem podstawowym może być kolektor słoneczny lub kogeneracja ustawiona w trybie pracy ze stałą produkcją ciepła. Jako źródło szczytowe produkcji ciepła proponuje się zastosowanie pompy ciepła, kotła konwencjonalnego opalanego paliwem stałym lub gazowym, kotła na biomasę lub kogenerację ustawioną w tryb pracy z mocą dostosowaną do zapotrzebowania ciepła. Szczytowe zapotrzebowanie ciepła może być również pokryte przez zamówioną moc z węzła cieplnego. Moc dobieranego źródła szczytowego jest weryfikowana w procedurze zintegrowanego programu komputerowego w zakładce *Zapotrzebowanie energii*.

Parametry zasobnika ciepła takie jak pojemność, różnica temperatur nominalnych zasilania i powrotu, średnica rury dolotowej, maksymalna temperatura wody w zasobniku mogą być podane w ramach algorytmu bilansowego przez użytkownika lub pobrane z wcześniejszych obliczeń w programie. W wypadku braku zasobnika w analizowanym układzie technologicznym, jego pojemność przyjmuje się równą 0.

W schemacie algorytmu poprzez wybór odpowiedniej opcji przewidziano dla użytkownika możliwość automatycznego doboru wielkości zasobnika ciepła, przy czym zakłada się przewody dolotowe o średnicy DN25 (1") i maksymalną temperaturę w zasobniku 95°C.

Algorytm bilansowania ciepła przedstawia możliwości przepływu, akumulowania i rozładowania ciepła z produkcji całej energii na potrzeby grzewcze w i-tej godzinie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



poniższej o energię na przygotowanie c.w.u. Jest to wynikiem założenia, że priorytetem jest pokrycie potrzeb ciepła na przygotowanie c.w.u.

Pobór c.w.u. uwzględnia rzeczywiste zapotrzebowanie na energię, nie uwzględnia przy tym (z uwagi na konieczność optymalizacji wielkości zasobnika ciepła możliwości niepełnego odbioru niedogrzejanej wody. W przypadku zapotrzebowania na c.w.u dla stanów, w których temperatura wody w zasobniku byłaby niższa niż wymagana, przyjęcie możliwości niepełnego zasilania odbiorcy w c.w.u. powodowałoby dobór zasobnika o zbyt małej wielkości.

Po doborze zasobnika oraz zaspokojenia zapotrzebowania w każdej i - tej godzinie obliczane są ilości energii zakumulowanej lub pobranej. Rezultatem obliczeń będzie dobrany zasobnik (jego wielkość), procentowe jego użycie (stopień zaspokojenia potrzeb), procentowe wykorzystanie źródła szczytowego oraz wektory niewykorzystanych nadwyżek lub niedoborów energii.

W każdej i-tej godzinie analizowane są przepływy nadwyżki produkowanego ciepła (ponad potrzeby c.w.u.) na jego akumulację i pobór ciepła z zasobnika dla zaspokojenia niedoboru w zakresie ogrzewania .

Akumulacja energii konieczna jest w sytuacji, w której w systemie występują nadwyżki. Maksymalna zdolność akumulacji energii w i-tej godzinie proporcjonalna jest do nominalnej różnicy temperatur zasilania i powrotu, pojemności cieplnej właściwej wody, jej gęstości i objętości zasobnika (jako, że okres bilansowy wynosi 1h zatem wielkość akumulowanej mocy [kW] w danej godzinie równa jest zakumulowanej energii [kWh]).

Przyjęto, że akumulacja energii jest możliwa, gdy temperatura na dopływie do zasobnika przekracza temperaturę wody zimnej doprowadzanej do zbiornika buforowego. Temperatura wody zimnej przyjęta została na stałym poziomie 10 °C. W przypadku, gdy temperatura czynnika obiegowego w godzinie „i” przekracza w buforze temperaturę w godzinie „i – 1” energia akumulowana jest w zasobniku. W algorytmie sprawdza się, czy możliwa do zakumulowana w danej godzinie nadwyżka nie przekracza maksymalnej możliwości ładowania w tej godzinie. Jeżeli nadwyżka ta przekracza tę możliwość, wówczas jako rezultat algorytm ładowania podaje informację, że akumulator wykorzystał maksymalną swą pojemność.

Maksymalna pojemność akumulatora wynika z maksymalnej temperatury czynnika obiegowego w danych warunkach. Maksymalna temperatura czynnika obiegowego zależna jest od temperatury otoczenia oraz tzw. krzywej grzania i nie została zamieszczona w schemacie algorytmu; jest każdorazowo określana przez użytkownika. W przypadku, gdy energia doprowadzana do zasobnika nie przekracza maksymalnej jego pojemności, wówczas

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



algorytm sumuje zasób energii obecnej z dostarczoną wraz z czynnikiem. Wynikiem procedury jest faktycznie informacja o wielkości zakumulowanej energii w „i” - tej godzinie.

W przypadku występowania niedoborów ciepła przed włączeniem źródła szczytowego algorytm sprawdza w pierwszej kolejności, czy możliwe jest pobranie energii z zasobnika. W algorytmie głównym w sposób wyraźny określona jest godzina, w której niedobór może występować.

Na podstawie udziału aktualnego zasobu energii do zasobu maksymalnego wyznacza się średnią temperaturę czynnika w zasobniku. Jeżeli jest ona wyższa od wymaganej, wówczas następuje jej pobranie dla zaspokojenia potrzeb grzewczych. Ilość energii pobieranej z akumulatora jest ograniczona przez możliwość przepuszczenia tej energii (strumienia entalpii) przez króciec wylotowy zasobnika i sprawności wykorzystania.

W przypadku, gdy możliwy strumień energii pobieranej przekracza zapotrzebowanie, wówczas pobierany jest strumień równy zapotrzebowaniu, w pozostałych przypadkach pobierany jest strumień odpowiedni do zapotrzebowania.

Z algorytmu bilansowania ciepła wyprowadza się jako wynik dane dotyczące pojemności zasobnika ciepła w wypadku automatycznego jego doboru w algorytmie. W przypadku zasobnika istniejącego jego parametry określa użytkownik.

Wynikiem obliczeń zgodnie z algorytmem bilansu ciepła są:

- wartości procentowego użytkownika zasobnika ciepła będące porównaniem całkowitej energii pobranej z zasobnika w ciągu roku wobec zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie i przygotowanie c.w.u.,
- wartości procentowego wykorzystania źródła szczytowego,
- wartości wektorów rocznych godzinowych nadwyżek i niedoborów ciepła,
- wartości procentowego zaspokojenia potrzeb na ogrzewanie i c.w.u., przez zasoby OZE.

Kolejny algorytm bilansowania energii dla potrzeb ogrzewania i przygotowania c.w.u. przedstawiono w załączniku nr 3. Schemat algorytmu stosowany w wypadku wspólnego bilansowania energii elektrycznej wyprodukowanej w OZE i ciepła dla pokrycia potrzeb w zakresie ogrzewania i c.w.u. Uwzględnia się wtedy dwa algorytmy bilansowania: algorytm bilansowania ciepła i algorytm bilansowania energii elektrycznej. Nadwyżki w produkcji energii elektrycznej ponad potrzeby są akumulowane w postaci ciepła w zasobniku ciepła, poprzez grzałkę zasilaną energią elektryczną wytworzoną w instalacji OZE.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Dla dokonania obliczeń według tego algorytmu poniżej przedstawiono konieczne do wprowadzenia dane:

- wektor zapotrzebowania godzinowego energii na ogrzewanie i wentylację, na poziomie instalacyjnym $|Q_{H,cał,i}|_{i=1}^{8760}$,
- wektor zapotrzebowania godzinowego energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej, na poziomie instalacyjnym $|Q_{W,cał,i}|_{i=1}^{8760}$,
- parametry źródła bazowego,
- parametry źródła szczytowego dla produkcji ciepła,
- parametry zasobnika ciepła,
- parametry instalacji grzewczej,
- wymaganą temperaturę cwu w instalacji,
- wektor zapotrzebowania godzinowego energii elektrycznej dla potrzeb chłodzenia,
- wektor produkcji godzinowej energii elektrycznej,
- parametry źródła szczytowego dla produkcji energii elektrycznej: moc znamionowa kogeneratora gazowego lub moc znamionowa pobierana z sieci elektroenergetycznej.

W tym schemacie algorytmu bilansowego uwzględnia się potrzeby chłodzenia pomieszczeń poprzez zapotrzebowanie energii elektrycznej zapewniającej działanie urządzeń chłodniczych. Wektor zapotrzebowania godzinowego energii elektrycznej w budynku obliczany jest w programie komputerowym w zakładce *Zapotrzebowanie energii –energia elektryczna*, natomiast wektor zapotrzebowania godzinowego energii elektrycznej dla potrzeb chłodzenia obliczany jest w programie komputerowym w zakładce *Zapotrzebowanie energii–chłodzenie*. Pozostałe wartości danych opisano w schemacie algorytmu bilansowego produkcji ciepła jak przedstawiono powyżej.

Obliczenia zgodnie z algorytmem bilansowania energii dla potrzeb ogrzewania i przygotowania c.w.u. stosuje się przy dodatkowym wyposażeniu zasobnika ciepła w grzałkę elektryczną zasilaną energią elektryczną wytworzoną w odnawialnym źródle. Taki układ jest praktycznym przykładem konwersji energii elektrycznej na ciepło.

W przedstawionym schemacie algorytmu wspólnego bilansowania ciepła i energii elektrycznej, po analizie bilansowej produkcji i zapotrzebowania ciepła przystępuje się do bilansowania zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej. Bilans zapotrzebowania i produkcji ciepła oraz algorytmy ładowania i rozładowania zasobnika ciepła są takie same jak w opisanym schemacie algorytmu bilansowania ciepła.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Algorytmy ładowania i rozładowania akumulatora energii elektrycznej są opisane w algorytmie bilansowania energii elektrycznej w rozdziale 3.2.

Po przeprowadzeniu obliczeń według wspólnego algorytmu bilansowania ciepła i energii elektrycznej program komputerowy wyprowadza jako wyniki obliczeń następujące dane:

- pojemność zasobnika ciepła; w wypadku jego doboru automatycznego,
- wartości procentowego wykorzystania zasobnika będące porównaniem całkowitej energii pobranej z zasobnika i zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie i przygotowanie c.w.u.,
- wartości procentowego wykorzystania źródła szczytowego,
- wartości wektorów nadwyżek i niedoborów ciepła,
- wartości procentowego zaspokojenia zapotrzebowania na co i c.w.u.,
- pojemność akumulatora energii elektrycznej,
- procent wykorzystania akumulatora (użycia) energii elektrycznej; porównanie całkowitej energii pobranej w stosunku do całkowitego rocznego zapotrzebowania,
- procent wykorzystania źródła szczytowego; wielkość rzeczywiście wyprodukowanej energii elektrycznej w źródle szczytowym w stosunku do maksymalnej produkcji w roku,
- wektory roczne godzinowych nadwyżek i niedoborów energii elektrycznej.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



3.2. Algorytm obliczeniowy bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej z OZE

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Schemat blokowy algorytmu bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej z OZE przedstawiono w zał. Nr 3. Schemat algorytmu opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [3.4]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z jego autorami i zespołem programistów.

Algorytm służy do obliczeń godzinowego i rocznego bilansu zapotrzebowania na energię elektryczną oraz jej produkcji przez OZE i zakupu z sieci krajowego systemu elektroenergetycznego. Obliczenia prowadzi się dla budynków jedno- i wielorodzinnych.

Dane wejściowe:

- Wektor zapotrzebowania godzinowego energii elektrycznej [kWh]
- Wektor produkcji godzinowej energii elektrycznej przez źródło podstawowe [kWh]
- Parametry źródła szczytowego (agregatu kogeneracyjnego) lub moc zamówiona z sieci dystrybucyjnej [kW]
- Parametry akumulatora energii elektrycznej (w przypadku ich deklaracji przez użytkownika)
- Liczba dni autonomicznej pracy systemu wymagana przez użytkownika budynku

Wyniki obliczeń:

- Pojemność akumulatora [kWh]
- Stopień wykorzystania akumulatora [%]
- Stopień wykorzystania źródła szczytowego [%]
- Wektor nadwyżek produkcji energii elektrycznej [kWh]
- Wektor niedoborów energii elektrycznej [kWh]

Przebieg obliczeń:

Jeżeli użytkownik nie zadeklarował akumulatora w instalacji elektrycznej budynku i nie wprowadził wymaganych danych w module programowym dotyczącym zapotrzebowania na energię elektryczną, możliwy jest automatyczny dobór akumulatora.

W przypadku automatycznego doboru stosowana jest właściwość typowych akumulatorów ołowiowych, które nie powinny być rozładowywane poniżej 75% swojej pojemności znamionowej, co powoduje konieczność czterokrotnego zwiększenia wymaganej



pojemności układu akumulującego energię elektryczną. W doborze sumarycznej pojemności akumulatora/akumulatorów uwzględnia się również liczbę dni autonomii systemu. Nie uwzględnia się przy tym strat energii elektrycznej w postaci upływów prądu.

Następnie w każdej „i” - tej godzinie wyznaczana jest nadwyżka/niedobór produkcji energii elektrycznej w stosunku do jej zapotrzebowania. Jeżeli nadwyżka produkcji jest dodatnia następuje proces ładowania akumulatora. W przeciwnym wypadku występujące zapotrzebowanie na energię w pierwszym rzędzie pokrywane jest z akumulatora. Zarówno ładowanie, jak i rozładowanie akumulatora opisane są oddzielnymi procedurami.

1. Procedura akumulacji energii elektrycznej

Warunkami ograniczającymi akumulowanie energii elektrycznej są:

- maksymalna pojemność dobranych akumulatorów/akumulatora [kWh]
- maksymalna możliwa energia do zakumulowania w godzinie, która dla standardowych urządzeń wynosi około 10% ich całkowitej pojemności [kWh].

W algorytmie, z uwagi na ograniczanie żywotności urządzenia, nie uwzględniono możliwości przyspieszonego ładowania akumulatorów. Ilość energii elektrycznej zmagazynowana w akumulatorze w „i”-tej godzinie jest sumą zasobu energii w akumulatorze w godzinie „i – 1” oraz wartości zakumulowanej w „i” - tej godzinie (przy uwzględnieniu warunków ograniczających akumulację energii).

Jeżeli nadwyżka produkcji energii elektrycznej jest większa od maksymalnej możliwej do zakumulowania energia akumulowana jest równa energii maksymalnej. W przeciwnym razie całość nadwyżki energii jest akumulowana.

Jeżeli suma wielkości energii zmagazynowanej aktualnie w akumulatorze i akumulowanej energii przekracza jego pojemność do dalszych obliczeń przyjmowana jest różnica pojemności i energii zmagazynowanej. Jeżeli nie, to energia faktycznie zakumulowana jest równa sumie energii w akumulatorze i energii akumulowanej. Wielkość energii faktycznie zakumulowanej zwracana jest do modułu bilansowego do dalszych obliczeń.

2. Procedura rozładowania akumulatora (poboru energii elektrycznej z akumulatora)

Warunkami ograniczającymi dla rozładowania akumulatora są:

- pojemność akumulatora [kWh]
- maksymalna możliwa do pobrania z akumulatora ilość energii w danej godzinie, równa jego pojemności [kWh].

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Ograniczenia te są uwzględnione w procedurze obliczeniowej algorytmu bilansowania energii elektrycznej.

Jeżeli niedobór produkcji energii elektrycznej (nadwyżka ujemna) jest większy od maksymalnej możliwej do pobrania energii, to jej pobrana ilość jest równa energii maksymalnej. W przeciwnym razie całość niedoboru energii jest pobierana. Wielkość energii pobranej nie może przekroczyć energii zmagazynowanej w akumulatorze.

W kolejnym kroku w algorytmie są obliczane parametry - wielkość energii zmagazynowanej w akumulatorze po pobraniu oraz wielkość energii faktycznie zakumulowanej, przy czym ta ostatnia zwracana jest do modułu bilansowego do dalszych obliczeń.

Jeżeli użytkownik zadeklarował obecność grzałki elektrycznej w zasobniku ciepła, nadwyżki energii elektrycznej, przekraczające możliwości akumulacji, mogą być wykorzystane do podgrzania wody w zasobniku. W tym celu sprawdza się, czy średnia moc godzinowa nadwyżek jest większa od mocy grzałki. Jeśli tak, to ilość energii możliwej do zmagazynowania w zasobniku w postaci ciepła wynika z mocy grzałki; w przeciwnym razie ilość energii wynika ze średniej godzinowej mocy nadwyżek. Ilość ciepła wytwarzanego przez grzałkę jest uwzględniana w bilansie energetycznym zasobnika ciepła.

W dalszej kolejności w module bilansowym oblicza się:

- nadwyżkę niewykorzystaną w „i” – tej godzinie jako różnicę produkcji oraz zapotrzebowania i energii zakumulowanej (z uwzględnieniem produkcji ciepła magazynowanego w zasobniku ciepła)

lub

- niedobór z uwzględnieniem akumulatora jako różnicę niedoboru i energii pobranej z akumulatora.

Jeżeli niedobór ten jest większy od zera należy go pokryć ze źródła szczytowego energii elektrycznej. Wtedy niedobór w „i” – tej godzinie równy jest różnicy niedoboru z uwzględnieniem akumulacji i produkcji źródła szczytowego w „i” – tej godzinie.

W końcowej części algorytmu obliczane są:

- Stopień wykorzystania akumulatora jako iloraz całkowitej energii pobranej z akumulatora i całkowitego rocznego zapotrzebowania [%]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- Stopień wykorzystania źródła szczytowego jako iloraz całkowitej energii wyprodukowanej przez źródło szczytowe oraz iloczynu mocy szczytowej i ilości godzin w roku) [%]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Bibliografia do rozdz. 3:

- [3.1] Szargut J.- Termodynamika, PWN Warszawa 1998 r.
- [3.2] PN-EN ISO 13790: Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. PKN Warszawa 2009 r.
- [3.3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2008 r. Nr 201, poz. 1240)
- [3.4] Opracowanie modelu użytkownika energii (budynku lub grupy budynków mieszkalnych), uwzględniającego zróżnicowane parametry techniczne, funkcjonalne i ekonomiczne w aspekcie możliwości substytucji konwencjonalnych źródeł energii na OZE. Raport z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 /SP/B/3/76/469/10, GIG Katowice 2011 r.



4. Charakterystyka algorytmów obliczeniowych do zintegrowanego programu komputerowego w zakresie funkcji korzyści i rankingu rozwiązań wykorzystania OZE w budynkach

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



W zintegrowanym programie komputerowym stanowiącym narzędzie służące wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach, zaimplementowano opracowane wcześniej algorytmy obliczeniowe w zakresie funkcji korzyści i rankingu rozwiązań. Prace badawcze w tym zakresie prowadzone były w ramach Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [4.1]. Dla potrzeb przygotowania aplikacji do zintegrowanego programu komputerowego opracowane algorytmy obliczeniowe zostały skorygowane i uzgodnione z jego autorami i zespołem programistów.

Zgodnie z założeniem zawartym w opracowaniu [4.1] budynek stanowi system energetyczno-budowlany, który należy rozpatrywać z uwzględnieniem preferencji użytkownika podejmującego decyzje o wyborze źródła zasilania energetycznego. Przyszły użytkownik będzie dążył do jego optymalizacji w aspekcie zaspokojenia swoich potrzeb, zarówno na etapie eksploatacji jak i na etapie inwestycyjnym. Decyzją użytkownika budynku jest wybór pomiędzy możliwymi rozwiązaniami dotyczącymi zasilania w nośniki energii, które autorzy algorytmu nazywają opcjami decyzji (wariantami, alternatywami) i które stanowią zbiór dyskretnych alternatywnych decyzji użytkownika. Określenie poszczególnych rozwiązań przypisanych do zbioru opcji decyzyjnych wymaga pracochłonnego przygotowania i jest znacznie trudniejsze niż podjęcie decyzji.

W modelowaniu sytuacji decyzyjnej wyróżnia się model rzeczowy, będący modelem wiedzy o danej sytuacji decyzyjnej i model preferencji, jako model celów i skutków rozpatrywanych opcji decyzyjnych. Rozpatrywane typy systemów energetyczno-budowlanych to budynek jednorodzinny i wielorodzinny lub ich grupa, które zostały wzniesione w określonym czasie i poddane lub niepoddane działaniom termomodernizacyjnym mającym na celu ograniczenie zużycia energii. Jako rozwiązania dopuszczalne w zakresie zaopatrzenia budynku w energię przyjmuje się zbiór konkretnych systemów instalacyjnych wykorzystujących urządzenia i procesy, służące pokryciu zapotrzebowania na energię użytkową z wykorzystaniem konkretnych nośników energii z zasobów OZE i nośników konwencjonalnych.

W opracowaniu algorytmu obliczeniowego [4.1] założono, że zbiór dopuszczalnych rozwiązań jest zbiorem skończonym i zawiera co najmniej dwa elementy tj. rozwiązanie bazowe oparte wyłącznie na nieodnawialnej energii i jej nośnikach oraz rozwiązanie wykorzystujące zasoby OZE. Typowe rozwiązanie instalacyjne obejmuje urządzenia wytwarzające energię lub jej nośnik, urządzenia regulacyjne, akumulujące oraz transportujące. Tak podjęte decyzje polegające na wyborze rozwiązania zaopatrzenia budynku w energię w danych warunkach, implikują rezultaty jako zbiór bezpośrednich skutków tej decyzji np. ilość wykorzystywanej energii nieodnawialnej i odnawialnej dla pokrycia potrzeb użytkownika, koszty urządzeń. Właściwym w tym zakresie parametrem wynikającym z obowiązujących normatywnych metod jest między innymi roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową dla poszczególnych wydzielonych systemów energetycznych (ogrzewanie i wentylacja, przygotowanie ciepłej wody użytkowej itd.) i dla poszczególnych nośników energii. Występujący w danej lokalizacji budynku (systemu

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



budowlano-energetycznego) stan otoczenia obejmuje ogół parametrów zewnętrznych, mających wpływ na atrakcyjność danego rozwiązania dla użytkownika.

Funkcja korzyści wykorzystywana w analizie wielokryterialnej określa, które rozwiązanie i w jakich warunkach jest lepsze dla użytkownika. Decyduje o tym efekt, jaki przynosi odbiorcy konkretna decyzja o wyborze rozwiązania. Wartość wynikająca z zależności określonej przez funkcję korzyści przypisana jest do wybranego dopuszczalnego rozwiązania, któremu odpowiada uzyskany rezultat w określonych warunkach otoczenia zewnętrznego analizowanego obiektu. Zgodnie z metodami analizy wielokryterialnej ocena rezultatów decyzji dotyczącej wyboru rozwiązania nie wynika z jednego wskaźnika, zależna jest od oceny według różnych kryteriów. Kryteria oceny rozwiązań zaopatrzenia budynków w energię mają charakter techniczny, ekonomiczny, ekologiczny i socjologiczny. Metody wielokryterialnej oceny jako narzędzie analiz, oparte są na danych parametrach mierzalnych i niemierzalnych oraz na subiektywnych ocenach dokonywanych przez użytkownika analizowanego obiektu.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



4.1. Charakterystyka funkcji korzyści w procesie decyzyjnym

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Charakterystykę funkcji korzyści oraz kryteria stosowane do oceny rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię opracowano na podstawie dokumentacji z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [4.1].

W celu wybrania najkorzystniejszego wariantu realizacji inwestycji z zastosowaniem OZE konieczne jest przeprowadzenie analizy porównawczej różnych wariantów zaopatrzenia budynku w energię. Wybrana wersja realizacji inwestycji jest wynikiem wielokryterialnego rozpatrzenia możliwych do zastosowania wariantów.

Narzędziem służącym do prognozowania i podjęcia właściwej decyzji dla konkretnego użytkownika jest funkcja korzyści. Na drodze analizy określa się efekt, jaki przynosi odbiorcy konkretna decyzja dla wybranego rozwiązania. Efekt ten oceniany jest za pomocą różnych kryteriów (indywidualnych funkcji), niektóre z nich zależne są również od parametrów w otoczeniu. Kryteriami oceny zależnymi od stanów otoczenia zewnętrznego są przykładowo:

- całkowite koszty spłaty nakładów na realizację inwestycji
- sumaryczny koszt eksploatacji i konserwacji,
- suma kosztów ponoszonych w całym cyklu życia produktu, czyli w przedziale czasu od momentu, w którym powstaje koncepcja powstania produktu do momentu jego całkowitej likwidacji (LCC); uzależniona od wartości pieniądza,
- wartość zaktualizowana netto (NPV); uzależniona od wartości pieniądza, i.t.p.

Wybranemu dopuszczalnemu rozwiązaniu D zaopatrzenia w energię i towarzyszącym mu rezultatom R oraz stanowi otoczenia zewnętrznego Z , dla konkretnego modelowego użytkownika M przypisać można pewną wartość K , nazwaną korzyścią. Funkcję korzyści można opisać formułą:

$$K = f[R(D), Z] \quad (4.1.1)$$

gdzie:

K - przestrzeń ocen rezultatów decyzji

W rozpatrywanym modelu Z , D i R są zbiorami skończonymi, zatem funkcję korzyści można opisać formułą:

$$K_{ij}^{hks} = f[R_{ij}^h(D_{ij}^b, Z_{ij}^s)] \quad (4.1.2)$$

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



gdzie:

K_{ij}^{hks} - ocena h -tych rezultatów decyzji dopuszczalnej
(ocena z wykorzystaniem k -tego kryterium, przy stanie otoczenia s -tym)

i -ty modelowy użytkownik,

j -te rozwiązanie zaopatrzenia w energię,

h -ty rezultat decyzji,

k -te kryterium oceny,

s -ty stan otoczenia zewnętrznego.

Z uwagi na przyjęty do analiz określony stan otoczenia zewnętrznego powyższa formuła przyjmuje postać:

$$K_{ij}^{hk} = f[R_{ij}^h(D_{ij})] \quad (4.1.3)$$

Wielokryterialna analiza wariantowa uwzględnia wiele czynników warunkujących wybór przedsięwzięcia. Należą do nich grupy kryteriów, które są charakteryzowane parametrami technicznymi, ekonomicznymi, ekologicznymi, prawnymi, społecznymi, organizacyjnymi itp.

W opracowaniu [4.1] przedstawiono grupę kryteriów oceny danego rozwiązania zaopatrzenia w energię budynków mieszkalnych, które są pomocne do podjęcia decyzji finalnej przez potencjalnych użytkowników t.j. właścicieli, inwestorów, administratorów, zarządców nieruchomości, deweloperów i projektantów.

W zintegrowanym programie komputerowym wspierającym analizy i wybór wariantu rozwiązania wykorzystano cztery grupy kryteriów mających charakter technicznych, ekonomicznych, ekologicznych i socjologicznych funkcji korzyści:

- kryteria techniczne (T),
- kryteria ekonomiczne (E),
- kryteria środowiskowe (S),
- kryteria inne – niemierzalne (I).

Kryteria techniczne (T) funkcji korzyści określane są na podstawie efektów technicznych ocenianego rozwiązania zaopatrzenia w energię. Mają charakter ilościowy i normatywnie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



określane są zgodnie z wymaganiami przepisów krajowych według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2006 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku [4.2]. Obliczone według tego rozporządzenia wskaźniki charakterystyki energetycznej budynku nie podają jednak bezpośredniej informacji o skali i strukturze wykorzystania odnawialnych źródeł energii w budynku.

Kryteriami technicznymi rozwiązania zaopatrzenia budynku w energię są:

- wskaźnik EK [kWh/m²rok]- roczne jednostkowe zapotrzebowanie energii końcowej w budynku, obliczony wg załącznika nr 5, 6 do krajowej metodologii [4.2],
- wskaźnik EP [kWh/m²rok]- roczne jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną, obliczony wg załącznika nr 5, 6 do krajowej metodologii [4.2],
- wskaźnik EP_L [kWh/m²rok] - roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię pierwotną na potrzeby oświetlenia wbudowanego, obliczony wg załącznika nr 5, 6 do krajowej metodologii [4.2].
- udział pokrycia zapotrzebowania energii w budynku przez energię wytworzoną z OZE.

Obliczenie wskaźnik EP [kWh/m²rok] wymaga użycia współczynnika w_i nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na dostarczenie jej nośnika do budynku [4.2],[4.3].

Najbardziej rozpowszechnione wśród użytkowników, w zakresie analiz wyboru rozwiązań inwestycyjnych w budownictwie są **kryteria ekonomiczne (E)**. Określane są na podstawie rezultatów technicznych i ekonomicznych wyboru rozwiązania zaopatrzenia w energię.

Analiza kryteriów ekonomicznych pozwala ocenić koszty inwestycyjne przyjętego rozwiązania oraz koszty eksploatacyjne w określonej skali czasowej, jakie będzie ponosił użytkownik. Koszty przedsięwzięcia można określić nieuwzględniając zmian wartości pieniądza w czasie lub te zmiany uwzględniając. Duże znaczenie dla obliczeń ekonomicznych mają uwarunkowania zewnętrzne n.p. koszty energii.

Miarą analiz ekonomicznych są następujące wielkości:

- nakłady inwestycyjne I [zł]
- roczne koszty eksploatacyjne K_e [zł/rok]
- wartość zaktualizowana netto NPV [zł]
- wskaźnik wartości bieżącej netto NPVR [-]
- wskaźnik zyskowności lub opłacalności PI [-]
- wartość zdyskontowanego okresu zwrotu DPP [lata]

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

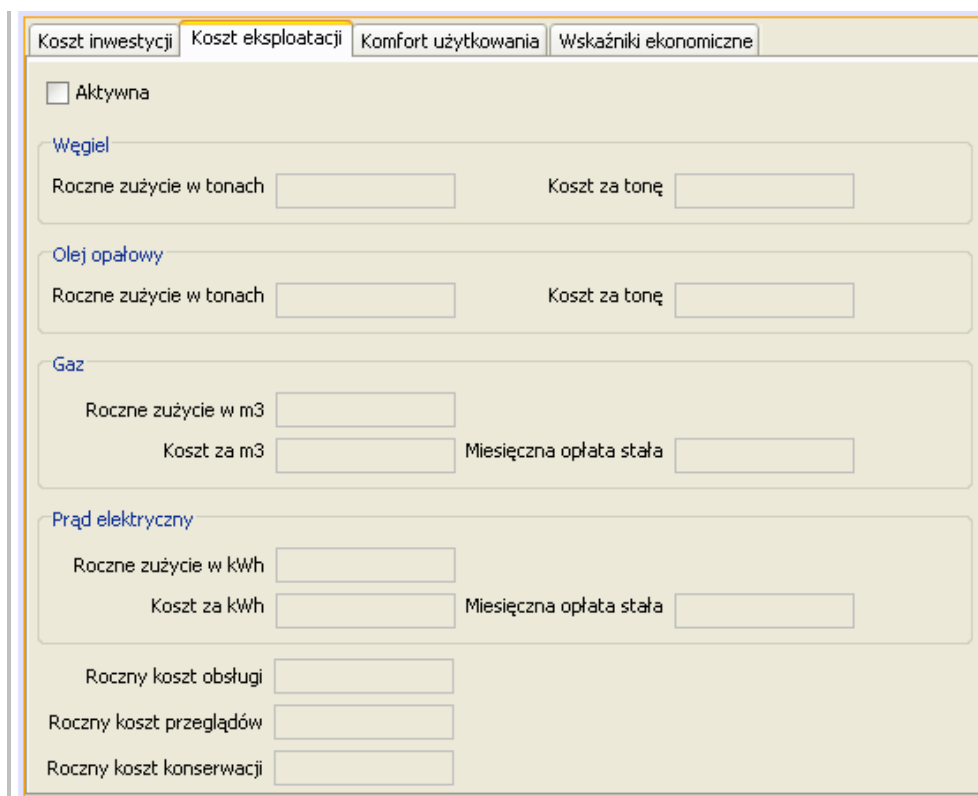
- wewnętrzna stopa zwrotu IRR [%].

Wielkość nakładów inwestycyjnych na instalację zaopatrzenia w energię w budynku podawana jest przez użytkownika.

Wielkość rocznych kosztów eksploatacyjnych obliczana jest na podstawie:

- rocznego zużycia ciepła i energii elektrycznej, jako wartości wynikowych bilansów ciepła i energii elektrycznej,
- kosztów stałych i zmiennych nośników energii wprowadzanych jako dane przez użytkownika,
- rocznych kosztów obsługi, przeglądów i konserwacji określanych przez użytkownika.

Wartości kosztów eksploatacyjnych w zintegrowanym programie komputerowym określa użytkownik wprowadzając dane jak na rysunku nr 4.1.1.



Koszt inwestycji Koszt eksploatacji Komfort użytkownika Wskaźniki ekonomiczne

Aktywna

Węgiel

Roczne zużycie w tonach Koszt za tonę

Olej opałowy

Roczne zużycie w tonach Koszt za tonę

Gaz

Roczne zużycie w m3

Koszt za m3 Miesięczna opłata stała

Prąd elektryczny

Roczne zużycie w kWh

Koszt za kWh Miesięczna opłata stała

Roczny koszt obsługi

Roczny koszt przeglądów

Roczny koszt konserwacji

Rys. 4.1.1. Dane wejściowe do określenia kosztów eksploatacyjnych

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Pozostałe wielkości obliczane są zgodnie z poniższymi wzorami:

➤ wartość zaktualizowana netto (Net Present Value - NPV):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{P_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t - D_t}{(1+i)^t} \quad (4.1.4)$$

gdzie:

P_t - przepływy pieniężne netto związane ze zmniejszeniem wydatków na energię w kolejnych latach okresu obliczeniowego, liczone dla każdego roku jako:

$$P_t = K_w - K_D$$

K_w - roczne koszty eksploatacji dla stanu wyjściowego

K_D - roczne koszty eksploatacji dla stanu docelowego

I_t - nakłady inwestycyjne w kolejnych latach okresu obliczeniowego

D_t - dotacje w kolejnych latach okresu obliczeniowego

i - stopa dyskonta (wprowadzana przez użytkownika, jeśli nie wpisze to przyjmuje się ją dla średnich kosztów kapitału w Europie w wysokości 5%)

$t = 0, 1, \dots, n$ - kolejny rok okresu obliczeniowego, przy czym dla analiz przyjęto $n = 15$

➤ wskaźnik wartości bieżącej netto (Net Present Value Ratio – NPVR):

$$NPVR = \frac{NPV}{PVI} \quad (4.1.5)$$

gdzie:

NPV - wartość zaktualizowana netto – ze wzoru (4.1.4)

PVI - wartość bieżąca nakładów inwestycyjnych pomniejszonych o dotację obliczana ze wzoru:

$$PVI = \sum_{t=0}^n \frac{I_t - D_t}{(1+i)^t} \quad (4.1.6)$$

Objaśnienia – jak we wzorze (4.1.4).

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- wskaźnik zyskowności lub opłacalności (Profitability Index - PI):

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{P_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{I_t - D_t}{(1+i)^t}} \quad (4.1.7)$$

Symbole użyte w powyższym wzorze wyjaśnione są przy wzorze (4.1.4) do obliczania NPV.

- wartość zdyskontowanego okresu zwrotu (Discount Payback Period - DPP):

Jest to okres (w latach) DPP po którym skumulowana wartość bieżąca oszczędności ($\sum_{t=0}^n \frac{P_t}{(1+i)^t}$) przekroczy wartość bieżącą nakładów inwestycyjnych pomniejszonych o dotację ($\sum_{t=0}^n \frac{I_t - D_t}{(1+i)^t}$). DPP jest to rok, w którym występuje równość:

$$PVI = \sum_{t=0}^{DPP} \frac{P_t}{(1+i)^t} \quad (4.1.8)$$

gdzie:

P_t - skumulowana wartość bieżących, dodatnich przepływów pieniężnych netto, w przypadku niniejszego projektu P_t iteruje się na podstawie wzoru (4.1.4)

PVI - bieżąca wartość nakładów inwestycyjnych, obliczana ze wzoru (4.1.6)

i - stopa dyskonta

Ogólny wzór (4.1.8) pokazuje zasadę określania wartości DPP, nie daje natomiast możliwości bezpośredniego obliczenia tego okresu zwrotu. Nie ma również możliwości wyprowadzenia takiego wzoru. DPP oblicza się metodą iteracji. Oblicza się sumę aż do uzyskania jej wartości dodatniej.

- wewnętrzna stopa zwrotu (Internal Rate of Return - IRR):

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \cdot (i_2 - i_1) \quad (4.1.9)$$

gdzie:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- i_1 - stopa dyskontowa, przy której $NPV > 0$
 i_2 - stopa dyskontowa, przy której $NPV < 0$
 NPV_1 - wartość NPV obliczona na podstawie i_1
 NPV_2 - wartość NPV obliczona na podstawie i_2

Kolejną grupą kryteriów oceny rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię są **kryteria środowiskowe (ekologiczne) (S)**. Mogą mieć charakter ilościowy i jakościowy. Określane są zwykle na podstawie wyników technicznych decyzji o wyborze rozwiązania i są trudne do interpretacji przez użytkownika. Wyniki oraz interpretacje analiz ekologicznych wymagają wiedzy specjalistycznej i dla ich wykorzystania konieczne jest uzyskanie wsparcia ze strony specjalistów.

Kryteria środowiskowe (S) stosowane do oceny rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię przyjęto na podstawie dokumentacji z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [4.1]. Jako kryterium oceny danego wariantu rozwiązania w zintegrowanym programie komputerowym przyjęto wielkość emisji dwutlenku węgla wprowadzanego do powietrza w wyniku spalania paliw do celów zaopatrzenia budynku w energię.

Wielkość emisji CO_2 , wprowadzanego do powietrza w wyniku zużycia danego paliwa jako nośnika energii końcowej oraz zużycia energii elektrycznej na pokrycie potrzeb budynku oblicza się ze wzoru:

$$E_{CO_2} = P_i \cdot e_{i,CO_2} \quad [kg] \quad (4.1.10)$$

gdzie:

E_{CO_2} – wielkość emisji CO_2 wprowadzanego do powietrza [kg]

P_i – ilość energii chemicznej danego rodzaju paliwa, energii elektrycznej lub ciepła sieciowego zużywanych na potrzeby budynku [kWh]

e_{i,CO_2} – wskaźnik emisji CO_2 w odniesieniu do energii chemicznej zużywanego paliwa, energii elektrycznej lub ciepła sieciowego [kg/kWh]

Wskaźniki emisji dwutlenku węgla przyjęto na podstawie danych opracowanych przez KAPE S.A. na zlecenie Ministerstwa Rozwoju Regionalnego, wykorzystywanych w działaniu 9.1 Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko [4.1]. Wskaźniki emisji

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

dwutlenku węgla dla niektórych paliw przedstawiono w tabeli nr 4.1.1, a dla standardowych źródeł ciepła i energii elektrycznej w tabeli nr 4.1.2.

Tabela 4.1.1. Wskaźniki emisji dwutlenku węgla ze spalania różnych paliw (w odniesieniu do energii chemicznej paliwa)

Lp.	Rodzaj paliwa	Jednostka	Wskaźnik emisji CO ₂
1	Węgiel kamienny	kg/kWh	0,3415
2	Węgiel brunatny	kg/kWh	0,3882
3	Ropa naftowa	kg/kWh	0,2614
4	Gaz ziemny	kg/kWh	0,2010
5	Inne produkty naftowe	kg/kWh	0,3951
6	Koks naftowy	kg/kWh	0,3594
7	Koks i półkoks	kg/kWh	0,3816
8	Gaz ciekły	kg/kWh	0,2248
9	Benzyny silnikowe	kg/kWh	0,2470
10	Benzyny lotnicze	kg/kWh	0,2495
11	Paliwa odrzutowe	kg/kWh	0,2548
12	Olej napędowy	kg/kWh	0,2640
13	Oleje opałowe	kg/kWh	0,2757
14	Gaz rafineryjny	kg/kWh	0,2379
15	Gaz koksowniczy	kg/kWh	0,1707
16	Gaz wielkopiecowy	kg/kWh	0,8668
17	Biopaliwa tj. biogaz, biomasa	kg/kWh	0

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Tabela 4.1.2. Wskaźniki emisji dwutlenku węgla dla standardowych źródeł ciepła i energii elektrycznej

Lp.	Rodzaj źródła ciepła / energii elektrycznej	Jednostka	Wskaźnik emisji CO ₂
1	Typowa elektrownia zasilająca krajową sieć elektroenergetyczną	kg/kWh	1,0944
2	Typowa ciepłownia z kotłami węglowymi zasilająca miejską/lokalną sieć ciepłowniczą	kg/kWh	0,5173
3	Typowa elektrociepłownia z kotłami węglowymi zasilająca miejską/lokalną sieć ciepłowniczą	kg/kWh	0,4955
4	Typowa ciepłownia z kotłami gazowymi zasilająca miejską/lokalną sieć ciepłowniczą	kg/kWh	0,2678

Wielkość redukcji emisji CO₂ w wyniku zastosowania danego rozwiązania zaopatrzenia budynku w energię, w porównaniu z rozwiązaniem wyjściowym (bazowym np. opartym na konwencjonalnym źródle energii) oblicza się na podstawie zależności:

$$\Delta E_{CO_2} = E_{CO_2,w} - E_{CO_2,d} \quad (4.1.11)$$

gdzie:

ΔE_{CO_2} – wielkość redukcji emisji CO₂ [kg/rok]

$E_{CO_2,w}$ – wielkość emisji CO₂ dla stanu wyjściowego (bazowego) [kg/rok]

$E_{CO_2,d}$ – wielkość emisji CO₂ dla danego rozwiązania (stanu docelowego) [kg/rok]

Ostatnią grupę kryteriów oceny przyjętego rozwiązania zaopatrzenia budynku w energię stanowi grupa **kryteriów niemierzalnych (I)**. Najczęściej dotyczą parametrów i ocen socjologicznych oraz społecznych. Tego typu kryteria zależą również od oceny subiektywnej użytkownika i jego indywidualnych preferencji. Oddziaływanie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



na otoczenie (wpływ na estetykę otoczenia), uciążliwość użytkowania przez emitowanie hałasu, jak również ewentualny prestiż społeczny związany z realizacją i korzystaniem z danego rozwiązania, wszystkie te parametry oraz wygoda użytkowania i bezpieczeństwo eksploatacji przyjętego rozwiązania stanowią trudno wymierne kryteria oceny w tej grupie. W zintegrowanym programie komputerowym wspierającym analizy i wybór wariantu rozwiązania, do kryteriów niemierzalnych zaliczono komfort użytkowania oraz bezpieczeństwo zaopatrzenia w energię.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



4.2. Algorytm obliczeniowy rankingu rozwiązań wykorzystania OZE w budynkach

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Algorytm rankingu rozwiązań służy do oceny różnych wariantów pokrycia zapotrzebowania budynku w ciepło i energię elektryczną z wykorzystaniem OZE.

Schemat blokowy algorytmu oceny różnych wariantów rozwiązań zaopatrzenia budynku przedstawiono w zał. Nr 4. Algorytm opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 [4.1]. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów.

Ocenę i ranking rozwiązań przeprowadza się w następujących etapach:

- Wybór przez użytkownika programu kryteriów mierzalnych (technicznych, ekonomicznych i ekologicznych) oraz niemierzalnych (komfort użytkownika, bezpieczeństwo dostaw energii, udział OZE w strukturze pokrycia zapotrzebowania energii) dla oceny rozwiązań.
- Określenie wag poszczególnych kryteriów.
- Normalizacja wag kryteriów do wielkości z przedziału $[0,1]$.
- Dokonanie ocen poszczególnych rozwiązań z wykorzystaniem wybranych kryteriów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych w oparciu o rezultaty decyzji.
- Wyznaczenie wartości funkcji preferencji dla wszystkich par ocen wg kryteriów mierzalnych i niemierzalnych.
- Normalizacja wartości funkcji preferencji dla wszystkich par decyzji wg wybranych do analizy kryteriów jak w pkt. 1.
- Wyznaczenie wielokryteriowych indeksów preferencji dla wszystkich par obiektów.
- Wyznaczenie przepływów dominacji (wyjścia, wejścia i netto) dla każdego z rozwiązań.
- Ustalenie rankingu rozwiązań na podstawie przepływów dominacji netto.

Poniżej przedstawiono algorytm obliczeniowy wykorzystany w zintegrowanym programie komputerowym do analiz wykorzystania OZE w budynkach :

Dane wejściowe

- Lista bilansów (wariantów rozwiązań) ze zdefiniowanymi przez użytkownika programu kryteriami oceny
- Lista wag przypisanych poszczególnym kryteriom (określana przez użytkownika)

Przebieg obliczeń

Na początku dokonuje się normalizacji wag kryteriów do wielkości z przedziału $[0,1]$:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



$$w_{ij}^k = \frac{s_{ij}^k}{\sum_{k=1}^m s_{ij}^k} \quad (4.2.1)$$

gdzie:

k – nr kryterium

i – nr użytkownika ($i=1$)

j – nr rozwiązania zaopatrzenia w energię (bilansu)

m - ilość przyjętych kryteriów

w_{ij}^k – obliczona znormalizowana waga k -tego kryterium dla j -tego rozwiązania

s_{ij}^k –waga k -tego kryterium dla j -tego rozwiązania określana przez użytkownika

Następnie wyznacza się wartości funkcji preferencji $p_i^{hk}(j, j')$ dla wszystkich par ocen rezultatów przyjętych rozwiązań. Funkcja preferencji $p_i^{hk}(j, j')$ służy do porównania ocen wykonanych z wykorzystaniem poszczególnych kryteriów. Funkcja preferencji jest różnicą pomiędzy wartościami ocen wg danego kryterium dla wszystkich par rozpatrywanych rozwiązań i ma postać:

$$p_i^{hk}(j, j') = \begin{cases} 0 & \text{gdy } K_{ij}^{hk} - K_{ij'}^{hk} < 0 \\ K_{ij}^{hk} - K_{ij'}^{hk} & \text{gdy } K_{ij}^{hk} - K_{ij'}^{hk} \geq 0 \end{cases} \quad (4.2.2)$$

gdzie:

K – przestrzeń ocen rezultatów decyzji

h – nr rezultatu danej decyzji

k – nr kryterium

i – nr użytkownika ($i=1$)

j – nr rozwiązania zaopatrzenia w energię (bilansu)

j' - nr porównawczego rozwiązania zaopatrzenia w energię (bilansu)

Zakres wartości funkcji preferencji jest zróżnicowany i zależy od rodzaju kryterium, a jej wielkość ma wymiar analogiczny jak kryterium. Wartości funkcji preferencji tworzą macierz kwadratową funkcji preferencji wg danego kryterium o wymiarze n gdzie, n to ilość badanych rozwiązań (większa bądź równa 2, gdyż porównujemy co najmniej 2 rozwiązania).

Normalizowanie funkcji preferencji odbywa się do wielkości z przedziału $[0,1]$. Indywidualny indeks preferencji $H_i^{hk}(j, j')$ jako wynik normalizowania wylicza się dla każdego przyjętego

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

w analizie kryterium dla wszystkich par rozpatrywanych rozwiązań. W przyjętej metodzie wyznaczanie indywidualnych indeksów preferencji wymaga posiłkowania się kryteriami uogólnionymi, które definiowane są za pomocą funkcji preferencji $p_i^{hk}(j, j')$.

Indywidualny indeks preferencji liczony wg uogólnionego kryterium Gaussa ma postać jak we wzorze poniżej:

$$H_i^{hk}(j, j') = 1 - \exp\left\{-\frac{[p_i^{hk}(j, j')]^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (4.2.3)$$

gdzie:

σ - odchylenie standardowe, które można wyliczyć z wartości ocen wg danego kryterium K_{ij}^{hk} dla zbioru n ocen

Zakres wartości indywidualnego indeksu preferencji jest wielkością z przedziału $[0,1]$. Wartości funkcji indywidualnego indeksu preferencji tworzą macierz kwadratową dla danego kryterium o wymiarze n , gdzie n to ilość badanych rozwiązań.

Kolejnym etapem jest wyznaczenie wielokryterialnych indeksów preferencji dla wszystkich par rozwiązań (bilansów).

W tym celu należy określić macierz wielokryteriowych indeksów preferencji $\Pi(j, j')$ dla poszczególnych rozwiązań. Elementy macierzy wylicza się jako średnią ważoną z indywidualnych indeksów preferencji $H_i^{hk}(j, j')$ z wykorzystaniem wag poszczególnych kryteriów w_{ij}^k zgodnie ze wzorem:

$$\Pi(j, j') = \frac{\sum_{k=1}^m w_{ij}^k H_i^{hk}(j, j')}{\sum_{k=1}^m w_{ij}^k} \quad (4.2.4)$$

Dla wyznaczonej macierzy indeksów preferencji $\Pi(j, j')$ określa się przepływy dominacji dla każdego z rozwiązań.

Przepływy dominacji dla poszczególnych wariantów rozwiązań (bilansów) mogą być trojakiemu rodzaju:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



1. dominacji wyjścia – jego wartość informuje o rozmiarach dominacji rozwiązania *j-tego* nad wszystkimi pozostałymi;
2. dominacji wejścia – jego wartość informuje o rozmiarach dominacji wszystkich pozostałych rozwiązań nad rozwiązaniem *j-tego* ;
3. dominacji netto – który stanowi różnicę pomiędzy wyżej zdefiniowanymi wielkościami.

Przepływ dominacji wyjścia dla *j-tego* rozwiązania oblicza się poprzez sumowanie wartości *j-tego* wiersza macierzy indeksów preferencji $\Pi(j, j')$ według poniższej formuły:

$$\Phi^+(j) = \sum_{j'=1}^n \Pi(j, j') \quad (4.2.5)$$

Przepływ dominacji wejścia dla *j-tego* rozwiązania oblicza się poprzez sumowanie wartości *j-tej* kolumny macierzy indeksów preferencji $\Pi(j, j')$ według poniższej formuły:

$$\Phi^-(j) = \sum_{j=1}^n \Pi(j, j') \quad (4.2.6)$$

Przepływ dominacji netto jest różnicą pomiędzy przepływem dominacji wyjścia i przepływem dominacji wejścia:

$$\Phi(j) = \Phi^+(j) - \Phi^-(j) \quad (4.2.7)$$

Wartość przepływu dominacji netto informuje o wielkości i charakterze dominacji danego rozwiązania względem pozostałych *n-1* rozwiązań. Dodatnia wartość przepływu dominacji oznacza, że rozwiązanie *j-te* jest w grupie rozwiązań dominujących. Ujemna jego wartość wskazuje, że rozwiązanie *j-te* jest w grupie rozwiązań zdominowanych. Ranking rozwiązań otrzymujemy porządkując je od największej wartości przepływu dominacji netto do najmniejszej.

Przeprowadzone zgodnie z algorytmem oceny różnych wariantów rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię, pozwalają uzyskać wyniki w postaci listy dominacji dla każdego z wariantów rozwiązania zaopatrzenia w energię (bilansu).

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Bibliografia do rozdz. 4:

- [4.1] Opracowanie modelu użytkownika energii (budynku lub grupy budynków mieszkalnych), uwzględniającego zróżnicowane parametry techniczne, funkcjonalne i ekonomiczne w aspekcie możliwości substytucji konwencjonalnych źródeł energii na OZE. Raport z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3/SP/B/3/76/469/10, GIG Katowice 2011 r.
- [4.2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2008 r. Nr 201, poz. 1240)
- [4.3] Określenie wpływu wykorzystania OZE na ocenę charakterystyki energetycznej budynku i przedsięwzięć termomodernizacyjnych dla poprawy efektywności końcowego wykorzystania energii Raport z realizacji prac Etapu nr 21 zadania badawczego nr 3/SP/B/3/76/469/10, ITI EMAG Katowice 2012 r.



5. Opis architektury i aplikacji analitycznych zintegrowanego programu komputerowego do analiz wykorzystania OZE w budynkach

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



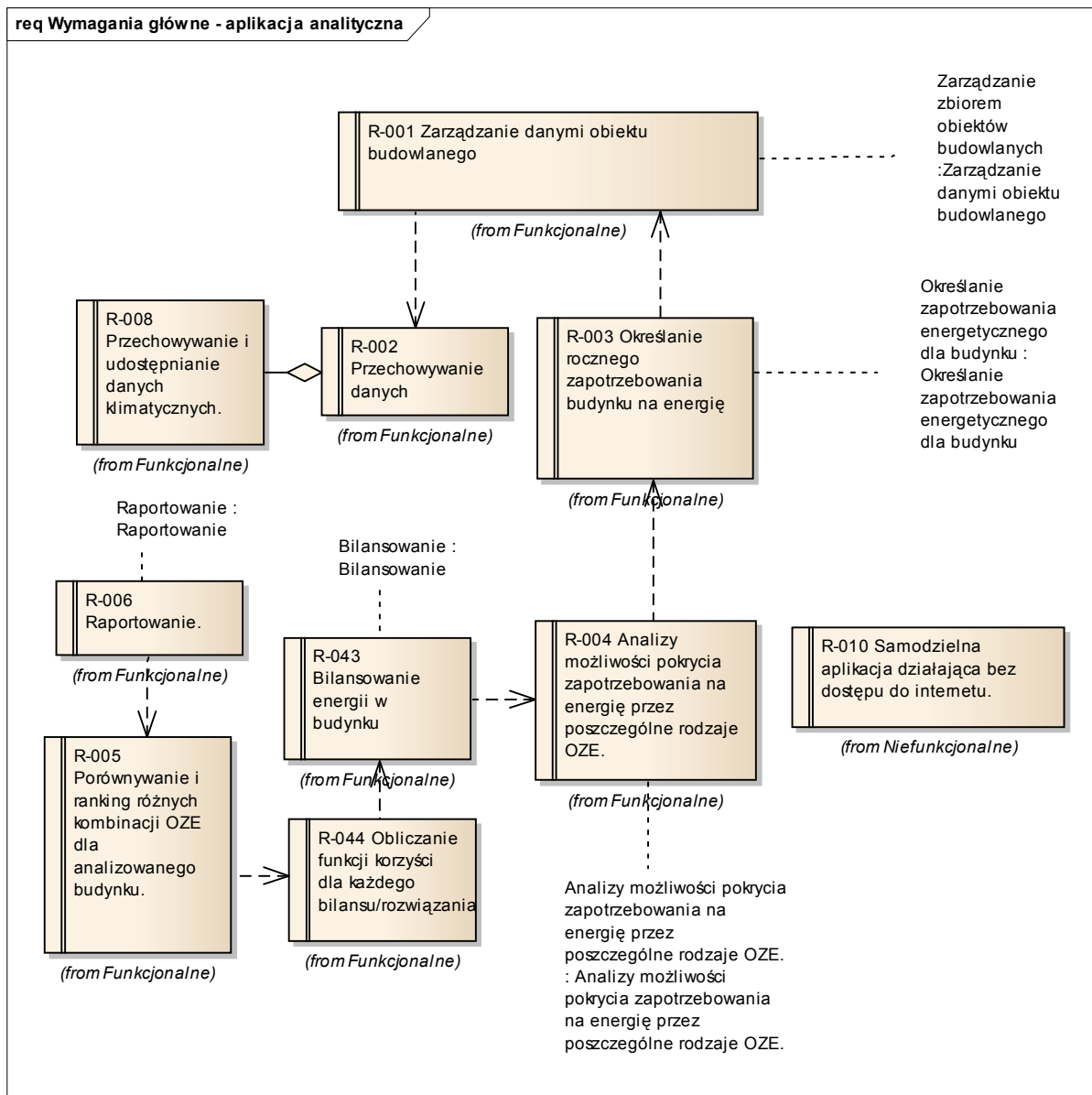
Lista wymagań

Aplikacja „Analizator OZE” służy do wspomagania analizy możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w budynkach mieszkalnych. W wyniku analizy określono następujące wymagania główne stawiane aplikacji, co przedstawiono na rys. 5.1:

- Zarządzanie danymi obiektu – program musi przechowywać podstawowe dane obiektu (rodzaj, opis, adres, współrzędne geograficzne);
- Przechowywanie danych – program musi przechowywać dane na nośniku trwałym (plik);
- Przechowywanie i udostępnianie danych klimatycznych – program musi udostępniać uśrednione dane klimatyczne do użycia w obliczeniach dla każdej stacji meteorologicznej (temperatury, nasłonecznienie, prędkości wiatru, temperatury strefy klimatycznej itp) w kroku godzinowym;
- Określanie rocznego zapotrzebowania budynku na energię – program musi umożliwiać określenie zapotrzebowania budynku na energię w kroku godzinowym;
- Analizy możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię przez poszczególne OZE – program musi umożliwiać zdefiniowanie instalacji odnawialnych źródeł energii oraz obliczać procentowe pokrycie zapotrzebowania energii przez te źródła;
- Bilansowanie energii w budynku – program musi umożliwiać bilansowanie produkcji i potrzeb energii w budynku mieszkalnym w kroku godzinowym;
- Obliczanie funkcji korzyści dla każdego bilansu – program musi zawierać funkcjonalność definiowania i obliczania funkcji korzyści (ekonomicznych, technicznych, ekologicznych, itp.);
- Porównywanie i ranking różnych kombinacji OZE dla analizowanego budynku – program musi udostępniać metodę automatycznego pozycjonowania różnych kombinacji OZE z uwzględnieniem preferencji użytkownika;
- Raportowanie – program musi zawierać funkcjonalność umożliwiającą eksport wyników pracy do programów zewnętrznych w celu dalszej obróbki i drukowania (Word, Excell);
- Samodzielna aplikacja bez dostępu do Internetu – program musi działać poprawnie na komputerze docelowym bez dostępu do Internetu. Platformą docelową jest system MS Windows.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.1. Lista głównych wymagań aplikacji

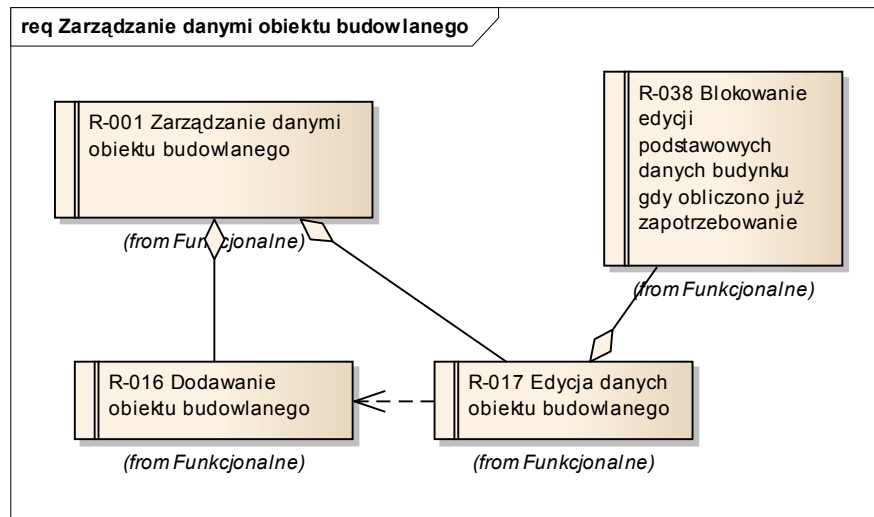
Zarządzanie danymi obiektu budowlanego podlega następującym warunkom (Rys. 5.2.):

- Dodawanie obiektu budowlanego – użytkownik musi mieć możliwość zdefiniowania danych budynku po uruchomieniu aplikacji.
- Edycja danych obiektu budowlanego – użytkownik musi mieć możliwość zmiany błędnie wprowadzonych danych budynku;

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- Blokowanie edycji – program powinien automatycznie blokować edycję danych budynku w chwili gdy obliczone zostały zapotrzebowania na energię.



Rys. 5.2. Lista wymagań dotyczących zarządzania danymi obiektu

Wymaganie dotyczące możliwości obliczania zapotrzebowania budynku na energię w kroku godzinowym musi dotyczyć odrębnie czterech dziedzin (rys. 5.3.):

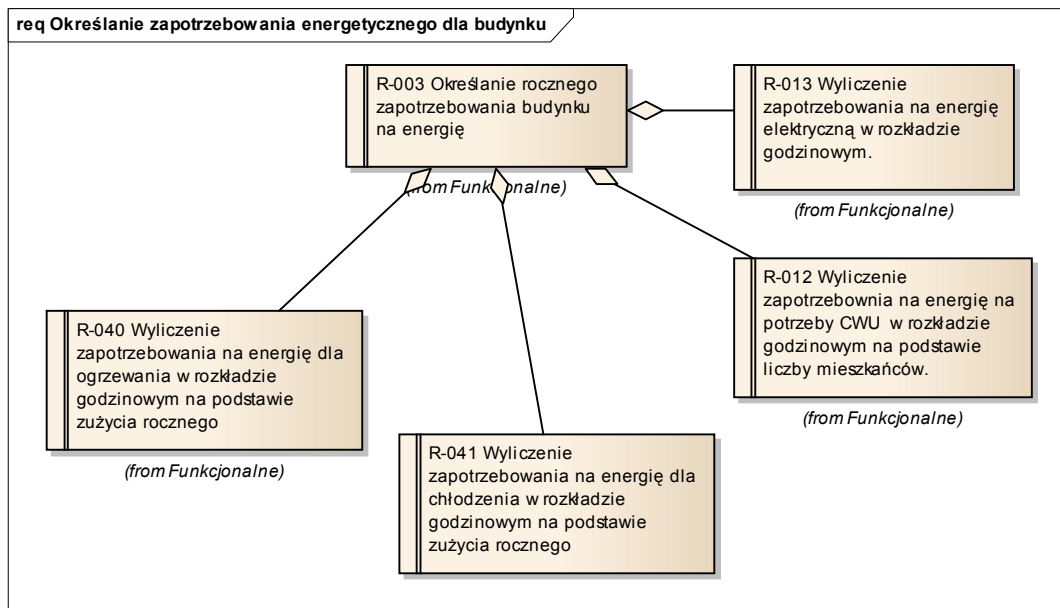
- Dziedzina ogrzewania – zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania;
- Dziedzina ciepłej wody użytkowej – zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania cwu;
- Dziedzina chłodzenia – zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu chłodziarki;
- Dziedzina energii elektrycznej – zapotrzebowanie na energię elektryczną do wszystkich celów oprócz chłodzenia i napełniania źródeł energii.

W przypadku analizy możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię przez poszczególne odnawialne źródła energii należy uwzględnić (rys. 5.4.):

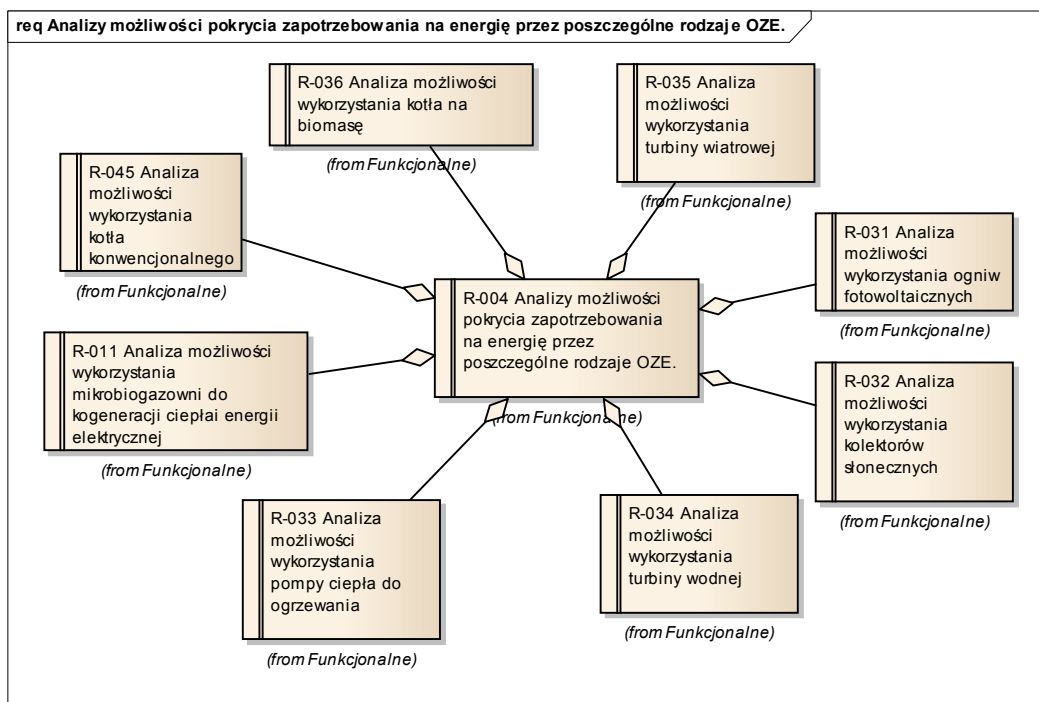
- Małą turbinę wodną;
- Panele fotowoltaiczne;
- Kolektory słoneczne;
- Małą turbinę wiatrową;
- Pompę ciepła;
- Kogenerator CHP;
- Kocioł na biomasę;
- Kocioł konwencjonalny (w celu umożliwienia porównywania rozwiązań wykorzystujących OZE z rozwiązaniami konwencjonalnymi).

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.3. Lista wymagań dotyczących określania zapotrzebowania energetycznego dla budynku

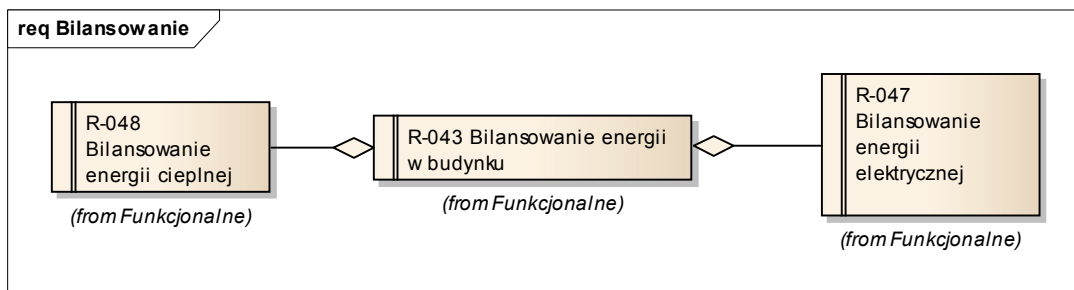


Rys. 5.4. Lista wymagań dotyczących możliwości zaspokojenia potrzeb energetycznych przez odnawialne źródła energii

Etap nr 18:

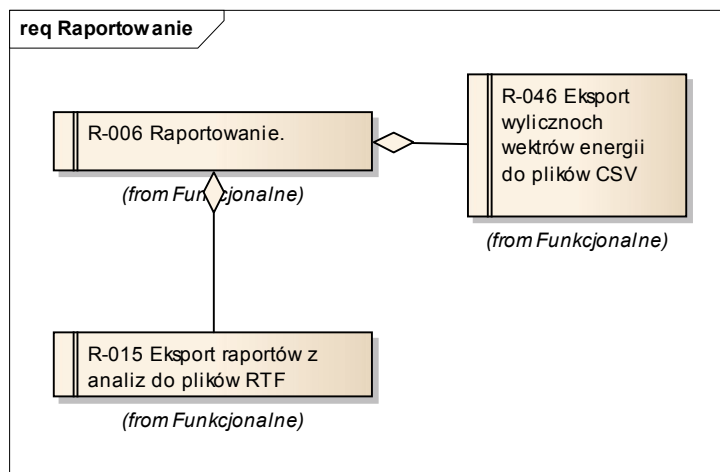
Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Bilansowanie energii odbywa się osobno dla energii elektrycznej i ciepła w kroku godzinowym (rys. 5.5.). Przewidziano się możliwość zamianę nadwyżek energii elektrycznej na ciepło przy użyciu grzałki elektrycznej.



Rys. 5.5. Lista wymagań dotyczących bilansowania

Funkcjonalność raportowania musi obejmować możliwość utworzenia całościowego opisu raportu z przeprowadzonych analiz w formie pliku akceptowanego przez program MS Word. Dodatkowo musi istnieć możliwość eksportu wyników obliczeń (w szczególności rocznych wektorów energii do formatu akceptowanego przez program MS Excell (rys. 5.6.).



Rys. 5.6. Lista wymagań dotyczących raportowania

Architektura

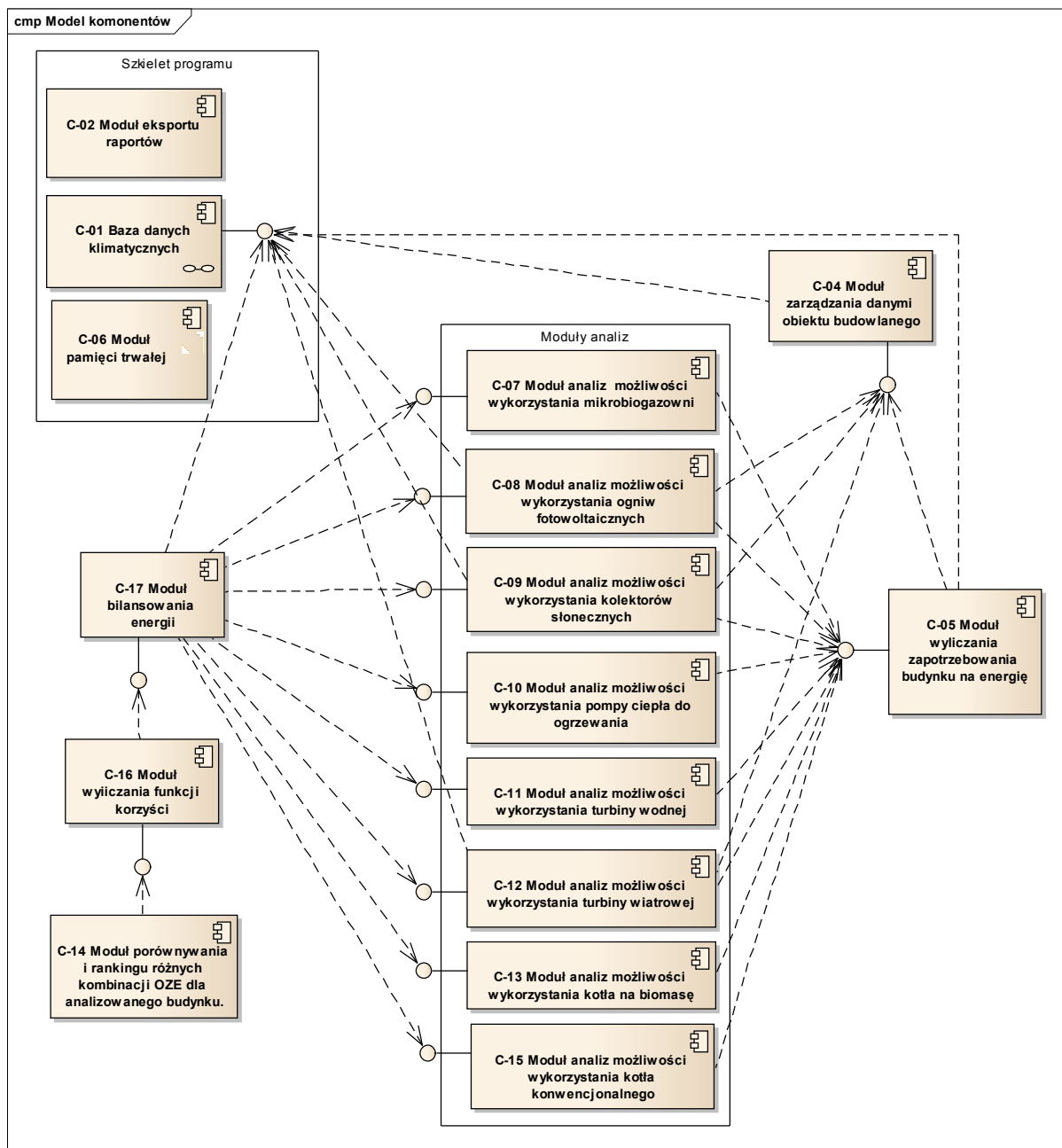
Program „Analizator OZE” jest monolityczną samodzielną aplikacją uruchamianą na komputerze użytkownika. Pomimo monolitycznej architektury zewnętrznej, program posiada

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



sprecyzowaną architekturę wewnętrzną pokazaną na rys. 5.7. Strzałki na rysunku pokazują kierunki zależności pomiędzy modułami. Moduły C-02 i C06 zależą od wszystkich pozostałych (strzałki pominięto ze względu na czytelność).



Rys. 5.7. Modularna architektura aplikacji

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Program opracowany został w formie szkieletu, do którego przypinane są kolejne moduły funkcjonalne. Szkielet programu stanowią:

- moduł eksportu raportów umożliwiający eksportowanie danych do plików akceptowalnych przez programy MS Word i MS Excell;
- baza danych klimatycznych, która przechowuje uśrednione dane klimatyczne dla wszystkich stacji meteo w Polsce (w postaci zasobów wkompiowanych w aplikację) i udostępnia je innym modułom poprzez proste API;
- moduł pamięci trwałej, który jest odpowiedzialny za zapis do i odczyt danych z pliku.

Pozostałe moduły widoczne na rys. 5.7. umieszczone są w szkielecie.

Lista użytych bibliotek

Do stworzenia aplikacji wykorzystano biblioteki programistyczne wyszczególnione w poniższej tabeli. Biblioteki dobrane zostały pod kątem dostarczanej funkcjonalności oraz licencji (preferowano otwarte i „niezaraźliwe” licencje).

Tabela 5.1. Wykorzystane biblioteki programistyczne

Numer	Nazwa	Opis	Licencja
1	Platforma Java Runtime Environment 6	Środowisko uruchomieniowe	http://java.com/license (freeware)
2	SwingX 1.6.1	Biblioteka niestandardowych komponentów graficznych	LGLP 2.1
3	jRTF	Komponent służący do tworzenia plików RTF.	BSD

Narzędzia programistyczne

Wszystkie artefakty wytworzone podczas realizacji projektu w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG w Katowicach dostępne są w repozytorium SVN pod adresem <https://svn.luna.emag.local/oze>. Katalog „trunk” zawiera aktualną wersję rozwojową. Podkatalog „trunk/Doc” zawiera dokumenty wytworzone podczas realizacji projektu.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

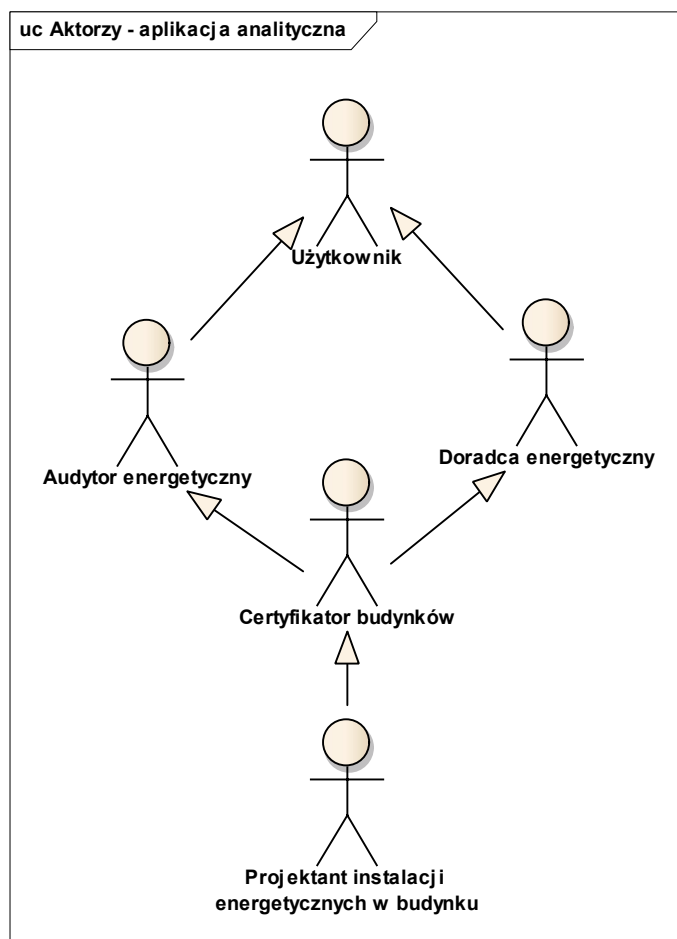


Katalog „trunk/Model” zawiera model analityczny i projektowy aplikacji w narzędziu „Enterprise Architect 9.3”. Katalog „trunk/impl/oze2” zawiera kody źródłowe aplikacji. Aplikacja napisana została w języku programowania Java w wersji 6. Do jej wytworzenia wykorzystano środowisko programistyczne „NetBeans” w wersji 7. Do budowania wykorzystano narzędzie Apache Ant w wersji 1.8.3.

Opis funkcjonalności zintegrowanego programu komputerowego

Model użytkownika programu

Przed przystąpieniem do tworzenia programu określono jego potencjalnych użytkowników (rys. 5.8). Procedura ta umożliwia lepsze sprecyzowanie wymaganej funkcjonalności oraz uniknięcie implementacji funkcjonalności nieprzydatnej z punktu widzenia użytkownika końcowego. Przewiduje się udostępnianie całej funkcjonalności programu wszystkim klasom użytkowników.



Rys. 5.8. Model użytkowników aplikacji

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Na rys. 5.8. przedstawiono zdefiniowane klasy użytkowników:

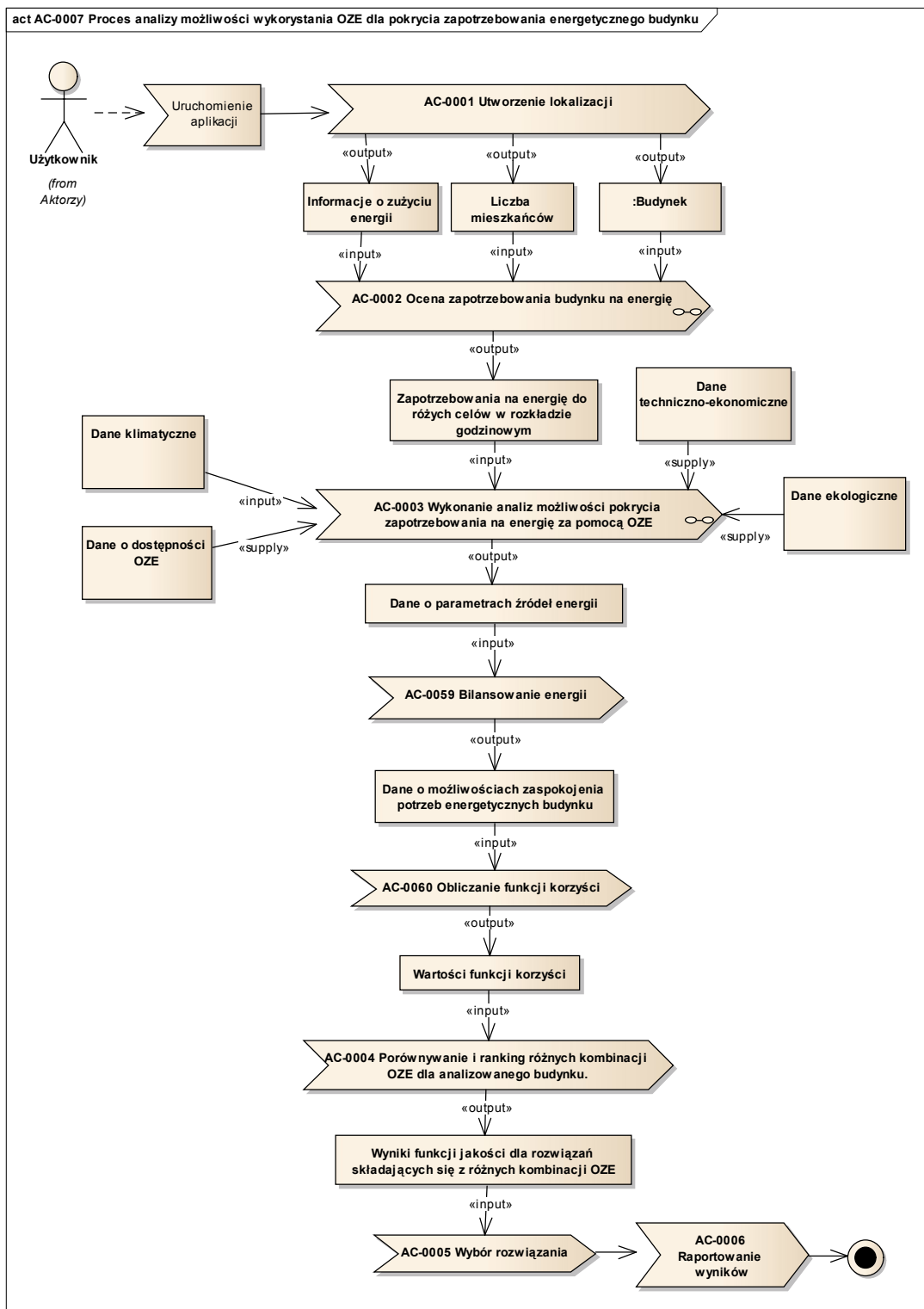
- Audytor energetyczny - opracowuje (bez określonych uprawnień) audyt energetyczny dla przedsięwzięć termomodernizacyjnych lub remontowych w budynku z analizą optymalnego wyboru rozwiązania zgodnie z formą i zakresem wg wymagań legislacyjnych (ustawa termomodernizacyjna i rozporządzenia wykonawcze).
- Doradca energetyczny - pełni funkcje konsultanta w procesie przed inwestycyjnym dla wyboru optymalnych lub pożądaných rozwiązań budowlanych i instalacyjnych, przeprowadza oceny ekspertyzowe systemów energetycznych, wykonuje analizy techniczno-ekonomiczne dla oceny rozwiązań do wyboru przez inwestora, prowadzi konsulting szkoleniowy w zakresie racjonalnej gospodarki energetycznej, przeprowadza dla wskazywanych rozwiązań wstępne oceny oddziaływania na środowisko naturalne.
- Certyfikator budynków - osoba uprawniona do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku i sporządzania świadectwa (certyfikatu) dla istniejącego stanu budowlanego i zastosowanych instalacji energetycznych (zgodnie z obowiązującą krajową metodologią – ustawa Prawo budowlane i jej rozporządzenia wykonawcze).
- Projektant instalacji energetycznych w budynku - wykonuje prace w zakresie identycznym z certyfikatorem budynku. Opracowuje założenia i dane wejściowe do projektu budowlanego w zakresie instalacji energetycznych.

Procesy

W fazie analizy opracowano tak zwany główny przepływ pracy z aplikacją obrazujący kolejne kroki użytkownika od momentu jej uruchomienia, aż do pomyślnego uzyskania wyników końcowych (Rys. 5.9.). Przepływ taki nie uwzględnia błędnych sytuacji ani pomyłek użytkownika, jednakże stanowi rodzaj mapy drogowej podczas tworzenia aplikacji.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.9. Główny przepływ pracy z aplikacją z podziałem na podprocesy

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Projekt przewiduje dziewięć podstawowych kroków prowadzących do uzyskania wyników:

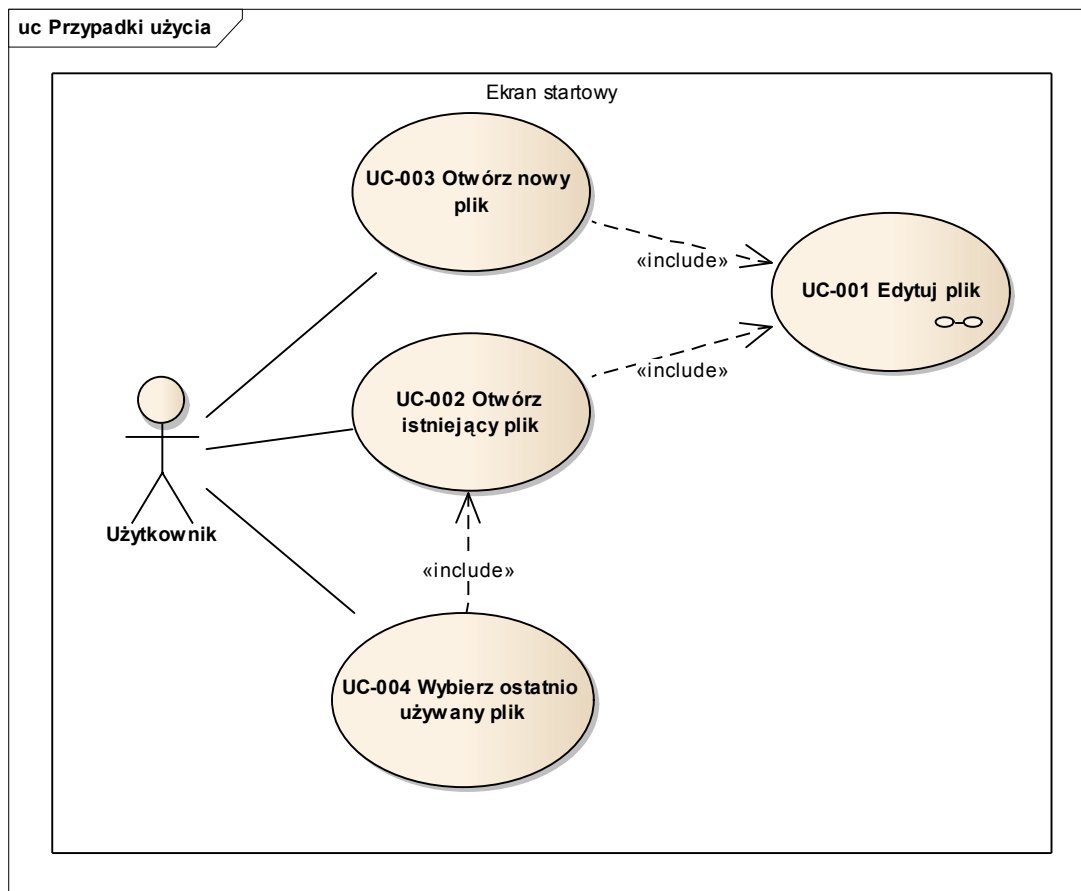
1. Uruchomienie aplikacji – użytkownik musi uruchomić program i wybrać tworzenie nowego pliku;
2. Utworzenie lokalizacji – użytkownik musi zdefiniować podstawowe dane budynku;
3. Ocena zapotrzebowania budynku na energię – użytkownik musi obliczyć godzinowe zapotrzebowania na energię w wybranych dziedzinach (ogrzewanie, chłodzenie, ciepła woda użytkowa, elektryczność);
4. Wykonanie analiz możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię za pomocą OZE – użytkownik musi zdefiniować wybrane źródła energii; program automatycznie wyliczy wektory produkcji energii w kroku godzinowym i przybliżone zaspokojenie potrzeb energetycznych budynku;
5. Bilansowanie energii – użytkownik musi zdefiniować wariant instalacji składającej się ze zdefiniowanych źródeł energii; program automatycznie zbilansuje energię i wyświetli wyniki;
6. Obliczanie funkcji korzyści – użytkownik musi zdefiniować istotne dla niego funkcje korzyści; program automatycznie wyliczy ich wartości;
7. Wybór rozwiązania – użytkownik musi określić istotność kryteriów oceny wariantów (przynajmniej dwóch); program automatycznie uszereguje zdefiniowane warianty pod względem jakości z uwzględnieniem preferencji użytkownika.
8. Wybór rozwiązania - użytkownik może zaakceptować podane najwyżej ocenione rozwiązanie.
9. Raportowanie wyników – użytkownik wybiera opcję „Generuj raport”; program generuje raport do pliku akceptowanego przez MS Word (RTF).

Przypadki użycia

Aplikacja „Analizator OZE” pracuje w dwóch trybach. Po włączeniu prezentowany jest użytkownikowi ekran startowy, w którym dostępne są akcje pokazane na diagramie poniżej (rys. 5.10.). Celem tego ekranu jest zaprezentowanie użytkownikowi listy ostatnio otwartych plików oraz opcji otwarcia pliku z dysku lub utworzenia nowego pliku.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.10. Przypadki użycia opisujące ekran startowy aplikacji

Po wybraniu opcji otwarcia pliku na ekranie startowym prezentowane jest główne okno robocze, które umożliwia dostęp do wszystkich funkcji programu. Na rys. 5.11. przedstawiono diagram przypadków użycia głównego okna roboczego. Przypadek „Zamknij plik” powoduje zamknięcie okna roboczego i powrót do ekranu startowego.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.11. Przypadki użycia opisujące główne okno robocze aplikacji

Model danych

W niniejszym rozdziale przedstawiono model danych aplikacji. Klasy z modelu odzwierciedlają dane wejściowe i wyjściowe algorytmów implementowanych przez program

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



oraz wzajemne powiązanie pomiędzy modułami programu. Oprócz tego wyszczególniono dwa dodatkowe moduły opisane oddzielnie:

- bazę danych meteorologicznych
- oraz
- moduł wektorów energii.

Diagramy klas zamieszczone poniżej wygenerowane zostały metodą inżynierii zwrotnej z kodów źródłowych programu, dlatego też używają angielskiej nomenklatury nazewnicznej zgodnej z nomenklaturą języka Java.

Baza danych meteorologicznych

Baza danych meteorologicznych zawiera wektory uśrednionych danych meteorologicznych dla każdej stacji meteorologicznej w Polsce. Główną klasą jest klasa „*WeatherStation*” (rys. 5.12.)

Klasa „*WeatherStation*” opisuje stację meteorologiczną i posiada następujące pola:

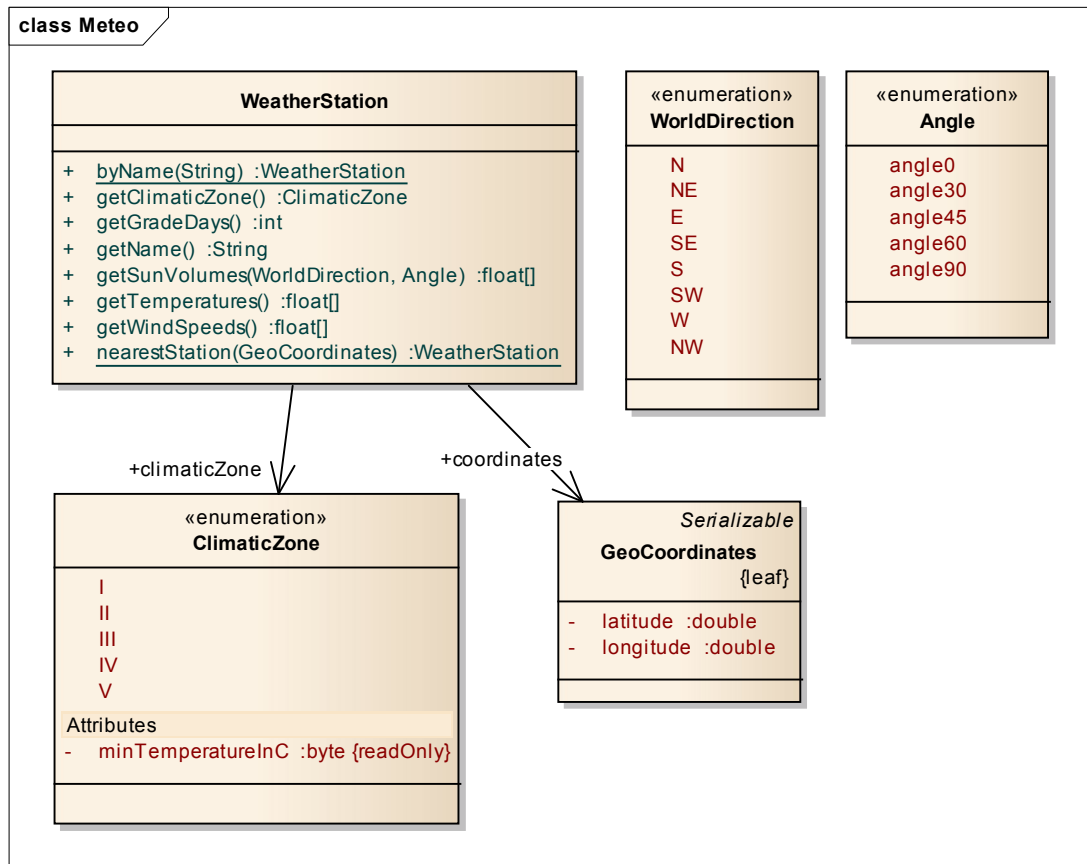
- *coordinaters* – referencja do współrzędnych geograficznych;
- *climaticZone* – referencja do strefy klimatycznej w której znajduje się stacja;
- *name* – nazwa stacji meteo (nazwa lokalizacji np. „Katowice”).

Klasa posiada także metody:

- *byName* – zwraca referencje do stacji meteo o podanej nazwie (statyczna);
- *nearestStation* – zwraca referencję do stacji meteo znajdującej się najbliższej punktu o podanych współrzędnych (statyczna);
- *getClimaticZone* – zwraca referencję do strefy klimatycznej, w której znajduje się stacja;
- *getGradeDasys* – zwraca ilość stopniodni dla danej stacji;
- *getName* – zwraca nazwę stacji;
- *getSunVolumes* – zwraca wektor natężenia światła słonecznego dla podanego kierunku świata i kąta nachylenia zarejestrowanych w danej stacji;
- *getTemperatures* - zwraca wektor temperatur powietrza zarejestrowanych w danej stacji;
- *getWindSpeeds* – zwraca wektor prędkości wiatru zarejestrowanych w danej stacji;

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.12. Struktura klas bazy danych meteorologicznych

Klasa „GeoCoordinates„ przechowuje współrzędne geograficzne w formie {stopnie}. {dziesiętne stopnia}. Dodatkowo zdefiniowano wyliczenia:

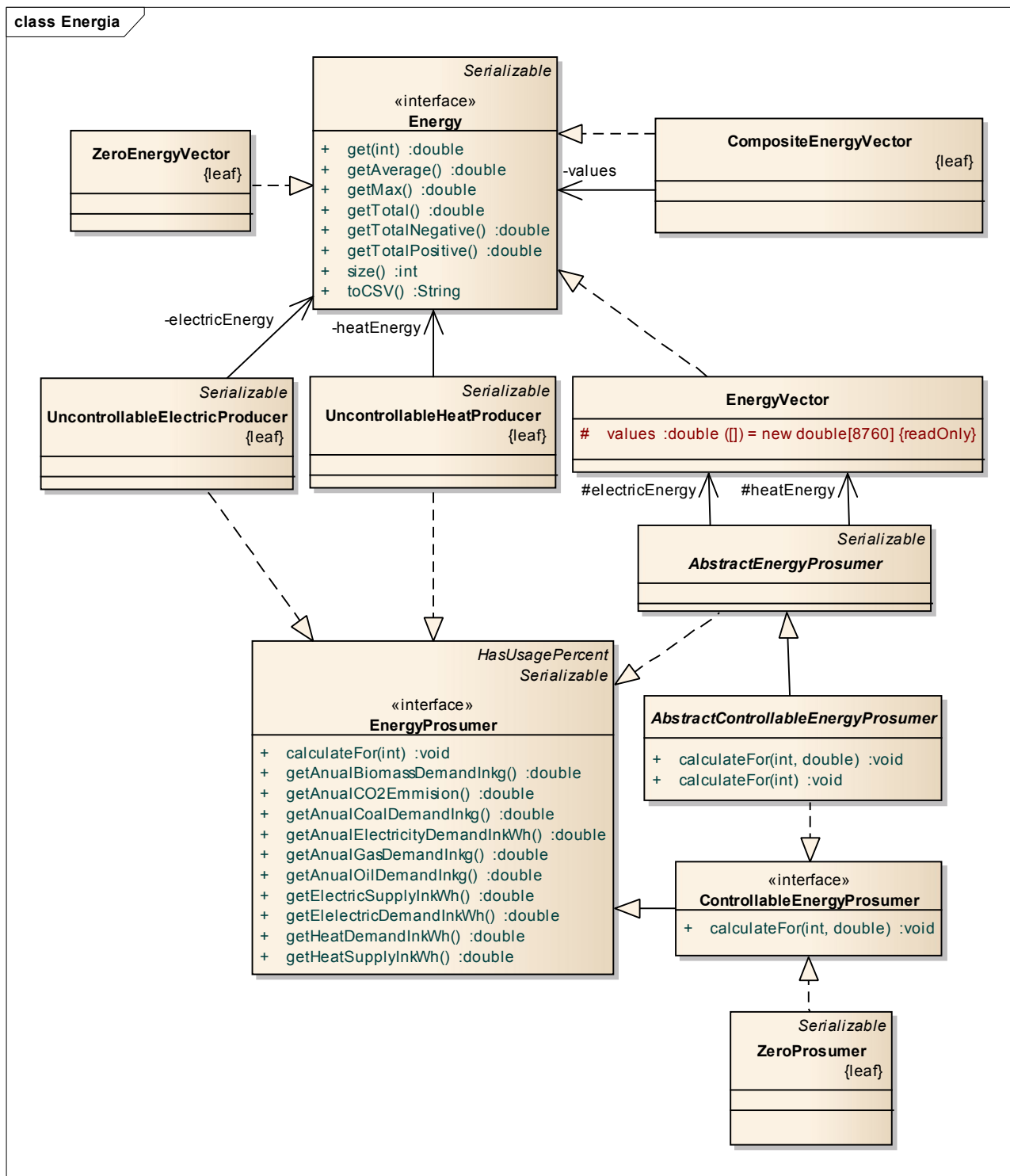
- WorldDirection – kierunki świata;
- Angle – kąty, dla których rejestrowano natężenia światła słonecznego w stopniach (0 = poziom);
- ClimaticZone – strefy klimatyczne w Polsce (każda ma przypisaną średnią temperaturę minimalną);

Moduł wektorów energii

Moduł wektorów energii definiuje abstrakcyjny wektor energii (rys. 5.13.), który upraszcza implementację algorytmów.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.13. Struktura klas modułu wektorów energii

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Interfejs „Energy” definiuje abstrakcyjny wektor energii wraz z metodami:

- get – zwraca wartość energii o podanym indeksie (kWh);
- getAverage – oblicza średnią arytmetyczną wektora (kWh);
- getMax – oblicza wartość maksymalną (kWh);
- getTotal – oblicza sumę wektora (kWh);
- getTotalNegative – oblicza sumę wartości ujemnych (kWh);
- getTotalPositive – oblicza sumę wartości dodatnich (kWh);
- size – rozmiar wektora;
- toCSV – zwraca zawartość wektora w formacie CSV;

Klasa „EnergyVector” jest domyślną implementacją wektora energii (kWh);

Klasa „ZeroEnergyVector” implementuje wektor o zerowych wartościach (kWh);

Klasa „CompositeEnergyVector” implementuje sumę n wektorów (kWh);

Interfejs „EnergyProsumer” definiuje abstrakcyjnego prosumenta energii z metodami:

- calculateFor – oblicza prosumpcję energii w i-tej godzinie;
- getElectricSupplyInkWh – zwraca produkcję energii elektrycznej w i-tej godzinie (kWh);
- getElectricDemandInkWh – zwraca zapotrzebowanie na energię elektryczną w i-tej godzinie (kWh);
- getHeatSupplyInkWh – zwraca produkcję energii cieplnej w i-tej godzinie (kWh);
- getHeatDemandInkWh – zwraca zapotrzebowanie na energię ciepłą w i-tej godzinie (kWh);
- getAnnualCoalDemandInkg – zwraca roczne zapotrzebowanie na węgiel (kg);
- getAnnualOilDemandInkg – zwraca roczne zapotrzebowanie na olej opałowy (kg);
- getAnnualGasDemandInkg – zwraca roczne zapotrzebowanie na gaz (kg);
- getAnnualElectricityDemandInkWh – zwraca roczne zapotrzebowanie na prąd elektryczny (kWh);
- getAnnualBiomassDemandInkg – zwraca roczne zapotrzebowanie na biomasę (kg);
- getAnnualCO2Emission – zwraca roczną emisję CO₂ (kg);

Interfejs „ControllableEnergyProsumer” rozszerza interfejs „EnergyProsumer” o metodę dodatkową wersję metody „calculateFor”, której dodatkowym argumentem jest pożądana produkcja energii.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Klasa „UncontrollableElectricProsumer” implementuje interfejs „EnergyProsumer” zwracając wartości z podanego wektora energii elektrycznej.

Klasa „UncontrollableHeatProsumer” implementuje interfejs „EnergyProsumer” zwracając wartości z podanego wektora energii cieplnej.

Klasa „UncontrollableHeatProsumer” implementuje interfejs „EnergyProsumer” o zerowych możliwościach prosumpcyjnych.

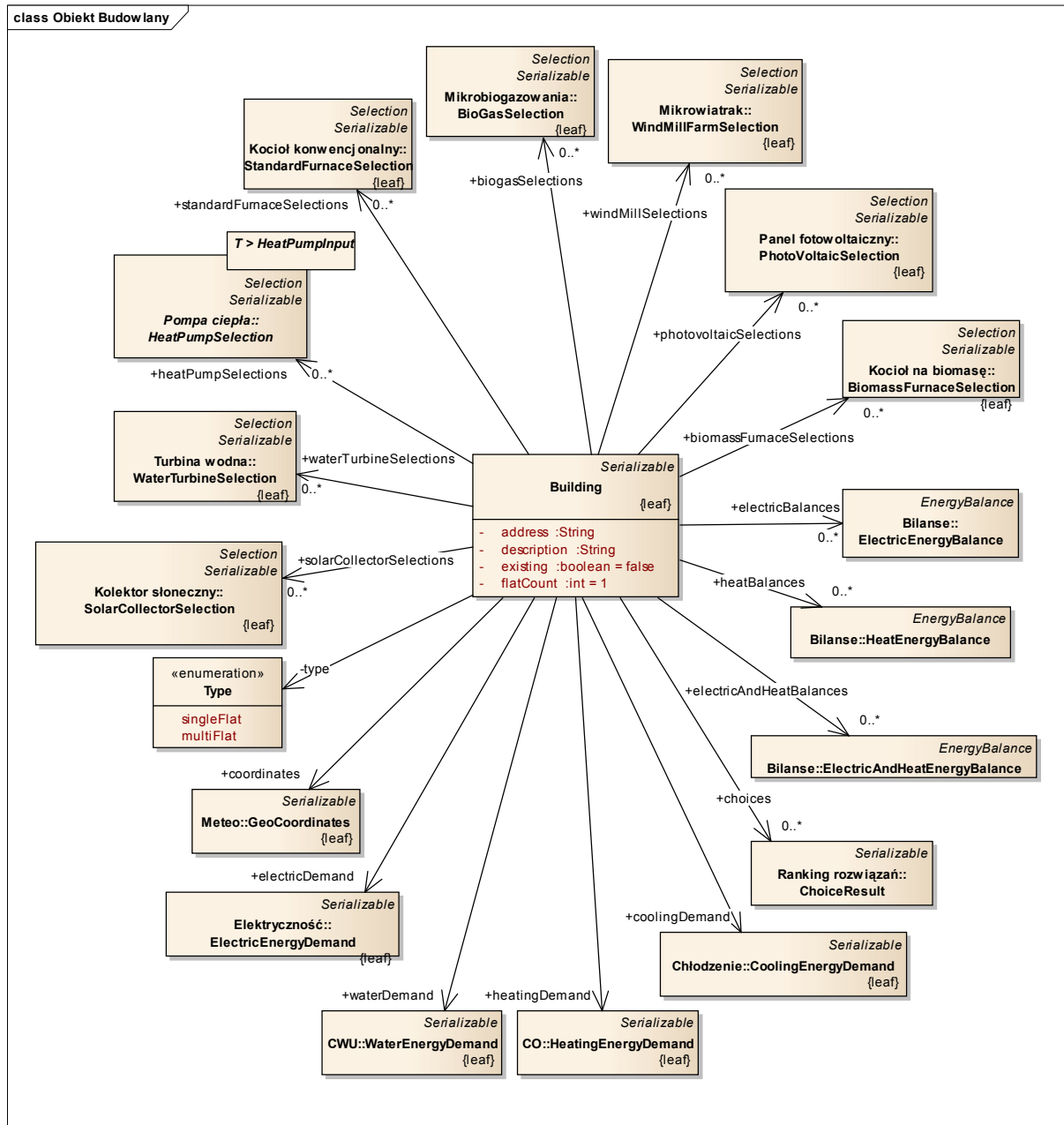
Dane obiektu budowlanego

Obiekt budowlany jest centralnym elementem całego modelu danych programu (rys. 5.14.). Klasa „Building” opisuje budynek mieszkalny o następujących polach:

- type – typ (jedno/wielorodzinny);
- flatCount – ilość mieszkań;
- address – adres;
- description – opis;
- existing – stan (true – istniejący, false – projektowany);
- coordinates – współrzędne geograficzne;
- electricDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- coolingDemand – zapotrzebowanie na energię na potrzeby chłodzenia;
- heatingDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby CO;
- waterDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby CWU;
- windMillSelections – lista doborów farm mikrowiatraków;
- waterTurbineSelections – lista doborów małych elektrowni wodnych;
- biomassFurnaceSelections – lista doborów kotłów na biomasę;
- standardFurnaceSelections – lista doborów kotłów konwencjonalnych;
- photoVoltaicSelections – lista doborów paneli fotowoltaicznych;
- solarCollectorSelections – lista doborów kolektorów słonecznych;
- bioGasSelections – lista doborów kogeneratorów biogazowych;
- heatPumpSelections – lista doborów pomp ciepła;
- electricBalances – lista bilansów energii elektrycznej;
- heatBalances – lista bilansów energii cieplnej;
- electricAndHeatBalances – lista wspólnych bilansów energii elektrycznej i cieplnej;
- choices – lista rankingów alternatywnych rozwiązań.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.14. Struktura klas danych obiektu budowlanego

Zapotrzebowanie na energię

Moduł zapotrzebowania na energię zawiera cztery algorytmy zapotrzebowania dla czterech dziedzin użytkowania energii (CO, CWU, chłodzenie, energia elektryczna). Model klas dla

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



każdej dziedzinie zapotrzebowania energii został uformowany w ten sam sposób wokół dwóch konceptów:

- zbiór danych wejściowych algorytmu (klasa z przyrostkiem „Input”);
- zbiór danych wyjściowych algorytmu (klasa z przyrostkiem „Demand”).

➤ Zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania i wentylacji budynków (CO)

Na rys. 5.15. przedstawiono diagram klas opisujących zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania i wentylacji budynków.

Klasa „HeatingEnergyDemand” opisuje zapotrzebowanie na energię na potrzeby ogrzewania i wentylacji budynków i definiuje pola:

- energy – wektor zapotrzebowań na energię w każdej godzinie w roku;
- input – zbiór danych wejściowych algorytmu.

Klasa „HeatingInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu definiując pola:

- standardSeason – licznik dla sezonu standardowego (tak/nie);
- boundaryTemperatureInC – temperatura graniczna (°C);
- calculatePowerSurplus – wylicznik nadwyżki mocy (tak/nie);
- demandData – zbiór danych wejściowych do obliczenia zapotrzebowania rocznego (klasa „AnnualDemand” lub „EKCOInput”);
- rooms – lista ogrzewanych pomieszczeń.

Klasa „AnnualDemand” opisuje zbiór danych wejściowych do obliczenia zapotrzebowania rocznego energii wg normy definiując pola:

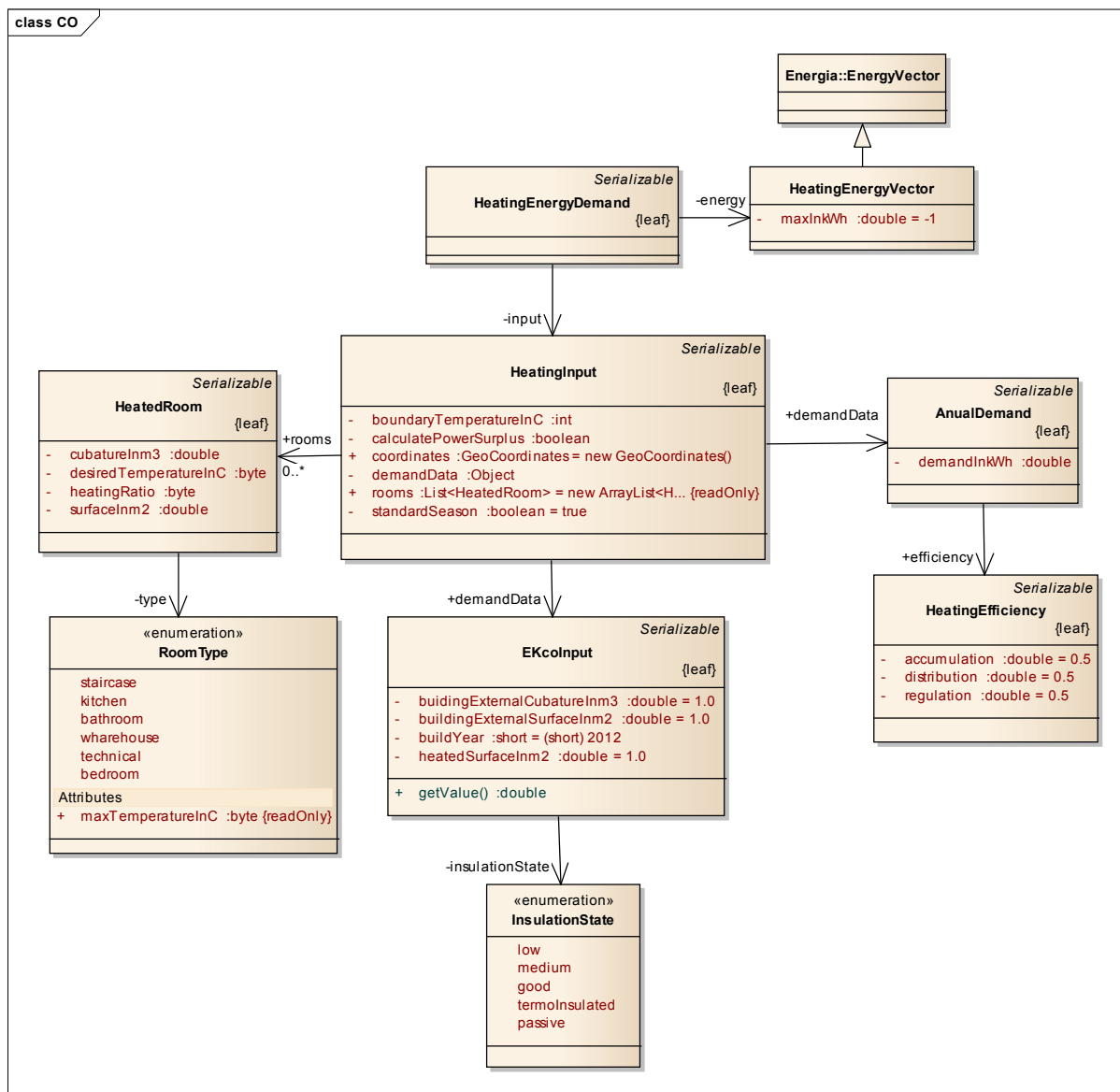
- demandInkWh – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową (kWh);
- efficiency – sprawność instalacji cieplnej (akumulacji, dystrybucji, regulacji).

Klasa „EKCOInput” opisuje zbiór danych wejściowych do obliczenia zapotrzebowania rocznego energii metodą wskaźnika EK_{CO} definiując pola:

- buildingExternalCubatureInm3 – kubatura zewnętrzna budynku (m^3);
- buildingExternalSurfaceInm2 – powierzchnia zewnętrzna budynku (m^2);
- heatedSurfaceInm2 – powierzchnia ogrzewana (m^2);
- buildYear – rok budowy;
- insulationState – stan izolacji (niski, średni, wysoki, termoizolowany, pasywny).

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.15. Struktura klas modułu zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania i wentylacji budynków

Klasa „HeatedRoom” opisuje ogrzewane pomieszczenie definiując pola:

- cubatureInm3 – kubatura pomieszczenia (m³);
- desiredTemperatureInC – pożądana temperatura (°C);
- heatingRatio – współczynnik nagrzewania;
- surfaceInm2 – powierzchnia pomieszczenia (m²);

Etap nr 18:

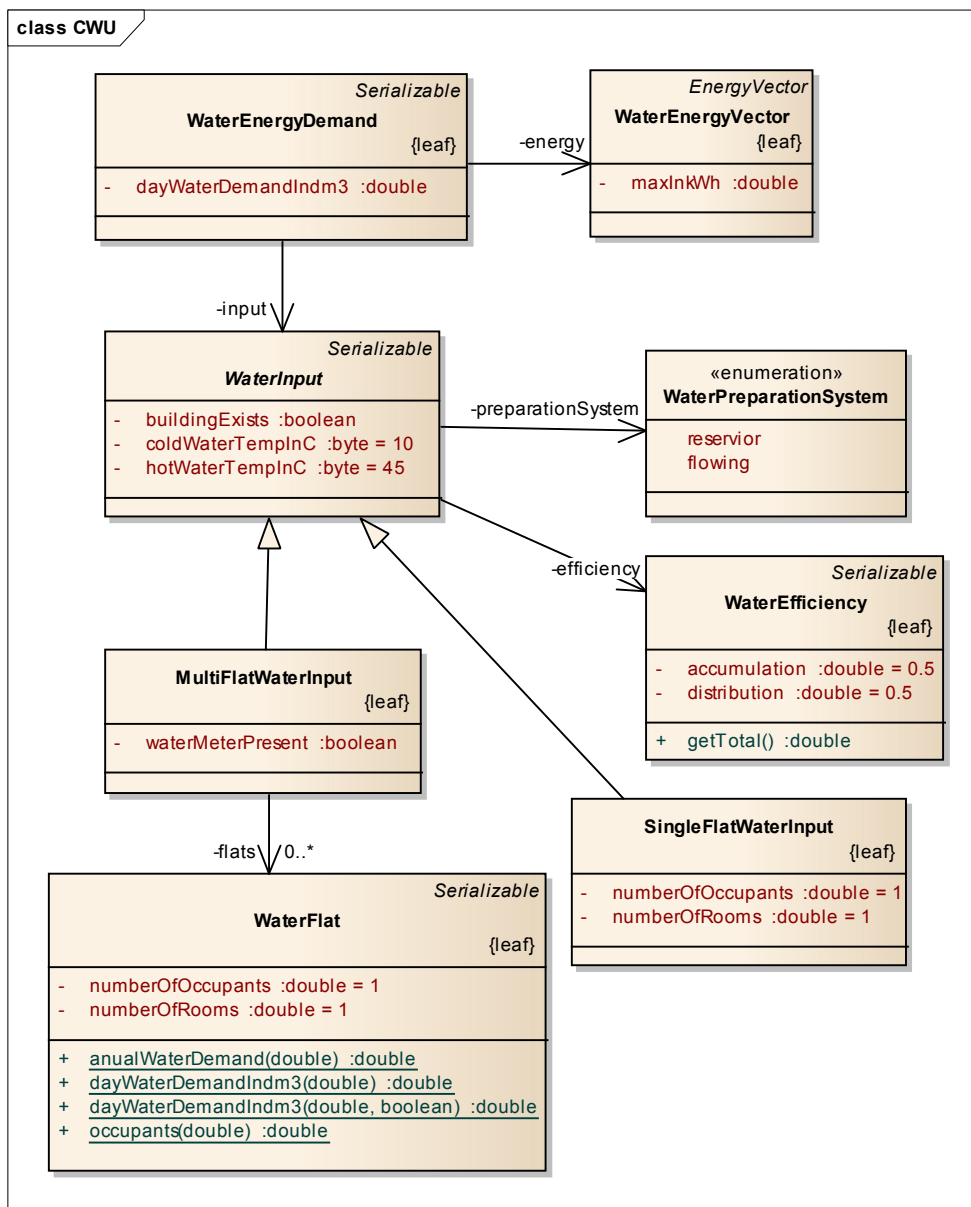
Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- type – rodzaj (klatka schodowa, kuchnia, łazienka, sypialnia, magazyn, pomieszczenie techniczne).

➤ Zapotrzebowanie na energię do celów przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU)

Na rys. 5.16. przedstawiono diagram klas opisujących zapotrzebowanie na energię do celów przygotowania ciepłej wody użytkowej.



Rys. 5.16. Struktura klas modułu zapotrzebowania na energię do celów przygotowania ciepłej wody użytkowej

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Klasa „HeatingEnergyDemand” opisuje zapotrzebowanie na energię do celów przygotowania ciepłej wody użytkowej i definiuje pola:

- energy – wektor zapotrzebowań na energię w każdej godzinie w roku;
- input – zbiór danych wejściowych algorytmu;
- dayWaterDemandIndm3 – dzienne zapotrzebowanie na wodę (w litrach).

Klasa „WaterInput” opisuje abstrakcyjny zbiór danych wejściowych algorytmu definiując pola:

- buildingExists – stan budynku (true – istniejący, false – projektowany);
- coldWaterTempInC – temperatura zimnej wody (°C);
- hotWaterInC – temperatura ciepłej wody (°C);
- preparationSystem – sposób przygotowania ciepłej wody (zasobnikowy, przepływowy);
- efficiency – sprawność instalacji wodnej (akumulacji i dystrybucji).

Klasa „SingleWaterInput” jest konkretną implementacją klasy „WaterInput” dla budynku jednorodzinnego i definiuje pola:

- numberOfOccupants – liczba mieszkańców;
- numberOfRooms – liczba pomieszczeń.

Klasa „MultiWaterInput” jest konkretną implementacją klasy „WaterInput” dla budynku jednorodzinnego i definiuje pola:

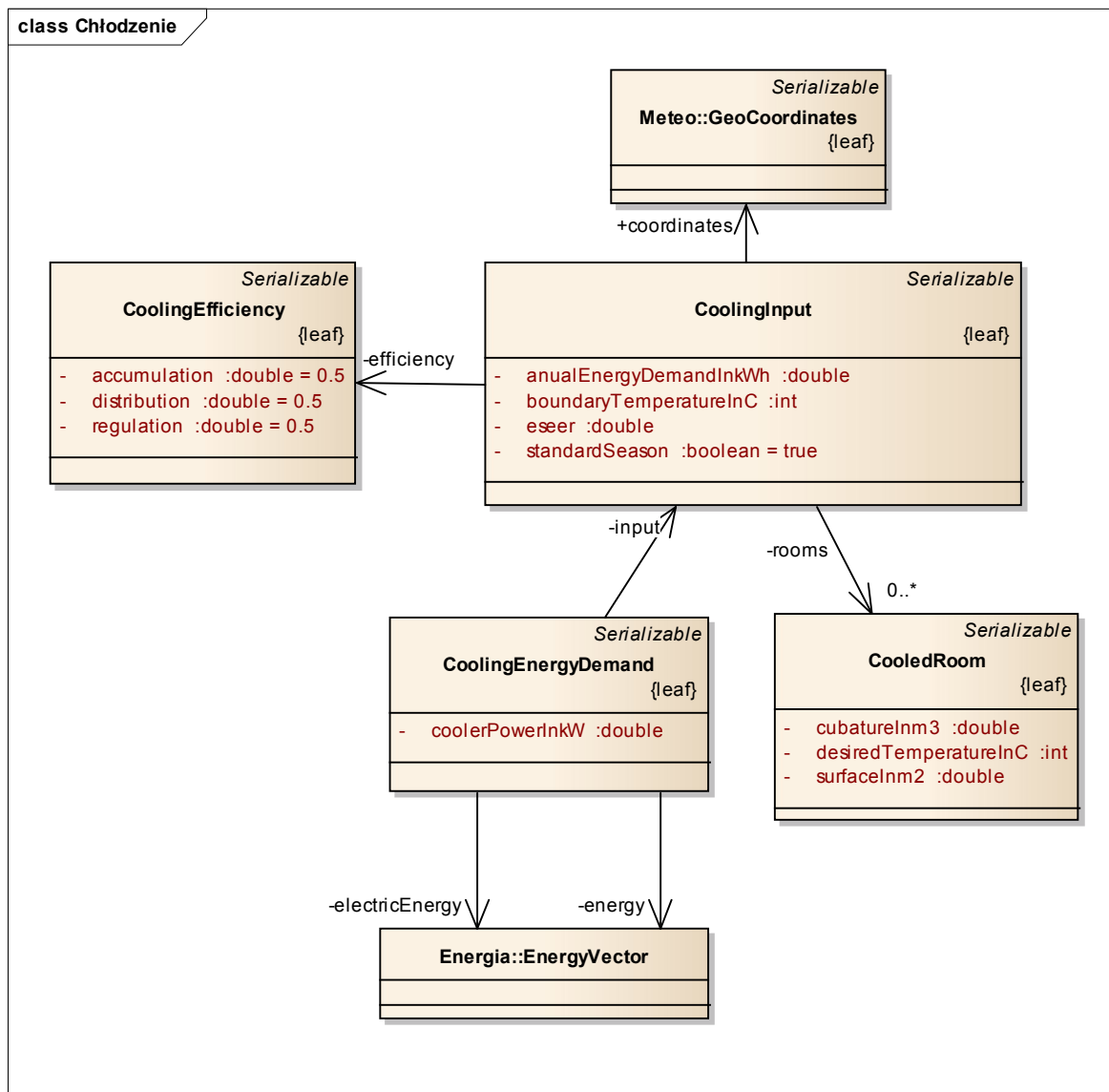
- waterMeterPresent – czy licznik zainstalowano licznik wody (true – tak, false – ryczałt);
- flats – lista mieszkań;

Klasa „WaterFlat” opisuje mieszkanie pod kątem zużycia wody definiując pola:

- numberOfOccupants – liczba mieszkańców;
- numberOfRooms – liczba pomieszczeń.

➤ Zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia

Na rys. 5.17. przedstawiono diagram klas opisujących zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia.



Rys. 5.17. Struktura klas modułu zapotrzebowania na energię elektryczną do celów chłodzenia

Klasa „CoolingEnergyDemand” opisuje zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia definiując pola:

- coolerPowerInkW – wymagana moc chłodziarki (kW);
- energy – wektor zapotrzebowania na energię chłodu (kWh);
- electricEnergy – wektor zapotrzebowania na energię elektryczną (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Klasa „CoolingInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu wyznaczania zapotrzebowania na energię elektryczną do celów chłodzenia:

- standardSeason – czy chłodzalnica pracuje tylko w sezonie letnim (tak/nie);
- coordinates – współrzędne geograficzne;
- annualEnergyDemandInkWh – roczne zapotrzebowanie na energię chłodzenia (kWh),
- boundaryTemperatureInC – temperatura graniczna (°C);
- rooms – lista chłodzenie pomieszczeń;
- eseer – wskaźnik ESEER zależny do rodzaju klimatyzatora;
- efficiency – sprawność instalacji chłodzenia.

Klasa „CoolingEfficiency” opisuje sprawność instalacji chłodzenia definiując pola:

- distribution – sprawność dystrybucji;
- regulation – sprawność regulacji;
- accumulation – sprawność akumulacji.

➤ Zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów innych niż chłodzenie

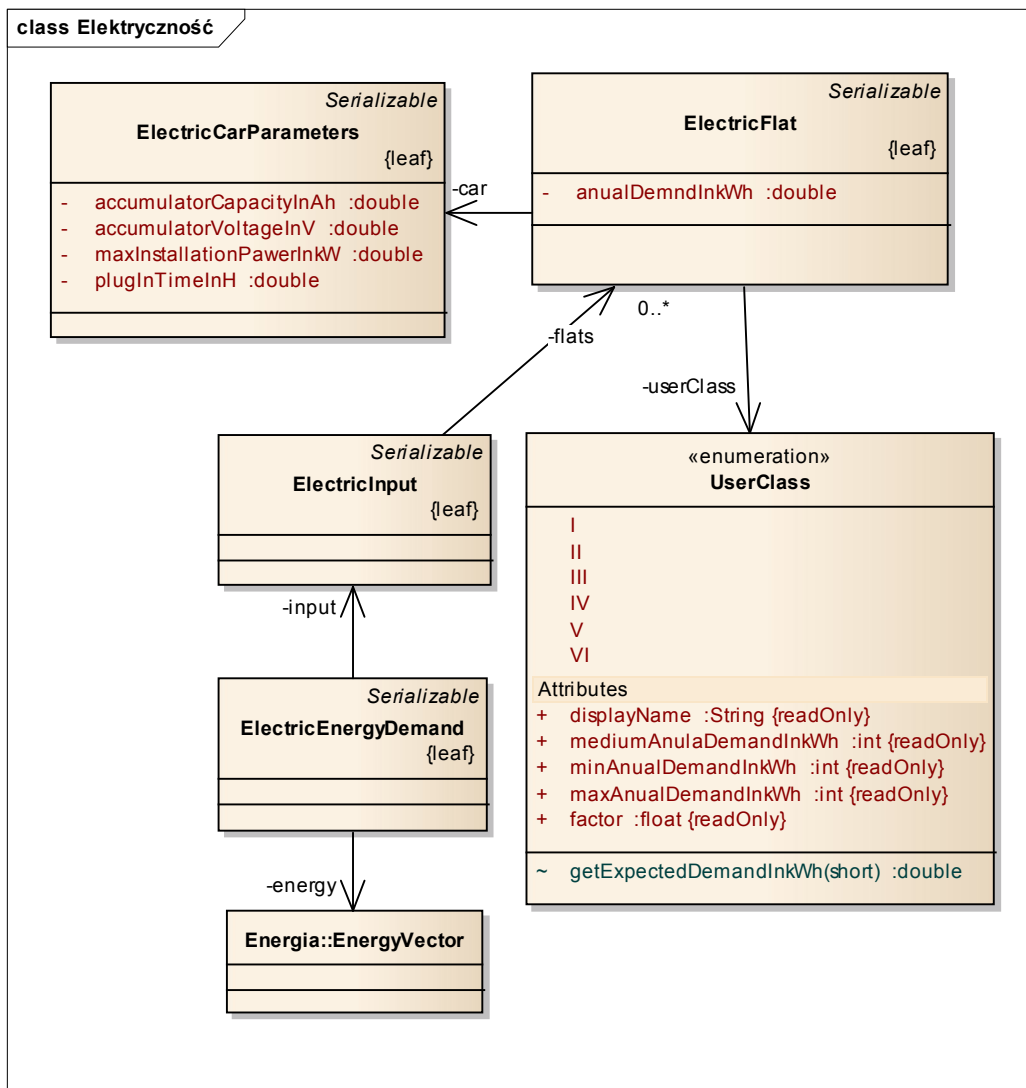
Na rys. 5.18. przedstawiono diagram klas opisujących zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów innych niż chłodzenie.

Klasa „ElectricEnergyDemand” opisuje zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów innych niż chłodzenie definiując pola:

- energy – wektor zapotrzebowania na energię (kWh);
- input - zbiór danych wejściowych algorytmu wyznaczającego zapotrzebowanie.

Klasa „ElectricInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu wyznaczania zapotrzebowania definiując pole:

- flats – lista mieszkań.



Rys. 5.18. Struktura klas modułu zapotrzebowania na energię elektryczną

Klasa „ElectricFlat” opisuje mieszkanie definiując pola:

- anualDemandInkWh – zapotrzebowanie roczne na energię elektryczną (kWh);
- usecClass – klasa użytkownika energii elektrycznej (G11, G12 , ...);
- car – parametry samochodu elektrycznego;

Klasa „ElectricCarParameters” opisuje parametry samochodu elektrycznego definiując pola:

- acumulatorCapacityInAh – pojemność akumulatora (Ah);
- acumulatorVoltageInV – napięcie znamionowe akumulatora (V);

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- maxInstallationPowerInkW – maksymalna moc instalacji elektrycznej w budynku (kW);
- plugInTimeInh – godzina podłączania samochodu do stacji ładującej (1-23).

Źródła energii

➤ Kocioł konwencjonalny

Na rys. 5.19. przedstawiono diagram klas opisujących dobór kotła konwencjonalnego.

Klasa „StandardFurnaceSelection” opisuje dobór kotła konwencjonalnego definiując pola:

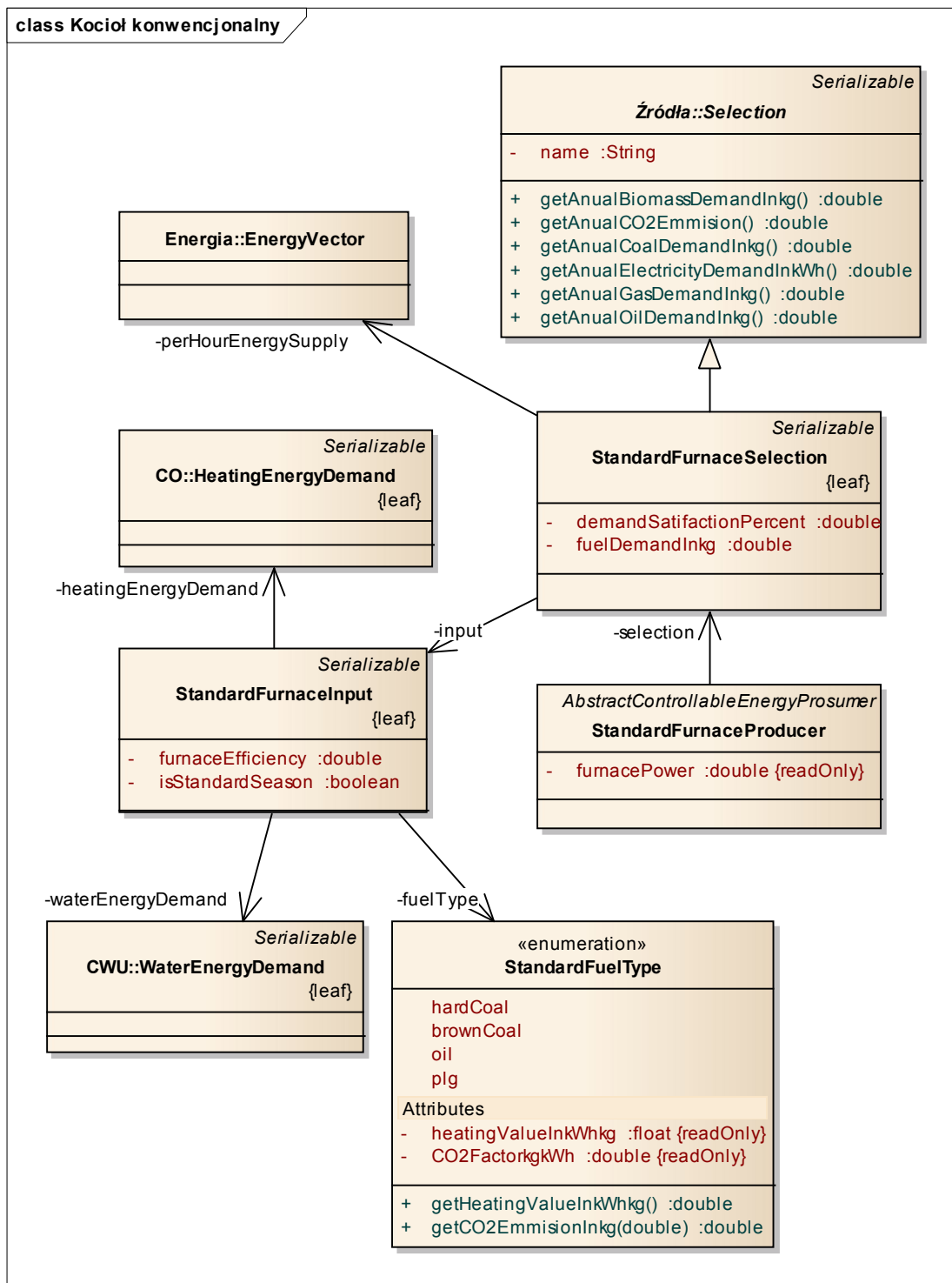
- fuelDemandInkg – roczne zapotrzebowanie paliwo (kg);
- demandSatisfactionPercent – stopień zaspokojenia potrzeb energetycznych (%);
- perHourEnergySupply – wektor produkcji energii cieplnej (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych.

Klasa „StandardFurnaceInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu doboru kotła konwencjonalnego definiując pola:

- waterEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną co celów CWU;
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną do celów CO;
- fuelType – rodzaj paliwa (węgiel kamienny, węgiel brunatny, olej opałowy, LPG);
- furnaceEfficiency – sprawność kotła (%);
- isStandardSeason – czy kocioł włączony tylko w sezonie grzewczym (tak/nie).

Klasa „StandardFurnaceProducer” opisuje prosumenta w postaci kotła konwencjonalnego definiując pola:

- furnacePower – moc kotła (kW);
- selection – dobór kotła.



Rys. 5.19. Struktura klas modułu doboru kotła konwencjonalnego

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Klasa „BiomassFurnaceInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu doboru kotła na biomasę definiując pola:

- waterEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną co celów CWU;
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną do celów CO;
- biomassType – rodzaj biomasy (słoma, drewno, itp.);
- furnaceEfficiency – sprawność kotła (%);
- isStandardSeason – czy kocioł włączony tylko w sezonie grzewczym (tak/nie);
- waterPercentInkg – zawartość wody w paliwie (kg/kg).

Klasa „BiomassFurnaceProducer” opisuje prosumenta w postaci kotła na biomasę definiując pola:

- furnacePower – moc kotła (kW);
- selection – dobór kotła.

➤ Kolektor słoneczny

Na rys. 5.21. przedstawiono diagram klas opisujących dobór kolektorów słonecznych.

Klasa „SolarCollectorSelection” opisuje dobór kolektorów słonecznych definiując pola:

- collectorCount – liczba paneli;
- COAccumulatorVolumeIndm3 – wymagana pojemność zasobnika ciepłą na potrzeby CO (dm³);
- CWUAccumulatorVolumeIndm3 – wymagana pojemność zasobnika na potrzeby CWU (dm³);
- heatingEnergySupply – wektor produkcji energii na potrzeby CO (kWh);
- waterEnergySupply – wektor produkcji energii na potrzeby CWU (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych algorytmu doboru.

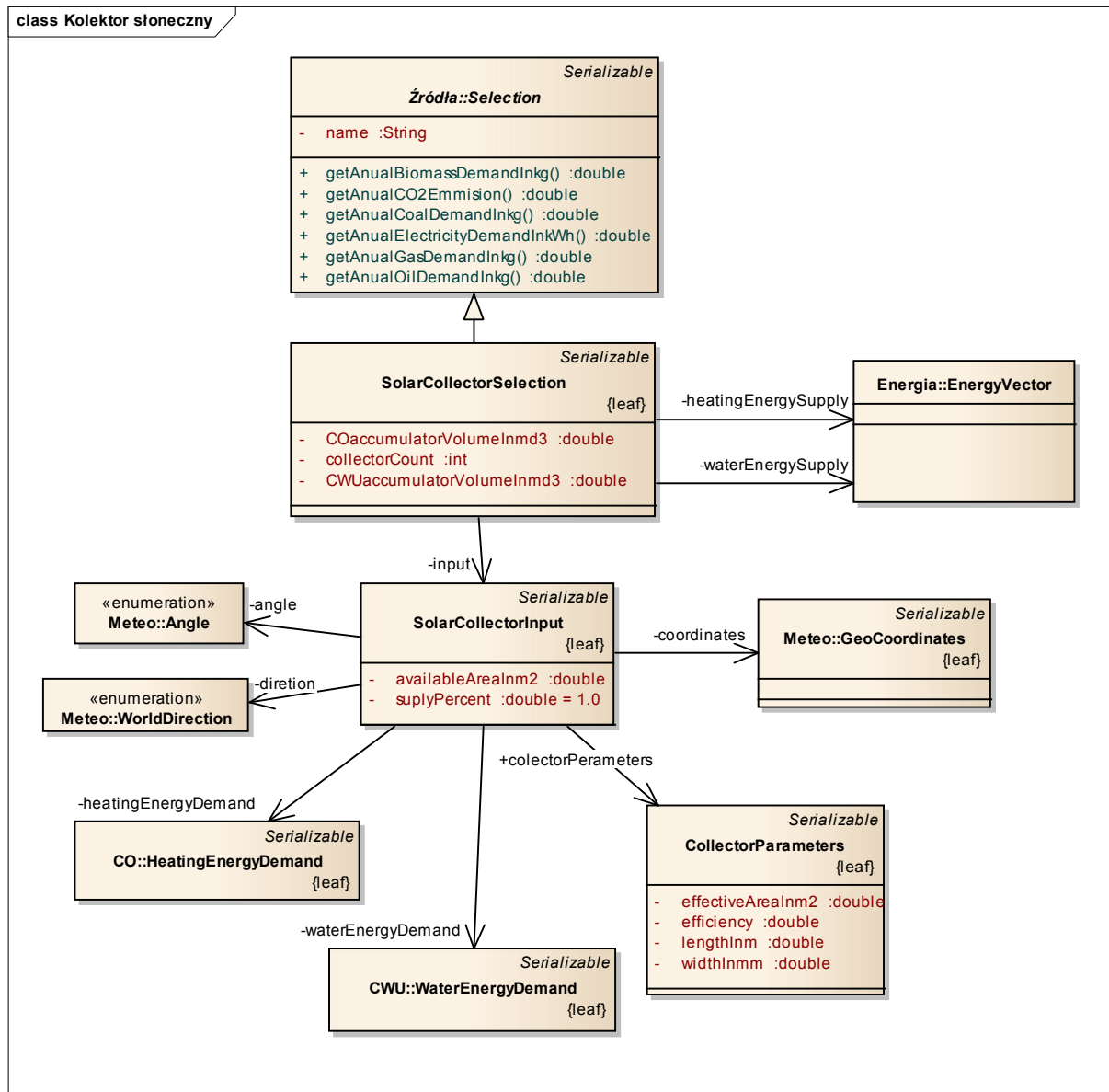
Klasa „SolarCollectorInput” zbiór danych wejściowych algorytmu doboru definiując pola:

- availableAreaInm2 – powierzchnia dachu dostępna pod panele (m²);
- coordinates – współrzędne geograficzne budynku;
- supplyPercent – stopień zaspokojenia potrzeb energetycznych (%);
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby CO (kWh);
- waterEnergyDemand” – zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby CWU (kWh);

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- angle – kąt nachylenia paneli w stopniach (0 = poziomy);
- direction – kierunek świata;
- collectorParameters – parametry techniczne kolektora.



Rys. 5.21. Struktura klas modułu doboru kolektora słonecznego

Klasa „PanelParameters” opisuje techniczne parametry panelu definiując pola:

- lengthInm – długość panelu (m);

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- widthInm – szerokość panelu (m);
- powerInW – moc panelu (W).

➤ Kogenerator CHP

Na rys. 5.22. przedstawiono diagram klas opisujących dobór kogeneratora CHP do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu.

Klasa „CHPSelection” opisuje dobór kogeneratora CHP definiując pola:

- electricSatisfaction – stopień zaspokojenia potrzeb na energię elektryczną (%);
- heatSatisfaction – stopień zaspokojenia potrzeb na energię cieplną (%);
- electricEnergy – wektor produkcji energii elektrycznej (kWh);
- heatEnergy – wektor produkcji energii cieplnej (kWh);
- requiredFuelEnergy – wektor wymaganej energii chemicznej w paliwie (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych do algorytmu doboru.

Klasa „CHPInput” zbiór danych wejściowych algorytmu doboru kogeneratora gazowego definiując klasy:

- calculateCoolingEnergy – uwzględnij zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia (tak/nie);
- calculateCWUEnergy – uwzględnij zapotrzebowanie na energię cieplną do celów CWU;
- calculateElectricEnergy – uwzględnij zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- calculateHeatingEnergy – uwzględnij zapotrzebowanie na energię do celów CO;
- fuelType – rodzaj paliwa (biogaz, LPG, olej napędowy);
- controlType - sposób sterowania (stała moc, nadążanie za ciepłem, nadążanie za prądem);
- generatorParameters – parametry kogeneratora;
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną co celów CO;
- electricEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- coolingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia;
- waterEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną do celów CWU.

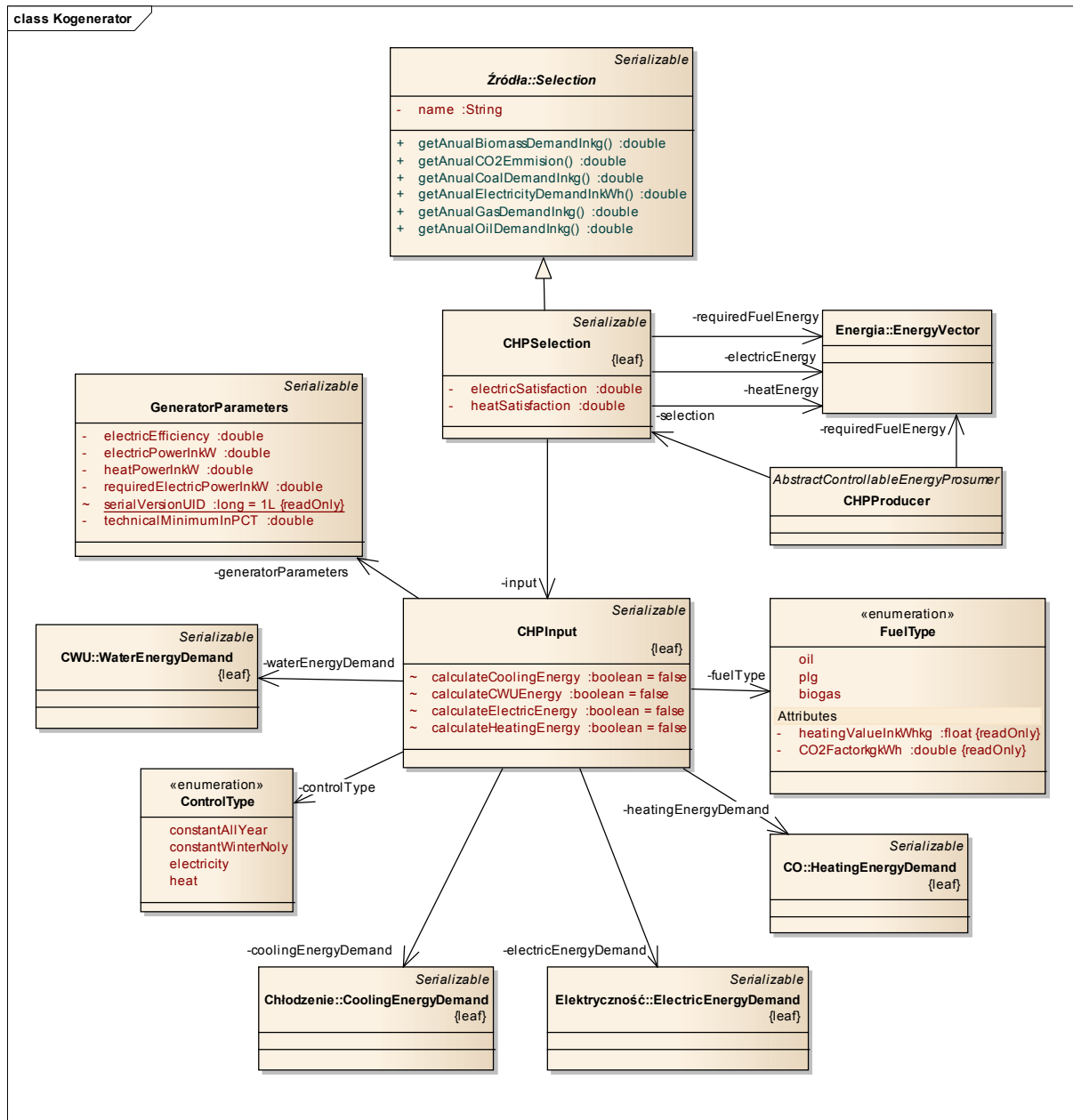
Klasa „GeneratorParameters” opisuje parametry kogeneratora definiując następujące pola:

- electricPowerInkW – moc elektryczna (kW);
- technicalMinimumInPCT – minimum techniczne (%);
- requiredElektricPowerInkW – wymagana moc elektryczna (kW);

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- heatPowerInkW – moc cieplna (kW);
- electricEfficiency – sprawność elektryczna (%).



Rys. 5.22. Struktura klas modułu doboru kogeneratora CHP

Klasa „CHPProducer” opisuje prosumenta energii w postaci kogeneratora definiując pola:

- selection – dobór kogeneratora;

Etap nr 18:

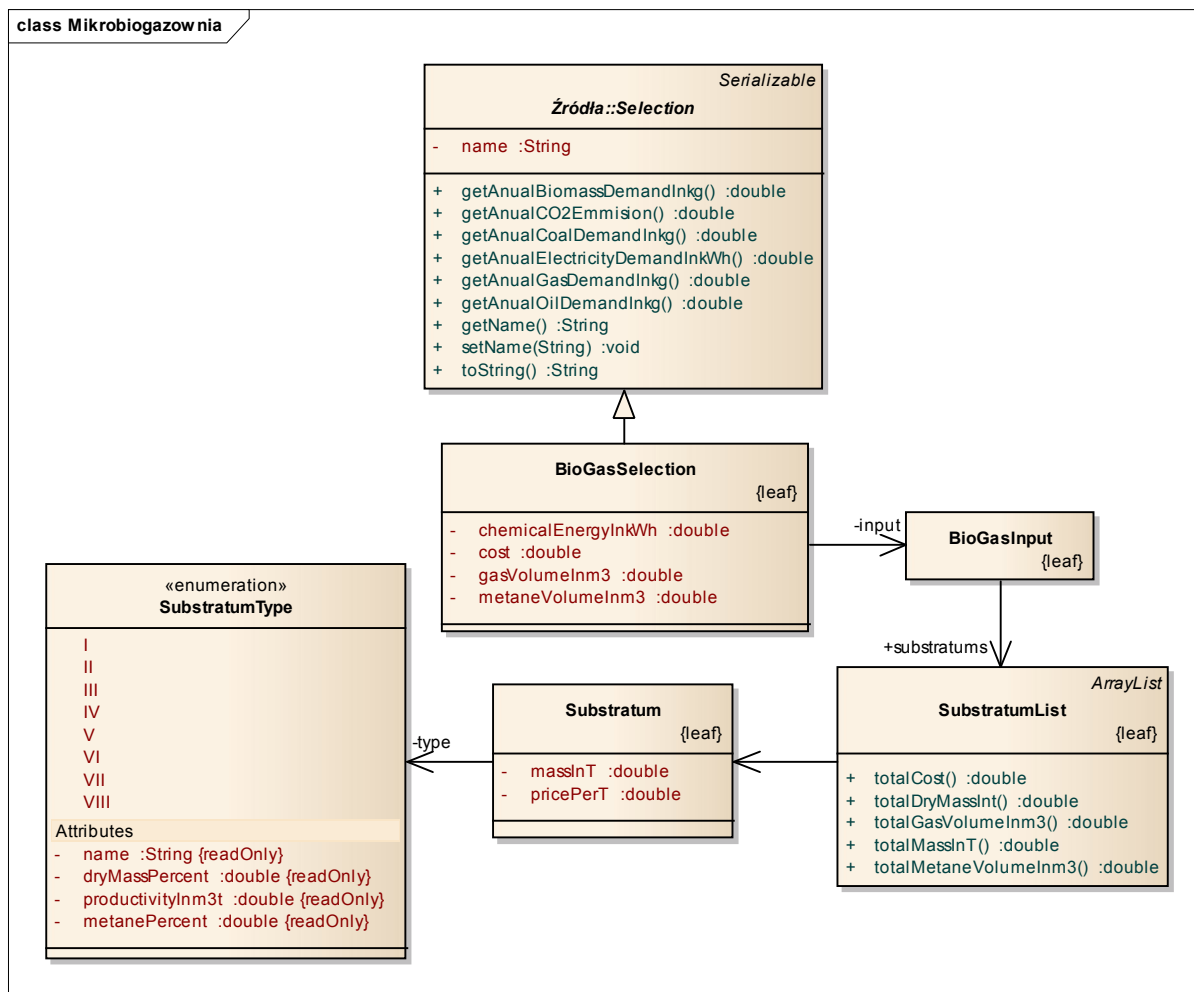
Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- requiredFuelEnergy – wektor wymaganej energii chemicznej paliwa (kWh).

➤ Mikrobiogazownia

Na rys. 5.23. przedstawiono diagram klas doboru mikrobiogazowni i obliczania ilości wytworzonego biogazu.



Rys. 5.23. Struktura klas modułu mikrobiogazowni

Klasa „BioGasSelection” opisuje wynik doboru mikrobiogazowni i definiuje pola:

- chemicalEnergyInkWh – ilość energii chemicznej w wytworzonym biogazie (kWh);
- cost – koszt substratów użytych do wytworzenia biogazu (PLN);
- gasVolumeInm3 – objętość uzyskanego gazu (m³);

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- methaneVolumeInm3 – objętość uzyskanego metanu (m^3);
- input – zbiór danych wejściowych algorytmu doboru mikrobiogazowni.

Klasa „BioGasInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu doboru mikrobiogazowni i definiuje pole:

- substratums – lista substratów użytych do produkcji biogazu.

Klasa „SubstratumList” opisuje listę substratów definiując pomocnicze metody:

- totalCost – całkowity koszt wszystkich substratów;
- totalDryMassInt – całkowity udział suchej masy w substratach (tony);
- totalGasVolumeInt – całkowita objętość biogazu uzyskana z substratów (m^3);
- totalMassInt – całkowita masa substratów (tony);
- totalMethaneVolumeInt – całkowita objętość metanu uzyskana z substratów (m^3).

Klasa „Substratum” opisuje pojedynczy substrat definiując pola:

- massInT – masa substratu (tony);
- pricePerT – cena substratu (PLN/tona);
- type – rodzaj substratu.

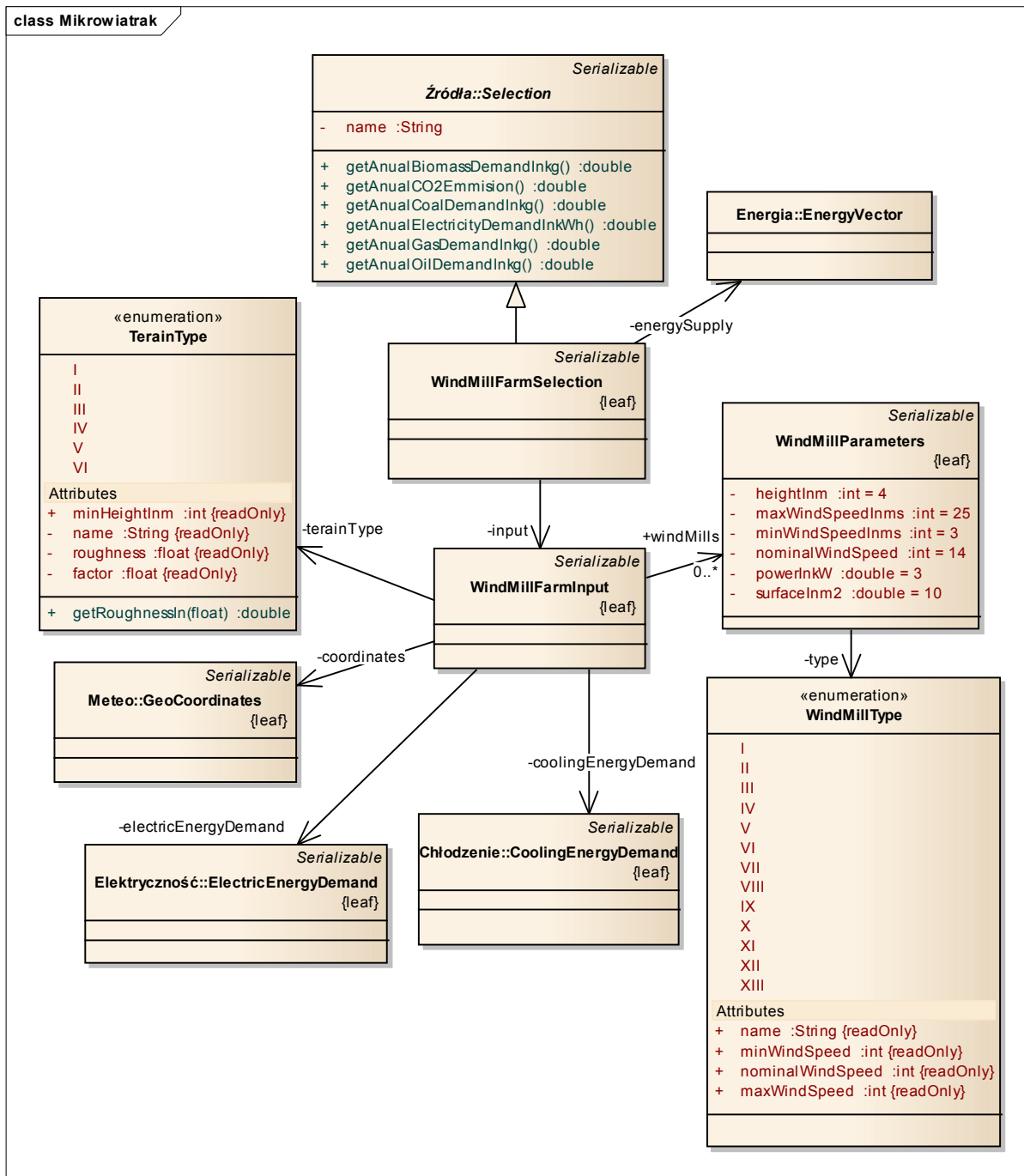
Wyliczenie „SubstratumType” definiuje osiem rodzajów substratów wykorzystywanych w mikrobiogazowniach wraz z ich właściwościami:

- name – nazwa;
- dryMassPercent – procentowy udział suchej masy (%);
- productivityInm3t – wydajność produkcji biogazu (m^3 /tona);
- methanePercent – procentowy udział metanu w wytworzonym biogazie (%).



➤ Mikrowiatrak

Na rys. 5.24 przedstawiono diagram klas opisujących dobór farmy mikrowiatraków.



Rys. 5.24. Struktura klas modułu doboru mikrowiatraka

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Klasa „WindMillFarmSelection” opisuje dobór farmy mikrowiatraków definiując pola:

- energySupply – wektor produkcji energii elektrycznej (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych algorytmu doboru.

Klasa „WindMillFarmInput” opisuje zbiór danych wejściowych do algorytmu doboru farmy mikrofiatraków definiując pola:

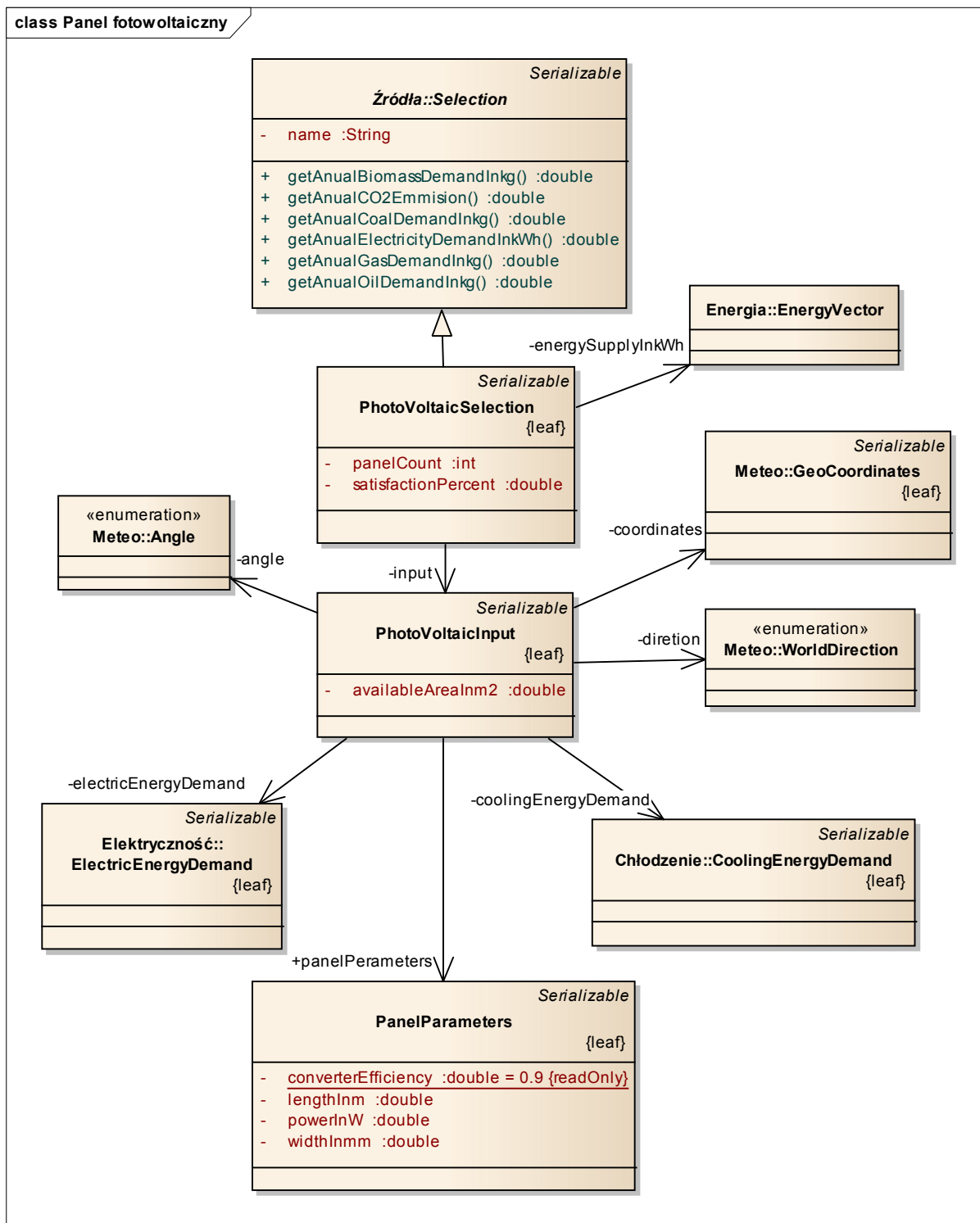
- terrainType – rodzaj terenu;
- coordinates – współrzędne geograficzne;
- electricEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- coolingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną na potrzeby chłodzenia;
- windMills – lista wiatraków.

Klasa „WindMillParameters” opisuje parametry mikrowiatraka definiując pola:

- heightInm – wysokość wiatraka,
- minWindSpeedInms – minimalna prędkość wiatru (m/s);
- nominalWindSpeed – nominalna prędkość wiatru (m/s);
- maxWindSpeedInms – maksymalna prędkość wiatru (m/s);
- surfaceInm2 – powierzchnia wiatraka (m²);
- powerInkW – moc wiatraka (kW);
- type – typ wiatraka.

➤ Panel fotowoltaiczny

Na rys. 5.25. przedstawiono diagram klas opisujących dobór paneli fotowoltaicznych.



Rys. 5.25. Struktura klas modułu doboru panelu fotowoltaicznego

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Klasa „PhotoVoltaicSelection” opisuje dobór paneli fotowoltaicznych definiując pola:

- panelCount – liczba paneli;
- satisfactionPercent – stopień zaspokojenia potrzeba energetycznych (%);
- energySupplyInkWh – wektor produkcji energii elektrycznej (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych algorytmu doboru.

Klasa „PhotoVoltaicInput” zbiór danych wejściowych algorytmu doboru definiując pola:

- availableAreaInm2 – powierzchnia dachu dostępna pod panele (m²);
- coordinates – współrzędne geograficzne budynku;
- electricEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną (kWh);
- coolingEnergyDemand” – zapotrzebowanie na energię elektryczną na potrzeby chłodzenia (kWh);
- angle – kąt nachylenia paneli w stopniach (0 = poziom);
- direction – kierunek świata;
- panelParameters – parametry techniczne panelu.

Klasa „PanelParameters” opisuje techniczne parametry panelu definiując pola:

- lengthInm – długość panelu (m);
- widthInm – szerokość panelu (m);
- powerInW – moc panelu (W).

➤ Pompa ciepła

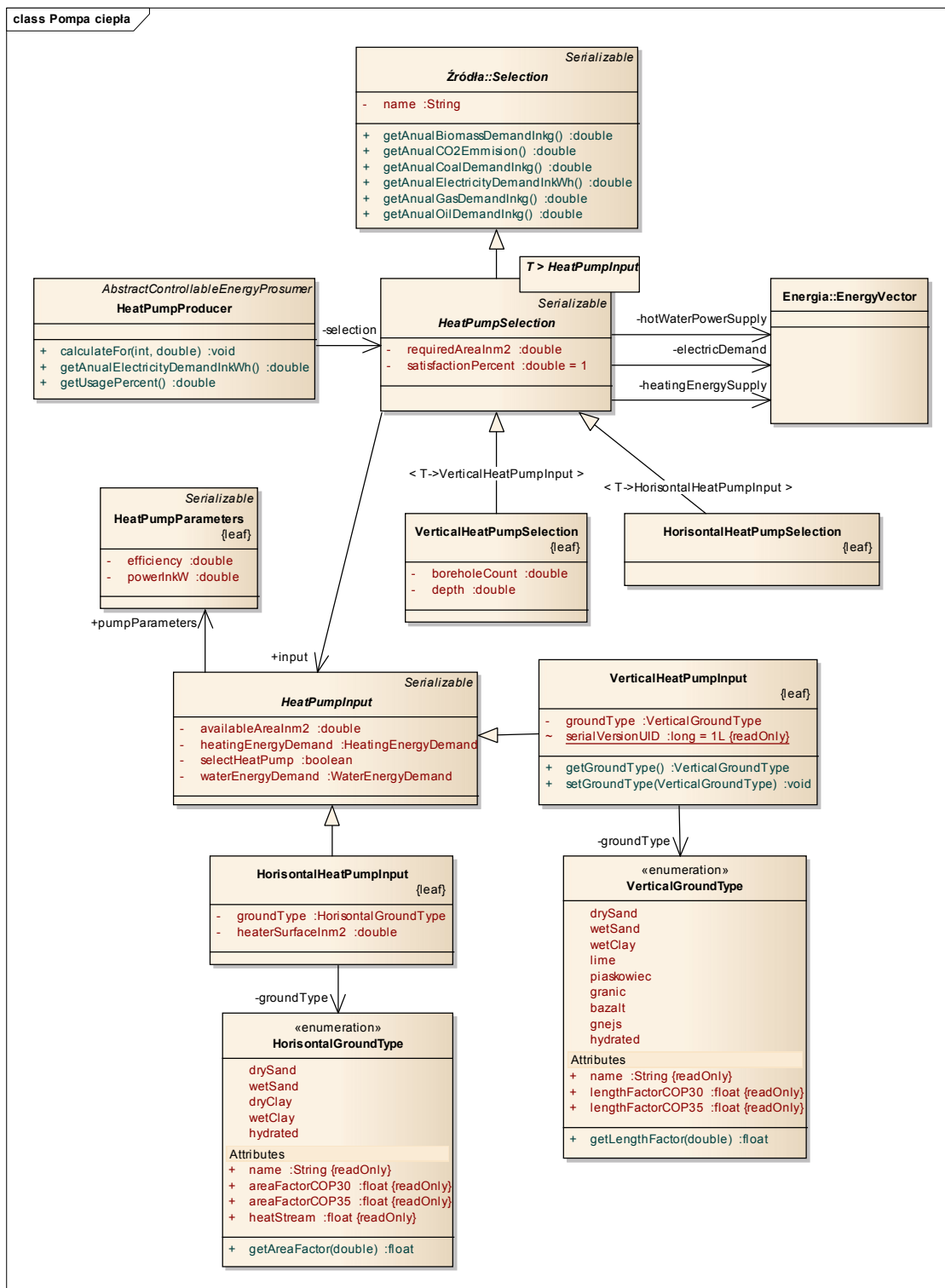
Na rys. 5.26. przedstawiono diagram klas opisujących dobór pompy ciepła.

Klasa „HeatPumpSelection” opisuje abstrakcyjny dobór pompy ciepła definiują pola:

- requiredAreaInm2 – wymagana powierzchnia działki (m²);
- satisfactionPercent – stopień zaspokojenia energii cieplnej (%);
- hotWaterPoweSupply – wektor produkcji energii cieplnej na potrzeby CWU (kWh);
- heatingEnergySupply – wektor produkcji energii cieplnej na potrzeby CO (kWh);
- electricDemand – wektor zapotrzebowania na energię elektryczną (kWh);
- input - zbiór danych wejściowych algorytmu.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.26. Struktura klas modułu doboru pompy ciepła

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Klasa „HorizontalHeatPumpSelection” opisuje dobór pompy z poziomym kolektorem i nie definiuje żadnych dodatkowych pól.

Klasa „VerticalHeatPumpSelection” opisuje dobór pompy z pionowym kolektorem definiując dodatkowe pola:

- boreholeCount – liczba sond (odwiertów);
- depth – głębokość sond (m).

Klasa „HeatPumpInput” opisuje abstrakcyjny zbiór danych wejściowych algorytmów doboru pomp ciepła definiując pola:

- availableAreaInm2 – dostępna powierzchnia działki (m²);
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby CO (kWh);
- waterEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby CWU (kWh);
- selectHeatPump - dobierz pompę (tak/nie);
- pumpParameters – zbiór parametrów pompy.

Klasa „HorizontalHeatPumpInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu doboru pompy z poziomym kolektorem i definiuje dodatkowe pola:

- heatedSurfaceInm2 – ogrzewana powierzchnia budynku (m²);
- groundType – rodzaj gruntu.

Klasa „VerticalHeatPumpInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu doboru pompy z pionowym kolektorem i definiuje dodatkowe pole:

- groundType – rodzaj gruntu.

Klasa „HeatPumpParameters” opisuje parametry pompy definiując pola:

- efficiency – sprawność;
- powerInkW – moc (kW).

➤ Turbina wodna

Na rys. 5.27. przedstawiono diagram klas opisujących dobór turbiny wodnej.



Klasa „WaterTurbineSelection” opisuje wynik doboru małej elektrowni wodnej i definiuje pola:

- demandSatisfactionPercent – stopień zaspokojenia zapotrzebowania na energię elektryczną;
- energy – wektor produkcji energii elektrycznej (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych.

Klasa „WaterTurbineInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu doboru turbiny wodnej i definiuje pola:

- levelDifferenceInm – spad mełej elektrowni wodnej (m);
- coolingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia;
- electricEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- waterFlow – wektor przepływów dziennych (m^3/s);
- turbineParams – parametry turbiny wodnej.

Klasa „TurbineParameters” opisuje parametry turbiny wodnej definiując pola:

- internalEfficiency – sprawność wewnętrzna turbiny;
- electroMechanicalEfficiency – sprawność elektromechaniczna;
- type – typ turbiny (śruba Archimedes’a, turbina Kaplana, itp).

Klasa „PlaceVessel” umożliwia obliczenie przepływów dziennych metodą naczynia podstawionego. Klasa definiuje pola:

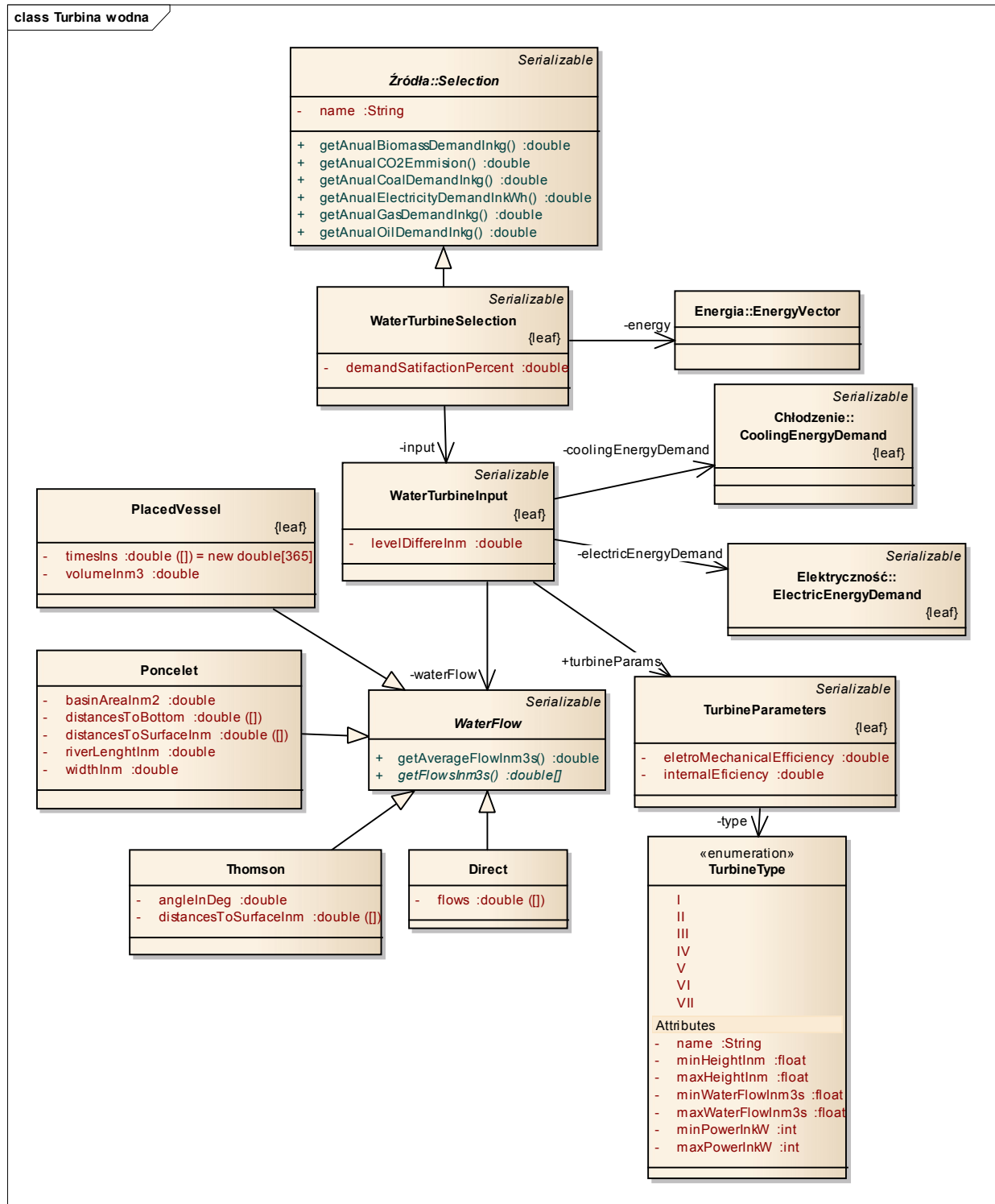
- volumeInm3 – pojemność naczynia (m^3);
- timesIns – wektor czasów napełniania naczynia w sekundach dla każdego dnia w roku.

Klasa „Poncelet” umożliwia obliczenie przepływów dziennych metodą przelewu Poncelet’a. Klasa definiuje pola:

- distancesToSurfaceInm – wektor wysokości warstwy wody mierzonych od przelewu do powierzchni dla każdego dnia w roku (m);
- distancesToBottomInm - wektor wysokości warstwy wody mierzonych od dna cieku do przelewu dla każdego dnia w roku (m);
- basinAreaInm2 – powierzchnia zlewni (m^2);
- riverLengthInm – długość zlewni (m);
- widthInm – szerokość przelewu (m).

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.27. Struktura klas modułu doboru małej elektrowni wodnej

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Klasa „Thomson” umożliwia obliczenie przepływów dziennych metodą Thomson’a. Klasa definiuje pola:

- `distancesToSurfaceInm` – wysokości warstwy wody mierzone od przelewu do powierzchnia dla każdego dnia w roku (m);
- `angleInDeg` – kąt nachylenia przelewu (°);

Klasa „Direct” umożliwia bezpośrednie podanie przepływów dziennych definiując pole:

- `flows` – wektor przepływów dziennych dla każdego dnia w roku (m³/s).

Bilanse energii w budynku

Na rys. 5.28. przedstawiono diagram klas opisujących model danych bilansów ciepła i energii elektrycznej dla pokrycia potrzeb w budynku.

Obsługiwane są trzy rodzaje bilansów:

- bilans energii elektrycznej;
- bilans ciepła;
- wspólny bilans energii elektrycznej i ciepła.

Klasa „EnergyBalance” opisuje abstrakcyjny bilans energii definiując pola:

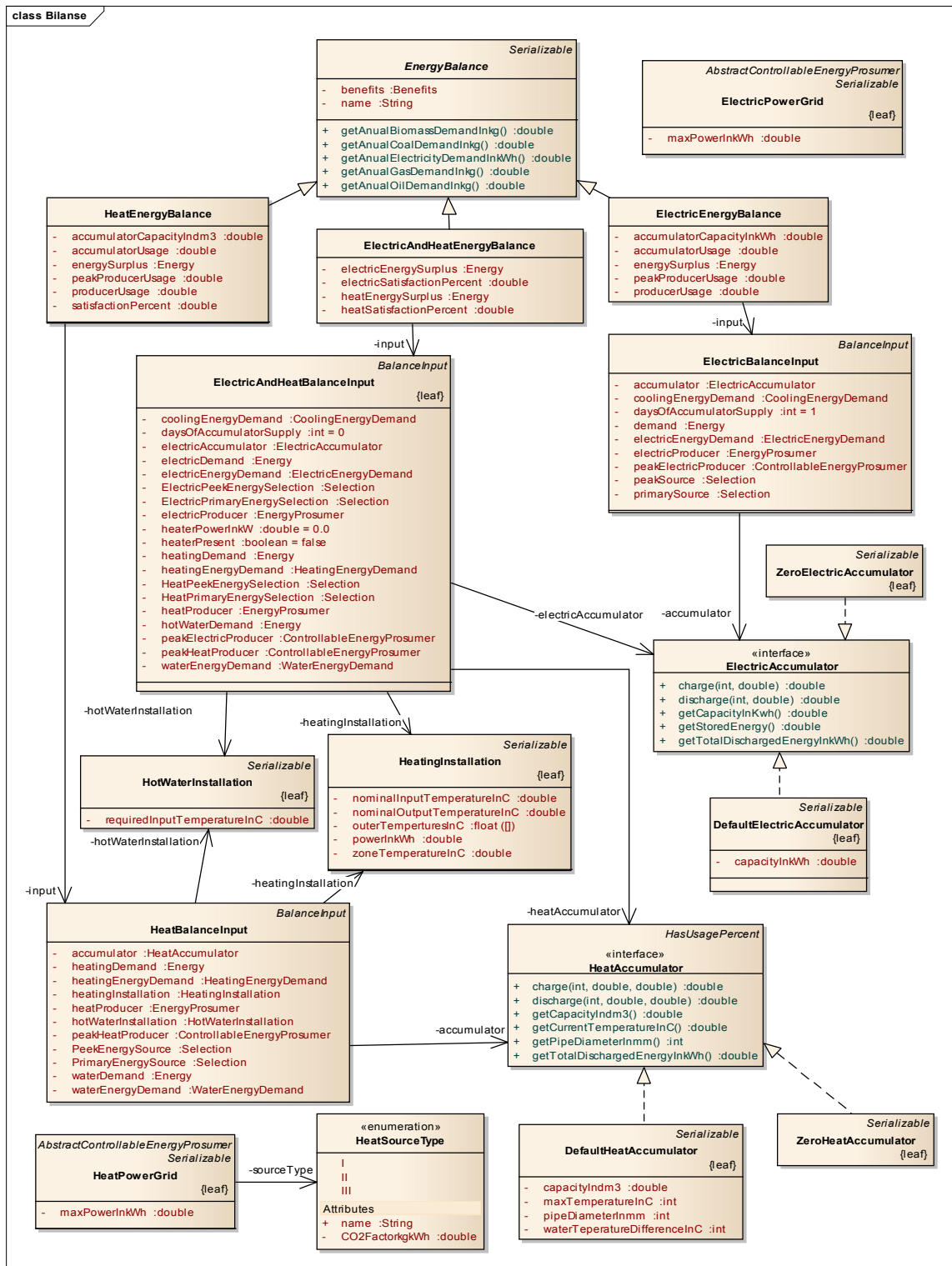
- `name` – nazwa bilansu;
- `benefits` – zbiór funkcji korzyści zdefiniowany dla tego bilansu.

Klasa „ElectricEnergyBalance” opisuje wyniki bilansu energii elektrycznej definiując pola:

- `accumulatorCapacityInkWh` – wymagana pojemność akumulatora (kWh);
- `producerUsage` – stopień wykorzystania podstawowego źródła energii;
- `peakProducerUsage` – stopień wykorzystania szczytowego źródła energii;
- `accumulatorUsage` – stopień wykorzystania akumulatora;
- `energySurplus` – wektor nadwyżek/niedoborów energii (kWh);
- `input` – zbiór danych wejściowych.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys. 5.28. Struktura klas modułu bilansowania ciepła i energii elektrycznej w budynku

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Klasa „ElectricBalanceInput” opisuje zbiór danych wejściowych bilansu energii elektrycznej definiując pola:

- demand - zbiorczy wektor zapotrzebowania na energię elektryczną (kWh);
- electricEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- coolingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia;
- primarySource – podstawowe źródło prądu;
- peakSource – szczytowe źródło prądu;
- electricProducer – podstawowy prosument energii elektrycznej (utworzony na podstawie źródła podstawowego);
- peakElectricProducer - szczytowy prosument energii elektrycznej (utworzony na podstawie źródła szczytowego);
- accumulator – akumulator elektryczny;
- daysOfAccumulatorSupply – ilość wymaganych dni do pracy na samym akumulatorze.

Klasa „DefaultElectricAccumulator” opisuje domyślny (ołowiowy) akumulator elektryczny definiując pole:

- capacityInkWh – pojemność (kWh).

Klasa „ZeroElectricAccumulator” opisuje akumulator o zerowej pojemności.

Klasa „HeatEnergyBalance” opisuje wyniki bilansu energii cieplnej definiując pola:

- accumulatorCapacityInkWh – wymagana pojemność zasobnika ciepła (kWh);
- producerUsage – stopień wykorzystania podstawowego źródła energii;
- peakProducerUsage – stopień wykorzystania szczytowego źródła energii;
- accumulatorUsage – stopień wykorzystania akumulatora;
- energySurplus – wektor nadwyżek/niedoborów energii (kWh);
- input – zbiór danych wejściowych;
- satisfactionPercent - stopień zaspokojenia potrzeb.

Klasa „HeatBalanceInput” opisuje zbiór danych wejściowych bilansu ciepła definiując pola:

- heatingDemand - zbiorczy wektor zapotrzebowania ciepła na potrzeby CO (kWh);
- waterDemand - zbiorczy wektor zapotrzebowania ciepła na potrzeby CWU (kWh);
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie ciepła na potrzeby CO;
- waterEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną na potrzeby CWU;
- PrimaryEnergySource – podstawowe źródło ciepła;
- PeakEnergySource – szczytowe źródło ciepła;

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- heatProducer – podstawowy prosument ciepła (utworzony na podstawie źródła podstawowego);
- peakHeatProducer – szczytowy prosument ciepła (utworzony na podstawie źródła szczytowego);
- accumulator – akumulator elektryczny;
- heatingInstallation – instalacja grzewcza;
- hotWaterInstallation – instalacja CWU.

Klasa „DefaultHeatAccumulator” opisuje typowy zasobnik na ciepłą wodę definiują pola:

- capacityIndm3 – pojemność zasobnika (dm^3);
- waterTemperatureDifferenceInC – nominalna różnica temperatur zasilania i powrotu ($^{\circ}\text{C}$);
- pipeDiameterInmm – średnica rury zasilającej (mm);
- maxTemperatureInC – maksymalna temperatura wody.

Klasa „HeatingInstallation” opisuje instalację grzewczą zainstalowaną w budynku i definiuje pola:

- outerTemperaturesInC – wektor temperatur zewnętrznych w kroku godzinowym ($^{\circ}\text{C}$);
- zoneTemperatureInC – minimalna temperatura dla strefy klimatycznej ($^{\circ}\text{C}$);
- nominalInputTemperatureInC – nominalna temperatura zasilania ($^{\circ}\text{C}$);
- nominalOutputTemperatureInC – nominalna temperatura powrotna ($^{\circ}\text{C}$).

Klasa „HotWaterInstallation” opisuje instalację CWU i definiuje pole:

- requiredInputTemperatureInC – wymagana temperatura ciepłej wody ($^{\circ}\text{C}$).

Klasa „ElectricAndHeatEnergyBalance” opisuje wyniki wspólnego bilansu energii elektrycznej i cieplnej definiując pola:

- electricSatisfactionPercent – stopień zaspokojenia potrzeb energii elektrycznej;
- heatSatisfactionPercent – procent zaspokojenia potrzeb ciepła;
- electricEnergySurplus – wektor nadwyżek/niedoborów energii elektrycznej;
- heatEnergySurplus – wektor nadwyżek/niedoborów ciepła;
- input – zbiór danych wejściowych.

Klasa „ElectricAndHeatBalanceInput” opisuje zbiór danych wejściowych wspólnego bilansu energii elektrycznej i ciepła definiując pola:

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- electricDemand - zbiorczy wektor zapotrzebowania na energię elektryczną (kWh);
- electricEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną;
- coolingEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodzenia;
- ElectricPrimaryEnergySelection– podstawowe źródło prądu;
- ElectricPeekEnergySelection– szczytowe źródło prądu;
- electricProducer – podstawowy prosument energii elektrycznej (utworzony na podstawie źródła podstawowego);
- peakElectricProducer - szczytowy prosument energii elektrycznej (utworzony na podstawie źródła szczytowego);
- electricAccumulator – akumulator elektryczny;
- daysOfAccumulatorSupply – ilość wymaganych dni do pracy na samym akumulatorze;
- heatingDemand - zbiorczy wektor zapotrzebowania ciepła na potrzeby CO (kWh);
- hotWaterDemand - zbiorczy wektor zapotrzebowania ciepła na potrzeby CWU (kWh);
- heatingEnergyDemand – zapotrzebowanie ciepła na potrzeby CO;
- waterEnergyDemand – zapotrzebowanie na energię elektryczną na potrzeby CWU;
- HeatPeekEnergySelection– podstawowe źródło ciepła;
- PeekEnergySource– szczytowe źródło ciepła;
- heatProducer– podstawowy prosument ciepła (utworzony na podstawie źródła podstawowego);
- peakHeatProducer- szczytowy prosument ciepła (utworzony na podstawie źródła szczytowego);
- heatAccumulator – akumulator elektryczny;
- heatingInstallation – instalacja grzewcza;
- hotWaterInstallation – instalacja CWU;
- heaterPresent – czy jest zainstalowana grzałka elektryczna w zasobniku ciepła (tak, nie);
- heaterPowerInkW – moc grzałki (kW).

Klasa „ElectricPowerGrid” opisuje szczytowe źródło prądu w postaci sieci elektroenergetycznej definiując pole:

- maxPowerInkW – maksymalna moc przyłącza elektrycznego (kW).

Klasa „HeatPowerGrid” opisuje szczytowego producenta ciepła w postaci sieci ciepłowniczej definiując pola:

- maxcPowerInkW – maksymalna moc przyłącza(kW);
- sourceType – rodzaj źródła ciepła w sieci (ciepłownia węglowa, ciepłownia gazowa, elektrociepłownia węglowa).

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Funkcje korzyści

Na rys. 5.29. przedstawiono diagram klas opisujących model danych funkcji korzyści.

Interfejs „BenefitFunction” opisuje abstrakcyjną funkcję korzyści definiując metody:

- calculate – oblicza wartość funkcji;
- analysisValue – oblicza wartość funkcji na potrzeby rankingu rozwiązań (funkcji rosnąca; więcej znaczy lepiej);

Klasa „EconomicFunction” jest klasą abstrakcyjną dla wszystkich funkcji wskaźników ekonomicznych i definiuje pola:

- constSubsidy – dotacja stała (pln);
- investmentCost – koszt inwestycji (pln);
- operationCostAfter – roczny koszt użytkowania po inwestycji (pln);
- operationCostBefore – roczny koszt użytkowania przed inwestycją (pln);
- percentSubsidy – dotacja zmienna (% kosztów inwestycyjnych);
- rate – stopa dyskonta.

Klasa „PIFunction” oblicza wskaźnik zyskowności.

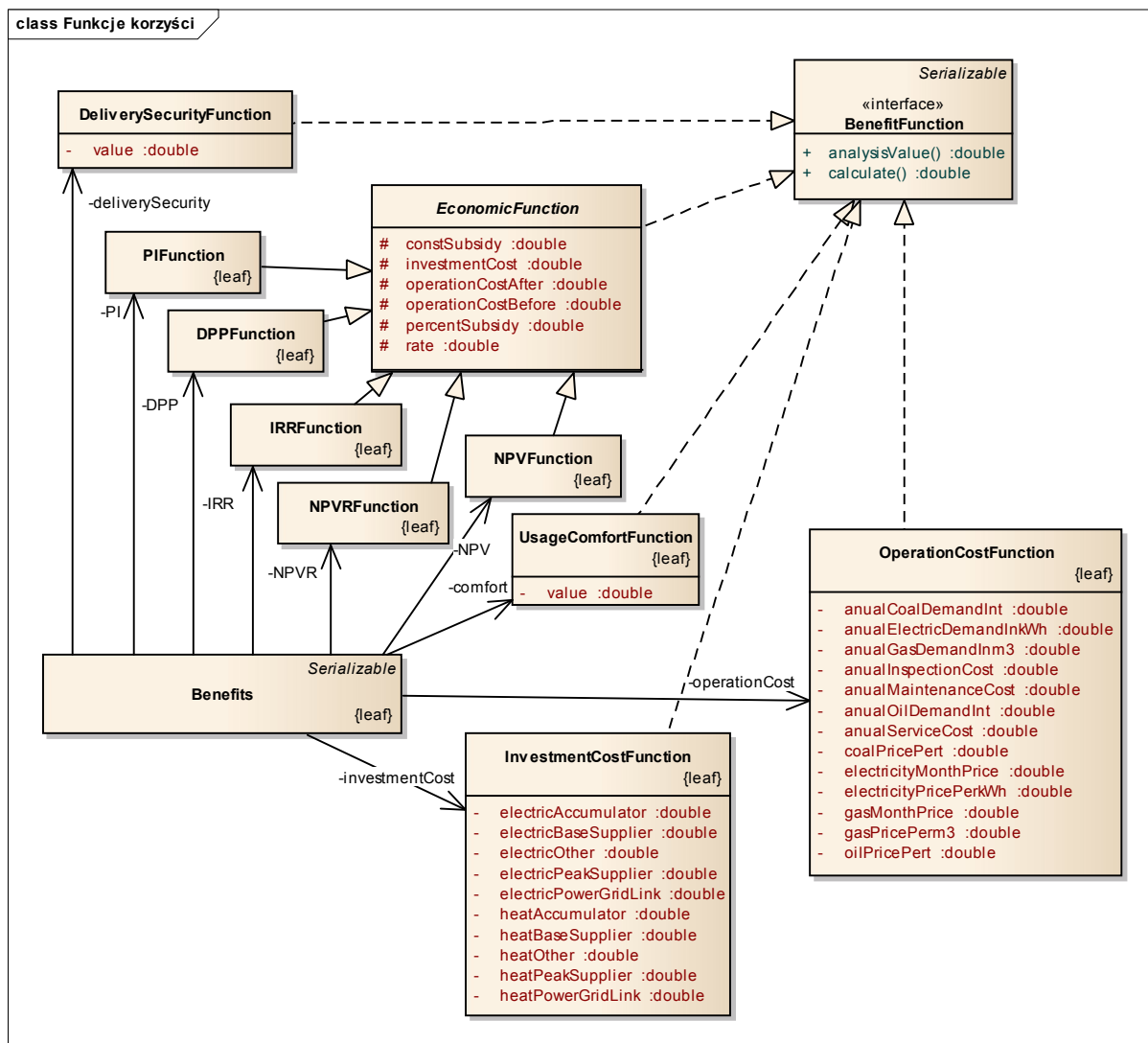
Klasa „DPPFunction” oblicza zdyskontowany okres zwrotu.

Klasa „IRRFunction” oblicza wartość wewnętrzną stopy zwrotu.

Klasa „NPVFunction” oblicza wartość zaktualizowaną netto.

Klasa „NPVFunction” oblicza wartość bieżącą netto.

Klasa „UsageComfortComfort” określa komfort użytkowania instalacji (pole „value” ustawia użytkownik).



Rys. 5.29. Struktura klas modułu wyznaczania funkcji korzyści

Klasa „DeliverySecurityFunction” określa bezpieczeństwo dostaw energii (pole „value” ustawia użytkownik).

Klasa „InvestmentCostFunction” oblicza koszt inwestycji definiując pola:

- electricBaseSupplier – koszt instalacji źródła podstawowego prądu elektrycznego;
- electricPeakSupplier – koszt instalacji źródła szczytowego prądu elektrycznego;
- electricPowerGridLink – koszt przyłączenia do elektrycznej sieci energetycznej;
- electricAccumulator - koszt instalacji akumulatora energii elektrycznej;
- electricOther - inne koszty związane z instalacją elektryczną (np integracji itp);

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- heatBaseSupplier – koszt instalacji podstawowego źródła ciepła;
- heatPeakSupplier – koszt instalacji szczytowego źródła ciepła;
- heatPowerGridLink – koszt przyłączenia do sieci ciepłowniczej;
- heatAccumulator – koszt instalacji zasobnika ciepła;
- heatOther – inne koszty związane z instalacją ciepłą.

Klasa „OperationCostFunction” oblicza roczny koszt użytkowania definiując pola:

- anualCoalDemandInt - roczne zużycie węgla w tonach;
- coalPricePert - cena węgla za tonę (pln);
- anualOilDemandInt - roczne zużycie oleju opałowego w tonach;
- oilPricePert - cena za tonę oleju (pln);
- anualGasDemandInm3 - roczne zużycie gazu (m³);
- gasPricePerm3 - cena za metr sześcienny (pln);
- gasMonthPrice - miesięczna opłata stała za dostarczenie gazu (pln);
- anualElectricDemandInkWh - roczne zużycie elektryki w (kWh);
- electricityPricePerkWh - cena za kWh (pln);
- electricityMonthPrice - miesięczna opłata stała za dostarczenie prądu (pln);
- anualServiceCost - roczny koszt obsługi (pln);
- anualInspectionCost - roczny koszt przeglądów (pln);
- anualMaintenanceCost - roczny koszt konserwacji (pln);

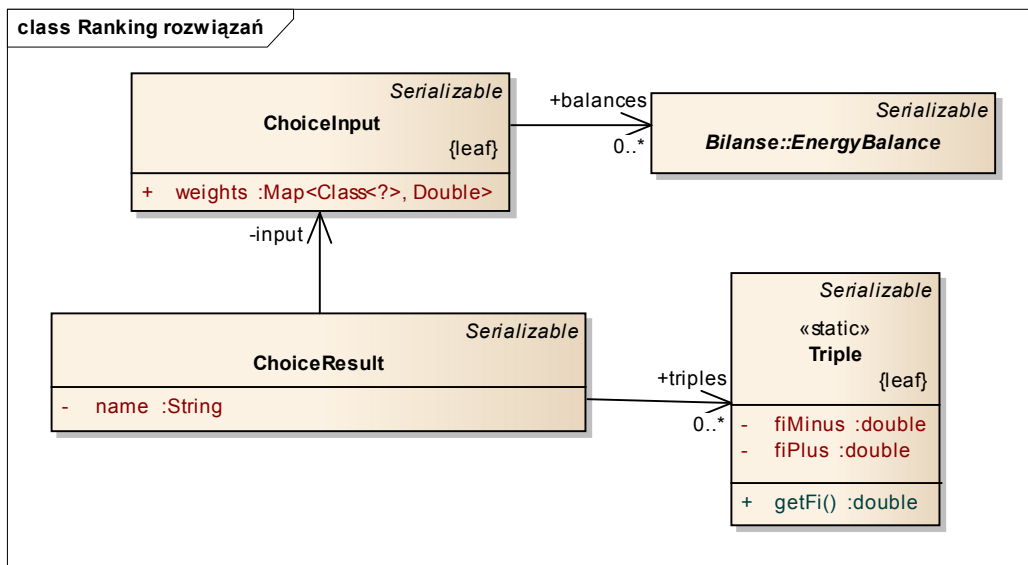
W dalszym etapie realizacji przewiduje się dodanie funkcji obliczających zużycie energii końcowej, zużycie energii pierwotnej oraz emisję CO₂.

Ranking rozwiązań

Na rys. 5.30. przedstawiono diagram klas opisujących model danych rankingu rozwiązań.

Klasa „ChoiseResult” opisuje ranking rozwiązań definiując pola:

- name – nazwa rankingu;
- triples – zbiór rekordów opisujących alternatywne konfiguracje;
- input – zbiór danych wejściowych.



Rys. 5.30. Struktura klas modułu rankingu rozwiązań

Klasa „Triple” opisuje i-tą konfigurację (bilans) w rankingu definiując pola:

- fiPlus – dominacja wewnętrzna;
- fiMinus – dominacja zewnętrzna;
- getFi – dominacja.

Klasa „ChoiceInput” opisuje zbiór danych wejściowych algorytmu rankingu wielokryterialnego definiując pola:

- balances – wybrane bilanse (konfirmacje instalacji energetycznych w budynku);
- weights – słownik wag przypisanych klasom funkcji korzyści (np. ‘Koszt inwestycji’ -> 0.5, „Emisja CO2”-> 0.8);

Sposób składowania danych

Składowanie danych odbywa w plikach binarnych na dysku lokalnym komputera. Pliki posiadają rozszerzenie „AnalizatorOZE”.

Pliki zapisywane są jako archiwa „zip”. Wewnątrz archiwum znajdują się dwa pliki:

- plik tekstowy „version” zawierający numer wersji pliku w formacie UTF-8;
- plik binarny „content.bin” zawierający dane programu zapisane za pomocą mechanizmu „Java Serialization”.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Plan testów

Plan testów opracowany zostanie w Etapie nr 19 zadania badawczego nr 3. W przypadkach w których było to możliwe (możliwe było przewidzenie poprawnych wyników działania algorytmów w szczególnych przypadkach) stworzono testy jednostkowe poszczególnych algorytmów programu. Kody źródłowe testów zamieszczono razem z kodami źródłowymi programu.

Instrukcja użytkownika

Instrukcja użytkownika zawarta zostanie w pliku pomocy dostarczonym z oprogramowaniem. Uproszczona wersja zamieszczona zostanie w samym programie i dostępna będzie po kliknięciu przycisku „Pomoc” w menu głównym.

Instrukcja instalacji

Instrukcja budowania projektu

W celu zbudowania wersji instalacyjnej programu „Analizator OZE” należy zainstalować platformę „Java Development Kit” w wersji 6 lub nowszej oraz konsolowego klienta SVN. Następnie należy utworzyć kopię roboczą projektu znajdującą się pod adresem <https://svn.luna.emag.local/oze/trunk/impl/oze2>. Po uruchomieniu pliku „build.bat” znajdującego się w głównym katalogu kopii roboczej nastąpi zbudowanie projektu i umieszczenie plików wynikowych w podkatalogu o nazwie „dist”.

Instrukcja importowania projektu do środowiska programistycznego.

Import projektu do środowiska NetBeans 7 polega na wybraniu polecenia „Open project” i wskazaniu katalogu z kodami źródłowymi.

Instrukcja instalacji oprogramowania dla użytkownika końcowego.

Program „Analizator OZE” udostępniany jest w postaci paczki instalacyjnej. Po pobraniu pliku „AnalizatorOZE_instalator.exe” należy go uruchomić na komputerze docelowym i przeprowadzić proces instalacji zgodnie z instrukcjami wyświetlanymi na ekranie.

Po zainstalowaniu programu dostępny jest on w Menu Start lub opcjonalnie na Pulpicie.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

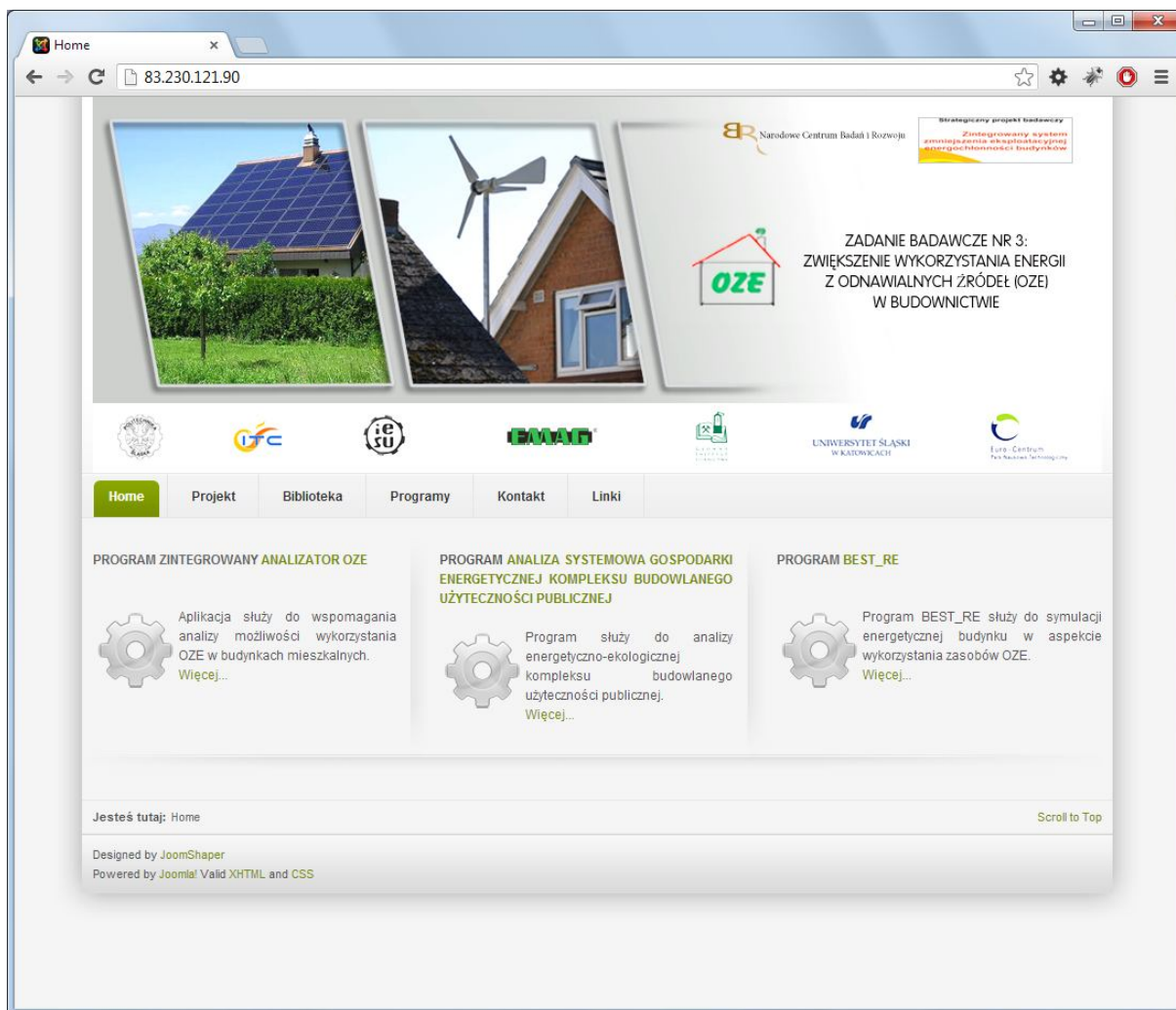


6. Opis aplikacji strony internetowej z narzędziami komputerowego wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

Dla wsparcia analiz bilansowania potrzeb energetycznych budynków i zwiększenia wykorzystania lokalnych zasobów OZE utworzono stronę internetową, której roboczym adresem na dzień 28.12.2012 r. jest <http://83.230.121.90>, zawierającą produkty uzyskane w wyniku realizacji prac w zadaniu badawczym nr 3. Docelowy adres strony www zostanie ustalony na etapie walidacji programu komputerowego „Analizator OZE”. Na rys. 6.1. przedstawiono baner głównej strony internetowej.



Rys. 6.1. Widok głównej strony internetowej <http://83.230.121.90> (stan na 28.12.2012 r.) z narzędziami do wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach mieszkalnych

Głównym produktem uzyskanym w zadaniu badawczym nr 3 jest zintegrowany **program „Analizator OZE”**, będący istotnym narzędziem wspierania i wdrażania instalacji wykorzystujących potencjał OZE dla pokrywania zapotrzebowania ciepła i energii elektrycznej

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



w budynkach mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych. W wyniku analizy określono następujące wymagania główne stawiane aplikacji „Analizator OZE”:

- Zarządzanie danymi obiektu – program musi przechowywać podstawowe dane obiektu (rodzaj, opis, adres, współrzędne geograficzne);
- Przechowywanie danych – program musi przechowywać dane na nośniku trwałym (plik);
- Przechowywanie i udostępnianie danych klimatycznych – program musi udostępniać uśrednione dane klimatyczne do użycia w obliczeniach dla każdej stacji meteorologicznej (temperatury, nasłonecznienie, prędkości wiatru, temperatury strefy klimatycznej itp) w kroku godzinowym;
- Określanie rocznego zapotrzebowania budynku na energię – program musi umożliwiać określenie zapotrzebowania budynku na energię w kroku godzinowym;
- Analizy możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię przez poszczególne OZE – program musi umożliwiać zdefiniowanie instalacji odnawialnych źródeł energii oraz obliczać procentowe pokrycie zapotrzebowania energii przez te źródła;
- Bilansowanie energii w budynku – program musi umożliwiać bilansowanie produkcji i potrzeb energii w budynku mieszkalnym w kroku godzinowym;
- Obliczanie funkcji korzyści dla każdego bilansu – program musi zawierać funkcjonalność definiowania i obliczania funkcji korzyści (ekonomicznych, technicznych, ekologicznych, itp.);
- Porównywanie i ranking różnych kombinacji OZE dla analizowanego budynku – program musi udostępniać metodę automatycznego pozycjonowania różnych kombinacji OZE z uwzględnieniem preferencji użytkownika;
- Raportowanie – program musi zawierać funkcjonalność umożliwiającą eksport wyników pracy do programów zewnętrznych w celu dalszej obróbki i drukowania (Word, Excell);
- Samodzielna aplikacja bez dostępu do Internetu – program musi działać poprawnie na komputerze docelowym bez dostępu do Internetu. Platformą docelową jest system MS Windows.

Wymaganie w zakresie możliwości obliczania zapotrzebowania budynku na energię w kroku godzinowym dotyczy odrębnie czterech dziedzin:

- ogrzewanie i wentylacja – zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania i wentylacji;
- przygotowanie ciepłej wody użytkowej – zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania cwu;

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- chłodzenie i wentylacja – zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu chłodziarki;
- zużycie energii elektrycznej – zapotrzebowanie na energię elektryczną do wszystkich celów oprócz chłodzenia i napędzania źródeł energii.

W przypadku analizy możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię przez poszczególne odnawialne źródła energii uwzględniono:

- pompę ciepła;
- panele fotowoltaiczne;
- kolektory słoneczne;
- kocioł na biomasę;
- kogenerator CHP;
- małą turbinę wiatrową;
- małą turbinę wodną;
- kocioł konwencjonalny (umożliwia porównywanie rozwiązań wykorzystujących OZE z rozwiązaniami konwencjonalnymi).

Bilansowanie energii odbywa się osobno dla energii elektrycznej i dla ciepła w kroku godzinowym. Program „Analizator OZE” jest monolityczną samodzielną aplikacją uruchamianą na komputerze użytkownika. Aplikacja napisana została w języku programowania Java w wersji 6. Do jej wytworzenia wykorzystano środowisko programistyczne „NetBeans” w wersji 7. Do budowania wykorzystano narzędzie Apache Ant w wersji 1.8.3. Aplikacja „Analizator OZE” pracuje w dwóch trybach. Po włączeniu prezentowany jest użytkownikowi ekran startowy, w którym dostępne są akcje. Celem tej ekspozycji jest zaprezentowanie użytkownikowi listy ostatnio otwartych plików oraz opcji otwarcia pliku z dysku lub utworzenia nowego pliku. Po wybraniu opcji otwarcia pliku na ekranie startowym prezentowane jest główne okno robocze przedstawione na rys. 6.2., które umożliwia dostęp do wszystkich funkcji programu. Zintegrowany program „Analizator OZE” realizuje dziewięć podstawowych kroków prowadzących do uzyskania wyników:

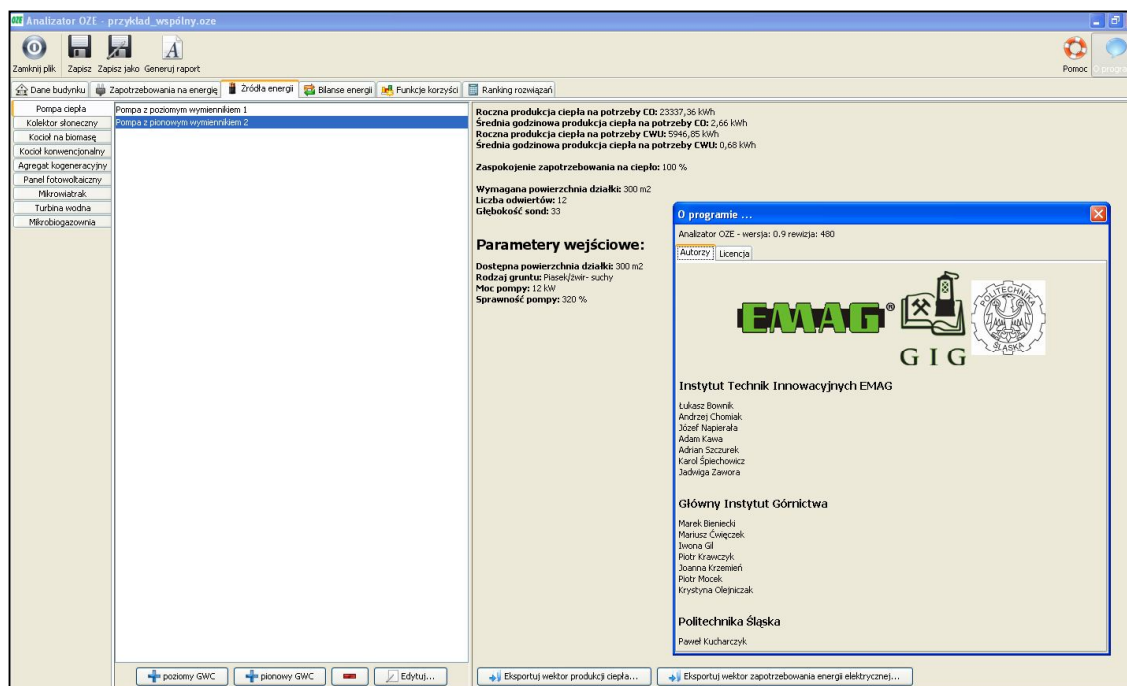
1. Uruchomienie aplikacji – użytkownik musi uruchomić program i wybrać tworzenie nowego pliku;
2. Utworzenie lokalizacji – użytkownik musi zdefiniować podstawowe dane budynku;
3. Ocena zapotrzebowania budynku na energię – użytkownik musi obliczyć godzinowe zapotrzebowania na energię w wybranych dziedzinach (ogrzewanie, chłodzenie, ciepła woda użytkowa, elektryczność);
4. Wykonanie analiz możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię za pomocą OZE – użytkownik musi zdefiniować wybrane źródła energii; program automatycznie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



- wyliczy wektory produkcji energii w kroku godzinowym i przybliżone zaspokojenie potrzeb energetycznych budynku;
5. Bilansowanie energii – użytkownik musi zdefiniować wariant instalacji składającej się ze zdefiniowanych źródeł energii; program automatycznie zbilansuje energię i wyświetli wyniki;
 6. Obliczanie funkcji korzyści – użytkownik musi zdefiniować istotne dla niego funkcje korzyści; program automatycznie wyliczy ich wartości;
 7. Wybór rozwiązania – użytkownik musi określić istotność kryteriów oceny wariantów (przynajmniej dwóch); program automatycznie uszereguje zdefiniowane warianty pod względem jakości z uwzględnieniem preferencji użytkownika.
 8. Wybór rozwiązania - użytkownik może zaakceptować wskazane najwyżej ocenione rozwiązanie.
 9. Raportowanie wyników – użytkownik wybiera opcję „Generuj raport”; program generuje raport do pliku akceptowanego przez MS Word (RTF).



Rys. 6.2. Widok głównego okna programu AnalizatorOZE (plik „AnalizatorOZE_instalator.exe”)

Instrukcja użytkownika zawarta zostanie w pliku pomocy dostarczanym z oprogramowaniem. Uproszczona wersja zamieszczona zostanie w samym programie i dostępna będzie po kliknięciu przycisku „Pomoc” w menu głównym. Do działania programu „Analizator OZE” wymagana jest platforma „Java” w wersji 6 lub nowszej. W przypadku, gdy platforma nie jest zainstalowana na komputerze docelowym należy ją pobrać ze strony

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



<http://www.java.com/pl/download/> i zainstalować. Program „Analizator OZE” udostępniany jest w postaci paczki instalacyjnej. Po pobraniu pliku „AnalizatorOZE_instalator.exe” należy go uruchomić na komputerze docelowym i przeprowadzić proces instalacji zgodnie z instrukcjami wyświetlanymi na ekranie. Po zainstalowaniu programu dostępny jest on w Menu Start lub opcjonalnie na Pulpicie.

Na utworzonej stronie internetowej z roboczym adresem na dzień 28.12.2012 r. <http://83.230.121.90>, zawierającej narzędzia wspomagania analiz wykorzystania OZE w budynkach, zamieszczono również **program do analizy gospodarki energetycznej budynku użyteczności publicznej**, który został zaimplementowany jako wynik prac badawczych wcześniej realizowanych w Etapie nr 8 [6.1] w ramach zadania badawczego nr 3. Zakres badawczy obejmował zastosowanie metody systemowej do analizy energetyczno-ekologicznej kompleksu budowlanego użyteczności publicznej. Opracowane algorytmy obliczeniowe stanowią oddzielny moduł obejmujący analizę energetyczno-ekologiczną budynku użyteczności publicznej.

Autorzy prac Etapu nr 8 [6.1] przeprowadzili analizę gospodarki energetycznej budynku użyteczności publicznej w oparciu o model matematyczny bezpośredniego zużycia energii, który został zbudowany zgodnie z teorią przepływów międzygałęziowych. Takie modelowanie umożliwia analizę nie tylko bezpośredniego, ale również pośredniego zużycia nośników energii wynikającego z powiązań międzygałęziowych występujących w rozpatrywanym systemie energetycznym budynku. Zgodnie z założeniami autorów prac badawczych Etapu nr 8 [6.1] analiza bezpośredniego zużycia energii nie obejmuje całkowitej ilości energii jaka jest potrzebna do wytworzenia danego użytecznego nośnika energii (produktu) w kompleksie budowlanym. Stosowane bowiem do jego wytworzenia inne nośniki energii (np. paliwa) również wymagają pewnego zużycia energii w pośrednich procesach wytwórczych i transportowych. Dotyczy to również zasilania budynku z zasobów OZE. Każdy nośnik energii jest wytwarzany w wyniku nie tylko bezpośredniego, ale i pośredniego zużycia energii w sieci powiązań energetycznych i technologicznych. Zdaniem autorów [6.1] kompletna analiza energetyczna powinna być oparta o rachunek skumulowanego zużycia energii.

Dane wejściowe do takiej analizy stanowią wyniki obliczeń bilansu bezpośredniego zużycia energii w kompleksie budowlanym oraz wskaźniki skumulowanego zużycia energii dla nośników energii dostarczanych z zewnątrz, które stanowią średnie wskaźniki skumulowanego zużycia energii w krajowym systemie elektroenergetycznym. Wytwarzanie nośników energii dla pokrycia potrzeb budynku użyteczności publicznej jest nieodłącznie związana z emisją szkodliwych gazów, cieczy i stałych produktów odpadowych. Bezpośrednie zużycie paliw pierwotnych prowadzi do bezpośredniej emisji zanieczyszczeń do środowiska naturalnego związanej z produkcją danego nośnika energii. Obciążenie ekologiczne danego nośnika energii

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



zużywanego w kompleksie budowlanym zależy nie tylko od bezpośredniej emisji, ale także od emisji, która miała miejsce w procesach poprzedzających i w transporcie. Autorzy programu do analizy gospodarki energetycznej budynku użyteczności publicznej w algorytmie obliczeniowym posługują się wskaźnikami skumulowanej emisji.

Algorytmy obliczeniowe opracowane w ramach realizacji Etapu 8 [6.1] zawierają:

- algorytm określania wskaźników bezpośredniego zużycia energii w budynku,
- algorytm skumulowanego zużycia energii,
- algorytm skumulowanej emisji zanieczyszczeń,
- algorytm rachunku kosztu termoeekologicznego (koszt uciążliwości środowiskowej),

Zamieszczona na stronie internetowej z roboczym adresem na dzień 28.12.2012 r. <http://83.230.121.90>, może wspomagać analizę systemową gospodarki energetycznej w kompleksie budynku użyteczności publicznej. Jej użycie wymaga przygotowania danych i określenia wskaźników zużycia poszczególnych nośników energii i masy w danym okresie rozpatrywanej analizy.

Dane wejściowe do analizy systemowej gospodarki energetycznej w kompleksie budynku użyteczności publicznej stanowią wg założeń w module obliczeniowym [6.1] następujące wielkości:

1. Wielkość zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii w podsystemie odbiorców. Mogą one być wynikiem analiz i symulacji uzyskanych w innych obliczeniach, np. obliczeniach zapotrzebowania ciepła na cele ogrzewania, przygotowanie c.w.u, zapotrzebowania chłodu, strumienia powietrza klimatyzacyjnego, itd. Alternatywnie można przewidzieć możliwość wprowadzania tych wielkości bezpośrednio przez użytkownika programu obliczeniowego. Dane wprowadzane są w formie wektorów, każdy wektor odpowiada wyodrębnionej grupie pomieszczeń w podsystemie odbiorców. Wiersze odpowiadają zużyciu określonego nośnika energii. Liczba wektorów nie więcej niż 30, wymiar nie większy niż 50x1.
2. Binarne macierze powiązań międzygałęziowych w podsystemie energetycznym i podsystemie odbiorców. Wymiary macierzy (nie większe niż 50x50).
3. Macierze wskaźników bezpośredniego zużycia lub wytwarzania nośników energii w podsystemie energetycznym i podsystemie odbiorców. Wymiary macierzy (nie większe niż 50x50). Wskaźniki bezpośredniego zużycia lub wytwarzania nośników energii wynikają z symulacji lub z danych pomiarowych urządzeń energetycznych w budynku.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



4. Wektory wskaźników skumulowanego zużycia energii, skumulowanej emisji substancji szkodliwych oraz kosztu termoeologicznego dla poszczególnych nośników energii dostarczanych z zewnątrz. Wskaźniki te stanowią wewnętrzną bazę danych w module obliczeniowym. Użytkownik po wybraniu danego nośnika energii, który będzie dostarczany z zewnątrz do budynku przyporządkuje automatycznie odpowiedni skumulowany wskaźnik.

Uzyskane z takiej analizy systemowej wyniki obejmują zgodnie z algorytmem programu [6.1] następujące parametry:

1. Wektory zapotrzebowania na nośniki energii, które są produkowane w budynku oraz dostarczane z zewnątrz (wytwarzanie szczytowe i podstawowe).
2. Macierze zużycia lub wytwarzania poszczególnych nośników energii w gałęziach energetycznych i w podsystemie odbiorców. Analogicznie macierze dla skumulowanego zużycia energii, skumulowanej emisji substancji szkodliwych oraz kosztu termoeologicznego.
3. Wektory wskaźników skumulowanego zużycia energii, skumulowanej emisji substancji szkodliwych oraz kosztu termoeologicznego dla poszczególnych nośników energii wykorzystywanych w budynku.

Parametry wynikowe z przeprowadzonej analizy systemowej dla wybranego okresu bilansowania przedstawiane są na wykresach i w tablicach. Proponowany okres bilansowania na potrzeby analizy energetyczno-ekologicznej to 1 rok lub okres 1 miesiąca. Założenie krótkich okresów bilansowania pociąga za sobą konsekwencję znacznego zwiększenia liczby wprowadzanych danych w aplikacji komputerowej.

Do opracowania programu wspomagającego analizy systemowe gospodarki energetycznej w kompleksie budynku użyteczności publicznej wykorzystano następujące narzędzia informatyczne:

- język programowania Visual Basic (automatyzacja obliczeń i komunikacja pomiędzy podmodułami)
- MS Excel (baza wiedzy oraz rozwiązywanie zagadnień liniowych)
- EES - Engineering Equation Solver (symulacje i analiza zagadnień nieliniowych).

Pakiet arkuszy kalkulacyjnych wykonany w MS Excel zawiera analizę dla przykładowego kompleksu budynku użyteczności publicznej. Zarówno program do analizy gospodarki energetycznej budynku użyteczności publicznej, jak i opis do tej przykładowej analizy systemowej (zamieszczony w pliku rozdział 3 wg [6.1]) dostępne są do pobrania w bibliotece zamieszczonej na stronie internetowej z roboczym adresem na dzień 28.12.2012 r.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



<http://83.230.121.90>. Zamieszczony na stronie internetowej program do analizy gospodarki energetycznej budynku użyteczności publicznej, jest dostępny do pobrania i uruchomienia przez użytkownika. Program stanowi jedno z narzędzi komputerowych służących wspomaganie analiz bilansowania potrzeb energetycznych budynku i oceny efektywności zastosowania instalacji opartych na zasobach OZE.

Na stronie internetowej z komputerowymi narzędziami wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach zamieszczono również **program BEST_RE**, który został zaimplementowany jako wynik prac badawczych wcześniej realizowanych w Etapie nr 15 [6.2] w ramach zadania badawczego nr 3. Program BEST_RE służy do symulacji energetycznej budynku i został opracowany z wykorzystaniem kodu programu EnergyPlus. Umożliwia modelowanie struktury budynku i jego cech architektoniczno-budowlanych w aspekcie minimalizacji zużycia energii i maksymalnego wykorzystania zasobów OZE. Program pozwala na przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych budynku dla którego znane są parametry geometryczne i cechy konstrukcyjne. Symulacja energetyczna budynku obejmuje określenie chwilowych strumieni energii doprowadzonych, wyprowadzonych i generowanych w poszczególnych elementach jego struktury. Podstawową jednostką bilansową w budynku jest zdefiniowana strefa cieplna. Przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych wymaga od użytkownika wprowadzenia danych wejściowych, które są wprowadzane zgodnie z układem arkusza kalkulacyjnego. Widok głównego okna programu BEST_RE przedstawiono na rys. 6.3. Zarządzanie symulacją odbywa się z poziomu głównego okna komunikacyjnego, w wyniku wyboru odpowiedniej opcji (przycisku) w oknie głównym następuje przekierowanie do odpowiedniego wybranego arkusza danych. Prowadzenie obliczeń symulacyjnych wymaga sekwencyjnego wypełnienia poszczególnych arkuszy danych, wygenerowania plików tekstowych z danymi do obliczeń, uruchomienia głównego modułu obliczeniowego i wczytania wyników symulacji. Wyniki obejmują wartości liczbowe wygenerowane z zadaniem krokiem czasowym dla obliczeń symulacyjnych.

Zamieszczony na stronie internetowej program BEST_RE jest dostępny do pobrania i uruchomienia przez użytkownika. Stanowi on jedno z narzędzi komputerowych służących wspomaganie analiz bilansowania potrzeb energetycznych budynku i oceny efektywności zastosowania instalacji opartych na zasobach OZE.

Opracowano narzędzie umożliwiające przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych dla budynków, dla których znane są dane geometryczne oraz cechy materiałowo- konstrukcyjne. Obliczenia uwzględniają następujące czynniki mające wpływ na charakterystykę zużycia energii przez budynek, w tym energii z zasobów OZE:

- materiały i konstrukcje przegród budowlanych

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

- liczba, funkcje, wielkość i usytuowanie pomieszczeń
- kształt bryły budynku



Rys. 6.3. Widok głównego okna programu BEST_RE (plik BEST_RE.xls)

- wielkość i rozmieszczenie przeszkleń
- rozwiązanie architektoniczne fasady i zadaszenia, w tym obecność elementów specjalnych, takich jak zacienienia, masy wewnętrzne, roślinność itp.
- bezpośrednie otoczenie budynku
- położenie względem elementów otoczenia
- urządzenia i instalacje wewnętrzne
- technologie i struktura systemu zaopatrzenia w nośniki energii
- równoczesność występowania obciążeń (ciepło, chłód, energia elektryczna)
- zmienność obciążeń w czasie
- zmienność w czasie warunków pogodowych
- zmienność w czasie sposobu użytkowania obiektu
- zdolność akumulacyjna budynku

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Symulacja energetyczna budynku oznacza określenie chwilowych strumieni ciepła doprowadzonych, wyprowadzonych bądź generowanych w poszczególnych elementach jego struktury. W symulacji wykorzystuje się koncepcję strefy cieplnej, stanowiącej podstawową jednostkę bilansową budynku. Pakiet arkuszy kalkulacyjnych oraz aplikacji obliczeniowych, któremu nadano nazwę BEST_RE (**B**uilding **E**nergy **S**imulation **T**ool – **R**enewable **E**nergy), współpracujący z programem MS Excel. Pakiet zawiera następujące skoroszyty:

- BEST_RE.xls – główny skoroszyt symulacji
- RES_VIEW.xls – skoroszyt wizualizacji wyników obliczeń
- SCE_DBS.xls – skoroszyt bazy danych
- pogoda.xls – skoroszyt bazy danych pogodowych.

Ponadto w pakiecie znajduje się główny moduł obliczeniowy ep.exe, który zawiera procedury obliczeniowe pakietu symulacyjnego EnergyPlus. W tym celu dokonano zakupu licencji developerskiej kodu EnergyPlus (pliki źródłowe w języku FORTRAN).

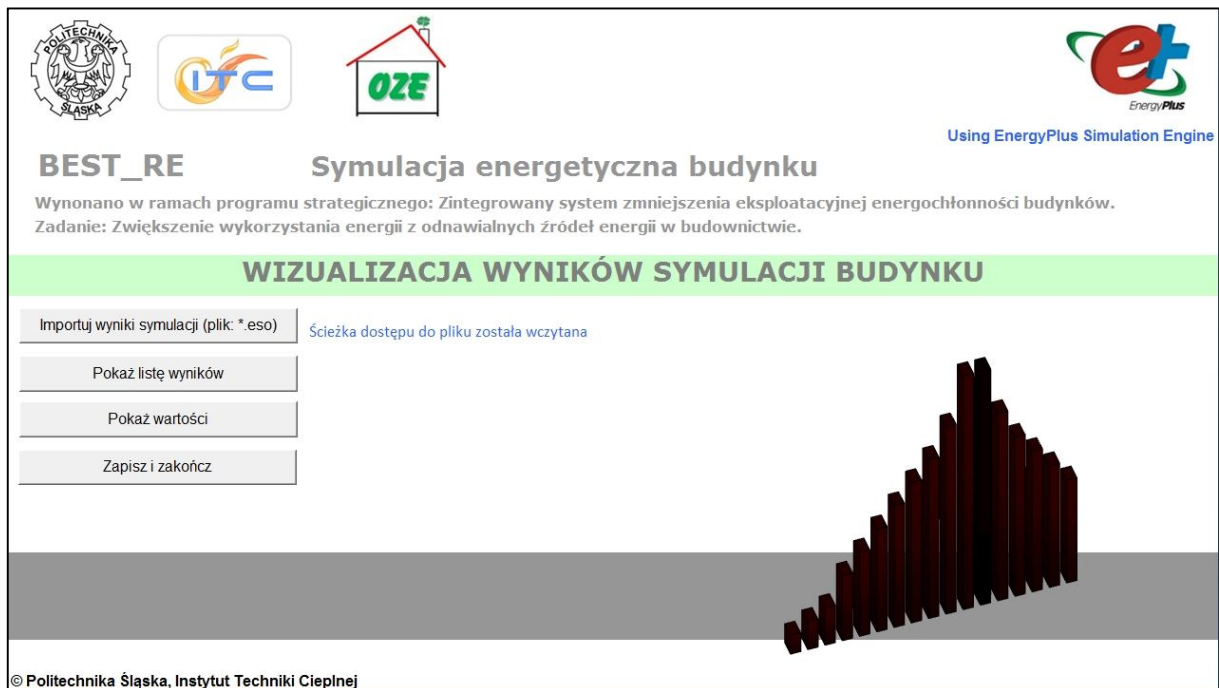
Przeprowadzenie symulacji energetycznej budynku wymaga zdefiniowania przez użytkownika danych wejściowych, które zgodnie z układem kontrolki arkusza (przycisków) obejmują:

- opis ogólny symulacji (tekst)
- dane dotyczące lokalizacji i klimatu w miejscu lokalizacji
- główne parametry symulacji
- zestawienie danych materiałowych i konstrukcyjnych
- geometrię budynku
- określenie wewnętrznych zysków ciepła
- określenie przepływów powietrza wentylacyjnego i infiltrującego
- zadanie wartości parametrów kontrolowanych w trakcie obliczeń (temperatury wewnętrznej w strefach)
- określenie harmonogramów zmienności poszczególnych danych (np. liczba osób w budynku w poszczególnych godzinach doby)
- określenie zakresu wyników symulacji do raportu końcowego.

Wizualizację wyników końcowych otrzymuje się poprzez arkusz wizualizacji wyników (plik RES_VIEW.xls), którego okno główne przedstawiono na rys. 6.4.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Rys.6.4. Widok głównego okna arkusza wizualizacji wyników (plik RES_VIEW.xls)

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Bibliografia do rozdz.6 :

- [6.1] Analiza systemowa gospodarki energetycznej kompleksu budowlanego użyteczności publicznej. Raport z realizacji prac Etapu nr 8 zadania badawczego nr 3/SP/B/3/76/469/10, Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012 r.
- [6.2] Opracowanie, na bazie istniejących kodów symulacji energetycznej budynków, algorytmu programu komputerowego do oceny wpływu struktury budynku na zapotrzebowanie energii, możliwość wykorzystania OZE oraz efektów energetycznych i ekologicznych, wynikających z przyjętej postaci rozwiązania technologicznego źródła. Raport z realizacji prac Etapu nr 15 zadania badawczego nr 3/SP/B/3/76/469/10, Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012 r.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Zadanie badawcze nr 3:

Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w budownictwie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



7. Podsumowanie

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Niniejsza dokumentacja obejmuje Etap nr 18 zatytułowany „Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie”, który jest częścią strategicznego zadania badawczego nr 3 dotyczącego zwiększenia wykorzystania energii z OZE w budownictwie. W ramach tego etapu przeprowadzono analizy i weryfikacje opracowanych we wcześniejszych etapach zadania badawczego nr 3 metod i algorytmów obliczeniowych pozwalających ocenić i zwymiarować wpływ jakości energetycznej budynku na możliwość i zakres wykorzystania zasobów OZE. W ramach realizacji prac badawczych w Etapie nr 18 wykonano weryfikację opracowanych algorytmów obliczeniowych, które następnie zostały zaimplementowane w aplikacjach zintegrowanego programu komputerowego „Analizator OZE”, stanowiącego innowacyjne narzędzie wspomaganie analiz wykorzystania OZE w budynkach.

Godzinowe zapotrzebowanie energii na ogrzewanie i wentylację określa się w oparciu o obliczenia zgodne z algorytmem opracowanym w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów. W przyjętej metodyce obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na ogrzewanie i wentylację budynku uwzględniono wymagania normy europejskiej i krajowej metodologii w zakresie obliczania zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. Wektor godzinowy potrzeb grzewczych oblicza się na podstawie rocznego zapotrzebowania na energię użytkową dla ogrzewania i wentylacji na poziomie instalacyjnym $Q_{H,cal}$, określonego dla całego roku wg normy PN-EN ISO 13790 przy założonych sprawnościach instalacji) lub w przypadku braku szczegółowych danych o budynku istniejącym dla szacunkowej wielkości $Q_{H,cal}$ przyjętej na podstawie wskaźnika E_{Kco} , określającego zapotrzebowanie energii w zależności od wieku budynku. Obliczenie rocznego zapotrzebowania energii dla ogrzewania i wentylacji $Q_{H,cal}$ (według jednej z powyższych metod) pozwala na estymację godzinową tej wartości w skali roku z wyznaczeniem stopniogodzin dla każdej godziny sezonu grzewczego.

Kolejny opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 algorytm służy do obliczeń godzinowego i rocznego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową (c.w.u.) oraz ilości ciepła potrzebnego do jej podgrzania dla budynków jedno- i wielorodzinnych. Na podstawie danych o budynku obliczany jest rozkład godzinowy zużycia w kolejnych dobach roku za pomocą procedury obliczeń krzywej zapotrzebowania godzinowego. Parametry funkcji pozwalającej opisać rozkład godzinowego zapotrzebowania opracowano w oparciu o dane empiryczne. Wynikami obliczeń są: wielkości zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w budynku dla danej godziny roku, wielkości rocznego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w budynku oraz ilości ciepła wymagane do podgrzania c.w.u. w budynku dla danej godziny roku.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 algorytm obliczania godzinowego zapotrzebowania energii na chłodzenie i wentylację budynku uwzględnia wymagania normy europejskiej i krajowej metodologii w zakresie obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. Dla danej lokalizacji budynku, wielkości chłodzonych pomieszczeń, przyjętych wymaganych temperatur wewnętrznych oraz rocznego zapotrzebowania na chłód obliczane są wielkości zapotrzebowania godzinowego. Obliczenia przeprowadza się dla sezonu chłodniczego standardowego tj. od 1 czerwca do 1 września lub dla sezonu niestandardowego z określeniem zewnętrznej temperatury granicznej, dla której wymagane jest chłodzenie pomieszczeń. Ponadto oblicza się także rozkład godzinowy zapotrzebowania na energię elektryczną zużywaną na potrzeby chłodzenia oraz średnią moc chłodniczą w sezonie.

Godzinowe zapotrzebowanie energii elektrycznej w budynku określa się w oparciu o obliczenia zgodne z algorytmem opracowanym w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów. Wyznaczenie godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej dla danego budynku wymaga wprowadzenia wielkości rocznego zapotrzebowania na energię E_r [kWh/rok] oraz przyporządkowanej dla budynku klasy odbiorcy. Podane wartości pozwalają na wprowadzenie z bazy danych wymaganych parametrów dla danej klasy. Rozrzut wartości obciążenia w poszczególnych godzinach doby dla odbiorców danej klasy określony jest współczynnikiem zmienności pozwalającym określić spodziewaną szczytową wartość obciążenia, jaka może wystąpić w danym układzie. Obciążenie odbiorcy określa się dla losowo wybranych numerów przedziałów czasowych (jednej godziny losowo wybranej z 8760 godzin w ciągu roku). Procedura w algorytmie obliczania godzinowego zapotrzebowania energii elektrycznej w budynku jest powtarzana aż do momentu, gdy wylosowane zostaną wszystkie przedziały godzinowe.

Kolejny opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 algorytm dotyczy obliczania godzinowej produkcji ciepła w instalacji pompy ciepła, która może pokrywać zapotrzebowanie tylko na ogrzewanie lub sumarycznie na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Pompa ciepła może pracować z dwoma typami gruntowych wymienników ciepła - powierzchniowym lub pionowym. Dla wymaganej mocy nominalnej potrzeb, z uwzględnieniem współczynnika efektywności energetycznej obiegu pompy ciepła określone są wielkości wymaganej powierzchni terenu (GWC powierzchniowy) lub ilość i głębokość odwiertów (GWC pionowy). W zależności od wielkości terenu, którym dysponuje użytkownik możliwe jest pokrycie całości lub części potrzeb, co jest sygnalizowane w programie. Następnie obliczane są godzinowe wielkości ciepła wytworzonego przez pompę

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



ciepła oraz godzinowe zużycia energii elektrycznej przez napęd sprężarki w obiegu pompy ciepła.

Obliczenia godzinowej produkcję ciepła w instalacji kolektora słonecznego przeprowadza się w oparciu o algorytm opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów. Po wprowadzeniu danych wejściowych program pobiera z bazy danych meteorologicznych (dla podanego położenia geograficznego, nachylenia i usytuowania powierzchni do montażu kolektorów względem stron świata) wartości całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię o podanej orientacji i pochyleniu. Te wielkości pozwalają na wyliczenie godzinowej produkcji energii wytwarzanej przez pojedynczy kolektor przy uwzględnieniu sprawności optycznej oraz współczynnika nasłonecznienia. Następnie określa się niezbędną ilość kolektorów potrzebnych do pokrycia wymaganego zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz ich powierzchnię brutto i porównuje powierzchnię dobranych kolektorów słonecznych z powierzchnią przeznaczoną do ich zabudowy. W przypadku, gdy obliczona powierzchnia kolektorów jest większa od powierzchni dachu, oblicza się procent pokrycia potrzeb ciepłych na przygotowanie ciepłej wody użytkowej przez kolektory słoneczne.

Obliczanie godzinowej produkcji ciepła w kotle do spalania biomasy przeprowadza się zgodnie z sekwencją przedstawioną w algorytmie opracowanym w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z autorami i zespołem programistów. Po określeniu rodzaju dostępnej biomasy, według tabeli zawartej w programie ustala się procentowy udział masowy poszczególnych składników spalania dla wybranej biomasy. Te wartości są podstawą do obliczenia wartości opałowej danego paliwa. W następnej kolejności ustala się zakres pokrycia potrzeb energetycznych przez kocioł opalany biomasą. Analizuje się wektory godzinowe zapotrzebowania energii w poszczególnych dziedzinach, które ma pokryć godzinowa produkcja ciepła z zastosowaniem kotła opalanego biomasą. Taka analiza pozwala na przeprowadzenie końcowego zbilansowania energetycznych potrzeb i produkcji ciepła z zastosowaniem kotła opalanego biomasą w każdej godzinie roku. Po określeniu sprawności dobrego źródła oblicza się roczne zapotrzebowanie na biomasę do opalania kotła.

Opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 16 zadania badawczego nr 3 algorytm obliczania godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie kogeneracyjnym CHP umożliwi przeprowadzenia obliczeń godzinowej produkcji ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu. W algorytmie wykorzystywane są dane dotyczące zapotrzebowania na ciepło

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



i energię elektryczną w budynku, dane opisujące układ technologiczny kogeneratora CHP oraz sposób sterowania układem. Agregat kogeneracyjny CHP może pracować w następujących trybach pracy:

- z mocą dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania energii elektrycznej,
- z mocą dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania ciepła,
- ze stałą mocą elektryczną.

W wyniku obliczeń otrzymuje się wielkości godzinowe produkcji ciepła, energii elektrycznej oraz energii chemicznej zużywanego paliwa, z uwzględnieniem minimum technicznego dla którego możliwa jest praca układu kogeneracyjnego CHP.

Algorytm obliczania produkcji gazu w mikrobiogazowni do współpracy z układem kogeneracyjnym CHP opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 16 zadania badawczego nr 3. Jest to kalkulator symulacyjny *BIOGASFACTORY* oparty na arkuszu obliczeniowym Excel, pozwalający wyznaczyć ilości biometanu w oparciu o użyte substraty do fermentacji w akceleratorze mikrobiogazowni rolniczej, uwzględniający zależności, warunki konieczne i progowe oraz niezbędne dane wejściowe dla przeprowadzenia obliczeń według użytych ilości i rodzaju substratów. Wytworzony biometan zasilając kogenerację CHP pozwala w systemie skojarzonym wytworzyć ciepło i energię elektryczną. Na bazie opracowanego kalkulatora symulacyjnego zaprogramowano moduł obliczeniowy dla mikrobiogazowni, będący aplikacją w zintegrowanym programie komputerowym wspierającym analizy możliwości wykorzystania OZE. Przy jego pomocy można będzie wyznaczać parametry eksploatacyjne instalacji z mikrobiogazownią zasilającą kogenerację CHP pracującą ze stałą mocą cieplną i elektryczną. Kalkulator symulacyjny pozwoli wyznaczyć produkcję ciepła i energii elektrycznej dla dobranych substratów i warunków progowych.

Opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej PV wymaga danych wejściowych obejmujących lokalizację obiektu (długość i szerokość geograficzna) i usytuowanie względem stron świata dla których uzyskujemy wartość całkowitą gęstości strumienia promieniowania słonecznego. Po określeniu wielkości powierzchni dostępnej pod montaż paneli PV oraz danych technicznych preferowanych ogniw wykonywane są obliczenia godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej, teoretycznej i rzeczywistej mocy układu oraz jego sprawności. Możliwości techniczne instalacji obliczane są jako wartości teoretyczne z uwzględnieniem sprawności akumulacji. Obliczane są następujące wielkości w skali rocznej: energia końcowa teoretyczna, całkowita moc teoretyczna, średnia teoretyczna moc instalacji fotowoltaicznej. Następnie oblicza się wartości

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

parametrów technicznych możliwych do uzyskania w skali rocznej: energia końcowa techniczna, całkowita moc techniczna, średnia techniczna moc instalacji fotowoltaicznej PV.

Kolejny opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji mikrowiatraka służy do obliczeń przy danej lokalizacji obiektu, wielkości rocznej produkcji energii elektrycznej przez mikrowiatraki (turbiny wiatrowe) w rozkładzie godzinowym oraz stopnia pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną dla budynku lub grupy budynków. Danymi wejściowymi do przeprowadzenia obliczeń są: położenie geograficzne (długość, szerokość), typ terenu, roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną przez budynek oraz liczba mikrowiatraków. Dla danej lokalizacji obiektu wyszukiwana jest z bazy danych znajdująca się najbliżej stacja meteorologiczna, dla której wczytywane są wielkości nominalnych prędkości wiatru dla każdej godziny w roku. Następnie przy zadanej liczbie wiatraków dla każdego z nich wprowadza się następujące dane: typ mikrowiatraka, wysokość zainstalowania mikrowiatraka ponad poziomem terenu, powierzchnia czynna i moc znamionowa pojedynczego mikrowiatraka. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymuje się: wielkość produkcji energii elektrycznej przez pojedynczy mikrowiatrak w danej godzinie roku, łączną produkcję energii elektrycznej przez mikrowiatraki i stopień pokrycia zapotrzebowania budynku na energię elektryczną.

Na podstawie opracowanego w ramach realizacji prac Etapu nr 17 zadania badawczego nr 3 algorytmu obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej, zaimplementowano moduł obliczeniowy w zintegrowanym programie komputerowym wspomagającym analizy możliwości wykorzystania OZE w pokryciu zapotrzebowania na energię w budynku. Mając możliwość wykorzystania istniejącego ciekłu wodnego do wytwarzania energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej wyznacza się średnie roczne natężenie przepływu w ciekłu wodnym. Dla określenia przepływu wybiera się jedną z czterech metod obliczeniowych. Tabela doboru typu turbiny wodnej zaimplementowana w programie, pozwala na porównanie uzyskanych wartości strumienia i spadku użytecznego z zakresem wartości podanym w tabeli i wyborem typu turbiny. Zgodnie z danymi producenta dobiera się urządzenie o właściwej charakterystyce. Dla średniego godzinowego przepływu wody w ciekłu oblicza się godzinową produkcję energii elektrycznej, a następnie wielkość rocznej produkcji energii elektrycznej $E_{el,r}$ w dobranej turbinie wodnej. Algorytm obliczania godzinowej produkcji energii elektrycznej w instalacji małej elektrowni wodnej pozwala na wyliczenie w jakim stopniu turbina wodna pokrywa zapotrzebowanie na energię elektryczną w budynku, co jednocześnie określa w jakim stopniu potrzeby energii pokrywane są produkcją z wykorzystaniem tego typu OZE.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Algorytm obliczeniowy dla bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji ciepła w OZE w zakresie ogrzewania i wentylacji budynku oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Dla potrzeb przygotowania programu komputerowego schemat algorytmu został skorygowany i uzgodniony z jego autorami i zespołem programistów. Struktura obliczeń opiera się na osobnych bilansach ciepła i energii elektrycznej i przedstawiona jest w następujących schematach blokowych:

- schemat algorytmu bilansowania ciepła,
- schemat algorytmu bilansowania energii dla potrzeb ogrzewania i przygotowania c.w.u.

W drugim przypadku bilansowym, gdy część energii elektrycznej wyprodukowana w instalacjach wykorzystujących OZE, magazynowana jest w zasobniku ciepła, bilans ciepła i energii elektrycznej jest łączny. Dotyczy to nadwyżek energii elektrycznej, gdy wytworzona energia zasila grzałkę elektryczną zainstalowaną w zasobniku ciepła, będącym akumulatorem ciepła dla potrzeb ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

W obliczeniach zakłada się, że źródłem podstawowym może być kolektor słoneczny. Jako źródło szczytowe produkcji ciepła proponuje się zastosowanie pompy ciepła, kotła konwencjonalnego opalanego paliwem stałym lub gazowym, kotła na biomasę lub agregatu kogeneracyjnego ustawionego w trybie pracy z mocą dostosowaną do zapotrzebowania ciepła. Szczytowe zapotrzebowanie ciepła może być również pokryte przez sieć ciepłowniczą.

Parametry zasobnika ciepła takie jak pojemność, różnica temperatur nominalnych zasilania i powrotu, średnica rury dolotowej, maksymalna temperatura wody w zasobniku mogą być podane w ramach algorytmu bilansowego przez użytkownika lub pobrane z wcześniejszych obliczeń w programie. Algorytm bilansowania ciepła przedstawia możliwości przepływu, akumulowania i rozładowania ciepła z produkcji całej energii na potrzeby grzewcze w i-tej godzinie pomniejszonej o energię na przygotowanie c.w.u. Jest to wynikiem założenia, że priorytetem jest pokrycie potrzeb ciepła na przygotowanie ciepłej wody użytkowej. W każdej godzinie analizowane są przepływy nadwyżek produkowanego ciepła (ponad potrzeby c.w.u.) na jego akumulację i pobór ciepła z zasobnika dla zaspokojenia niedoboru w zakresie ogrzewania. W przypadku występowania niedoborów ciepła przed włączeniem źródła szczytowego algorytm sprawdza w pierwszej kolejności, czy możliwe jest pobranie energii z zasobnika.

Wynikiem obliczeń zgodnie z algorytmem bilansu ciepła są wartości procentowego użytkowania zasobnika ciepła, procentowego wykorzystania źródła szczytowego, wektorów rocznych godzinowych nadwyżek i niedoborów ciepła, procentowego zaspokojenia potrzeb na ogrzewanie i c.w.u. przez zasoby OZE.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



W drugim przypadku bilansowania energii stosuje się algorytm dla wspólnego bilansowania energii elektrycznej wyprodukowanej w OZE i ciepła dla pokrycia potrzeb w zakresie ogrzewania i c.w.u. Uwzględnia się wtedy dwa algorytmy bilansowania: algorytm bilansowania ciepła i algorytm bilansowania energii elektrycznej. Nadwyżki w produkcji energii elektrycznej ponad potrzeby są akumulowane w postaci ciepła w zasobniku ciepła, poprzez grzałkę zasilaną energią elektryczną wytworzoną w instalacji OZE. W tym schemacie algorytmu bilansowego uwzględnia się potrzeby chłodzenia pomieszczeń poprzez zapotrzebowanie energii elektrycznej zapewniającej działanie urządzeń chłodniczych. Obliczenia zgodnie z algorytmem bilansowania energii dla potrzeb ogrzewania i przygotowania c.w.u. stosuje się przy dodatkowym wyposażeniu zasobnika ciepła w grzałkę elektryczną zasilaną energią elektryczną wytworzoną w odnawialnym źródle. Taki układ jest praktycznym przykładem konwersji energii elektrycznej na ciepło.

Opracowany w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3 algorytm obliczeniowy bilansowania w budynku zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej służy do obliczeń godzinowego i rocznego bilansu zapotrzebowania na energię elektryczną oraz jej produkcji przez OZE i dostaw z sieci krajowego systemu elektroenergetycznego. Schemat algorytmu opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Obliczenia prowadzi się dla budynków jedno- i wielorodzinnych. Danymi wejściowymi są: wektor zapotrzebowania godzinowego energii elektrycznej, wektor produkcji godzinowej energii elektrycznej przez źródło podstawowe, parametry źródła szczytowego lub moc zamówiona z sieci dystrybucyjnej, parametry akumulatora energii elektrycznej (w przypadku ich deklaracji przez użytkownika) oraz wymagana liczba dni autonomicznej pracy systemu.

Jeżeli użytkownik nie zadeklarował akumulatora w instalacji elektrycznej budynku w module programowym dotyczącym zapotrzebowania na energię elektryczną, możliwy jest automatyczny dobór akumulatora. W doborze sumarycznej pojemności akumulatora lub akumulatorów bierze się także pod uwagę liczbę dni autonomii systemu. W każdej godzinie roku wyznaczana jest nadwyżka lub niedobór produkcji energii elektrycznej w stosunku do jej zapotrzebowania. Jeżeli nadwyżka produkcji jest dodatnia następuje proces ładowania akumulatora. W przeciwnym wypadku występujące zapotrzebowanie na energię w pierwszym rzędzie pokrywane jest z akumulatora. Zarówno ładowanie, jak i rozładowanie akumulatora opisane są oddzielnymi procedurami uwzględniającymi ograniczenia: maksymalna pojemność dobranego akumulatora (lub akumulatorów), maksymalna możliwa energia do zakumulowania w godzinie, która dla standardowych urządzeń wynosi około 10% ich całkowitej pojemności oraz maksymalna możliwa do pobrania z akumulatora ilość energii w danej godzinie równa jego pojemności. Jeżeli użytkownik zadeklarował obecność grzałki elektrycznej w zasobniku ciepła, nadwyżki energii elektrycznej, przekraczające możliwości

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



akumulacji, mogą być wykorzystane do podgrzania wody w zasobniku. Ilość ciepła wytwarzanego przez grzałkę jest uwzględniana w bilansie energii zasobnika ciepła.

W dalszej kolejności w module bilansowym oblicza się nadwyżkę niewykorzystaną w danej godzinie jako różnicę produkcji oraz zapotrzebowania i energii zakumulowanej (z uwzględnieniem produkcji ciepła magazynowanego w zasobniku ciepła) lub niedobór z uwzględnieniem akumulatora jako różnicę niedoboru i energii pobranej z akumulatora. Jeżeli niedobór ten jest większy od zera należy go pokryć ze źródła szczytowego energii elektrycznej. Wtedy niedobór w danej godzinie równy jest różnicy niedoboru z uwzględnieniem akumulacji i produkcji źródła szczytowego w danej godzinie. Wynikami obliczeń są: pojemność akumulatora, stopień wykorzystania akumulatora, stopień wykorzystania źródła szczytowego, wektor nadwyżek produkcji energii elektrycznej, wektor niedoborów energii elektrycznej.

Charakterystykę funkcji korzyści oraz kryteria stosowane do oceny rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię opracowano na podstawie dokumentacji z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. W celu wybrania najkorzystniejszego wariantu realizacji inwestycji z zastosowaniem OZE konieczne jest przeprowadzenie analizy porównawczej różnych wariantów zaopatrzenia budynku w energię. Wybrana wersja realizacji inwestycji jest wynikiem wielokryterialnego rozpatrzenia możliwych do zastosowania wariantów. Analiza wariantowa uwzględnia wiele czynników warunkujących wybór przedsięwzięcia. Należą do nich grupy kryteriów charakteryzowane parametrami technicznymi, ekonomicznymi, ekologicznymi, prawnymi, społecznymi, organizacyjnymi itp. Są one pomocne do podjęcia decyzji finalnej przez potencjalnych użytkowników t.j. właścicieli, inwestorów, administratorów, zarządców nieruchomości, deweloperów i projektantów. Narzędziem służącym do prognozowania i podjęcia właściwej decyzji dla konkretnego użytkownika jest funkcja korzyści. Pozwala określić dla wybranego dopuszczalnego rozwiązania zaopatrzenia w energię oraz towarzyszącemu mu rezultatowi i warunków otoczenia zewnętrznego wartość zwaną korzyścią. W programie komputerowym wykorzystano cztery grupy kryteriów oceny danego rozwiązania: kryteria techniczne, kryteria ekonomiczne, kryteria środowiskowe i kryteria inne – niemierzalne.

Najbardziej rozpowszechnione wśród użytkowników, w zakresie analiz wyboru rozwiązań inwestycyjnych w budownictwie są kryteria ekonomiczne. Określane są na podstawie rezultatów technicznych i ekonomicznych wyboru rozwiązania zaopatrzenia w energię. Analiza kryteriów ekonomicznych pozwala ocenić koszty inwestycyjne przyjętego rozwiązania oraz koszty eksploatacyjne w określonej skali czasowej, jakie będzie ponosił użytkownik. Miarą analiz ekonomicznych są następujące wielkości: nakłady inwestycyjne, roczne koszty eksploatacyjne, wartość zaktualizowana netto, wskaźnik wartości bieżącej netto, wskaźnik

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie

zyskowności lub opłacalności, wartość zdyskontowanego okresu zwrotu, wewnętrzna stopa zwrotu. Kolejną grupą kryteriów oceny rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię są kryteria środowiskowe (ekologiczne). Mogą mieć charakter ilościowy i jakościowy. Kryteria środowiskowe stosowane do oceny rozwiązań zaopatrzenia budynku w energię przyjęto na podstawie dokumentacji z realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Jako kryterium oceny danego wariantu rozwiązania w programie komputerowym przyjęto wielkość emisji dwutlenku węgla wprowadzanego do powietrza w wyniku spalania paliw dla wytworzenia energii pokrywającej potrzeby budynku.

Opracowany algorytm obliczeniowy rankingu rozwiązań wykorzystania OZE w budynkach służy do oceny różnych wariantów rozwiązań zaopatrzenia budynku w ciepło i energię elektryczną z wykorzystaniem OZE. Schemat algorytmu opracowano w ramach realizacji prac Etapu nr 7 zadania badawczego nr 3. Danymi wejściowymi do przeprowadzenia obliczeń są: lista bilansów (wariantów rozwiązań) ze zdefiniowanymi przez użytkownika programu kryteriami oceny i lista wag przypisanych poszczególnym kryteriom (określana przez użytkownika). Wynikiem obliczeń jest lista dominacji dla każdego z wariantów rozwiązania zaopatrzenia w energię (bilansu). Ocena i ranking rozwiązań przeprowadza się w następujących etapach:

- Wybór przez użytkownika programu kryteriów mierzalnych (technicznych, ekonomicznych i ekologicznych) oraz niemierzalnych (komfort użytkownika, bezpieczeństwo dostaw energii, udział OZE) dla oceny rozwiązań.
- Określenie wag poszczególnych kryteriów.
- Normalizacja wag kryteriów do wielkości z przedziału $[0,1]$.
- Dokonanie ocen poszczególnych rozwiązań z wykorzystaniem wybranych kryteriów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych w oparciu o rezultaty decyzji.
- Wyznaczenie wartości funkcji preferencji dla wszystkich par ocen wg kryteriów mierzalnych i niemierzalnych.
- Normalizacja wartości funkcji preferencji dla wszystkich par decyzji wg wybranych do analizy kryteriów.
- Wyznaczenie wielokryteriowych indeksów preferencji dla wszystkich par obiektów.
- Wyznaczenie przepływów dominacji (wyjścia, wejścia i netto) dla każdego z rozwiązań.
- Ustalenie rankingu rozwiązań na podstawie przepływów dominacji netto.

Przepływ dominacji netto jest różnicą pomiędzy przepływem dominacji wyjścia i przepływem dominacji wejścia. Wartość przepływu dominacji netto informuje o wielkości i charakterze dominacji danego rozwiązania względem pozostałych $n-1$ rozwiązań. Dodatnia wartość

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



przepływu dominacji oznacza, że obiekt jest w grupie rozwiązań dominujących (lepszych), ujemna zaś, że jest w grupie rozwiązań zdominowanych (gorszych). Ranking rozwiązań otrzymuje się porządkując je od największej wartości przepływu dominacji netto do najmniejszej.

Dla wsparcia analiz bilansowania potrzeb energetycznych budynków i zwiększenia wykorzystania lokalnych zasobów OZE utworzono stronę internetową zawierającą produkty uzyskane w wyniku realizacji prac w zadaniu badawczym nr 3.

Głównym produktem uzyskanym w zadaniu badawczym nr 3 jest zintegrowany program komputerowy „Analizator OZE”, będący innowacyjnym narzędziem wspierania i wdrażania instalacji wykorzystujących potencjał OZE dla pokrywania zapotrzebowania ciepła i energii elektrycznej w budynkach mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych. Bilansowanie energii odbywa się osobno dla energii elektrycznej i dla ciepła w kroku godzinowym. Program „Analizator OZE” jest monolityczną samodzielną aplikacją uruchamianą na komputerze użytkownika. Aplikacja napisana została w języku programowania Java w wersji 6. Program „Analizator OZE” udostępniany jest w postaci paczki instalacyjnej. Po pobraniu pliku „AnalizatorOZE_instalator.exe” należy go uruchomić na komputerze docelowym i przeprowadzić proces instalacji zgodnie z instrukcjami wyświetlanymi na ekranie. Po zainstalowaniu programu dostępny jest on w Menu Start lub opcjonalnie na Pulpicie.

Na utworzonej stronie internetowej, której roboczym adresem na dzień 28.12.2012 r. jest <http://83.230.121.90> z komputerowymi narzędziami wspomaganymi analiz wykorzystania OZE w budynkach, zamieszczono również program do analizy gospodarki energetycznej budynku użyteczności publicznej, który został zaimplementowany jako wynik prac badawczych wcześniej realizowanych w Etapie nr 8 w ramach zadania badawczego nr 3. Zakres badawczy obejmował zastosowanie metody systemowej do analizy energetyczno-ekologicznej kompleksu budowlanego użyteczności publicznej. Opracowane algorytmy obliczeniowe stanowią oddzielny moduł obejmujący analizę energetyczno-ekologiczną budynku użyteczności publicznej. Zamieszczona aplikacja może wspomagać analizę systemową gospodarki energetycznej w kompleksie budynku użyteczności publicznej. Jej użycie wymaga przygotowania danych i określenia wskaźników zużycia poszczególnych nośników energii i masy w danym okresie rozpatrywanej analizy. Parametry wynikowe z przeprowadzonej analizy systemowej dla wybranego okresu bilansowania przedstawiane są na wykresach i w tablicach. Proponowany okres bilansowania na potrzeby analizy energetyczno-ekologicznej to 1 rok lub 1 miesiąc.

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie



Kolejnym narzędziem wspomagania analiz wykorzystania OZE w budynkach zamieszczonym również na stronie internetowej jest program BEST_RE, który został zaimplementowany jako wynik prac badawczych wcześniej zrealizowanych w Etapie nr 15 w ramach zadania badawczego nr 3. Program BEST_RE służy do symulacji energetycznej budynku i został opracowany z wykorzystaniem kodu programu EnergyPlus. Umożliwia modelowanie struktury budynku i jego cech architektoniczno-budowlanych w aspekcie minimalizacji zużycia energii i maksymalnego wykorzystania zasobów OZE. Program pozwala na przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych budynku dla którego znane są parametry geometryczne i cechy konstrukcyjne. Symulacja energetyczna budynku obejmuje określenie chwilowych strumieni energii doprowadzonych, wyprowadzonych i generowanych w poszczególnych elementach jego struktury. Podstawową jednostką bilansową w budynku jest zdefiniowana strefa cieplna. Przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych wymaga od użytkownika wprowadzenia danych wejściowych zgodnie z układem arkusza kalkulacyjnego. Opracowane narzędzie umożliwia przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych dla budynków o znanej geometrii i cechach materiałowo- konstrukcyjnych. Wizualizację wyników końcowych otrzymuje się poprzez arkusz wizualizacji wyników.

Dostępne na stronie internetowej, której roboczym adresem na dzień 28.12.2012 r. jest <http://83.230.121.90>, opracowane programy komputerowe umożliwiają przeprowadzenie wariantowych analiz bilansu energii dla stosowania różnych instalacji OZE w budynkach mieszkalnych, co wraz z oceną wskaźników ekologiczno-ekonomicznych pozwala wskazać najkorzystniejsze rozwiązanie dla takich przedsięwzięć termomodernizacyjnych. To wsparcie narzędziowe może być stosowane przy opracowywaniu audytów energetycznych dla termomodernizowanych budynków, co powinno przyczynić się do zwiększenia wykorzystania zasobów OZE w pokrywaniu potrzeb energetycznych w budownictwie.



8. Załączniki

Etap nr 18:

Opracowanie systemu komputerowego dotyczącego wykorzystania OZE w budownictwie