

# Instalacja ogrzewcza z pompą ciepła i kotłem gazowym

## Ocena energetyczna przedsięwzięcia za pomocą pakietu RETScreen®

*Heating Installation with Heating Pump and Gas Boiler  
Energy Assessment of the System by Using RETScreen® Package*

JACEK ZIMNY\*)  
PIOTR MICHALAK\*\*)   
KRZYSZTOF SZCZOTKA\*\*\*)

**Słowa kluczowe:** pompa ciepła, kolektor gruntowy, kocioł gazowy

### Streszczenie

Opisano zastosowanie pakietu obliczeniowego RETScreen® International do oceny projektu instalacji ogrzewczej z pompą ciepła i kolektorem gruntowym wspomaganą kotłem gazowym. Rezultaty obliczeń porównano z danymi dla obiektu rzeczywistego.

**BUDYNEK**, dla którego przeprowadzono obliczenia, został opisany we wcześniejszych publikacjach [7]. Do obliczeń wykorzystano pakiet RETScreen® [8], służący do oceny technicznej, ekonomicznej i ekologicznej inwestycji w zakresie wytwarzania i oszczędzania energii na podstawie energooszczędnych technologii i odnawialnych źródeł ciepła.

Jako podstawowe źródło ciepła dla budynku przyjęto sprężarkową pompę ciepła typu solanka/woda. Dolnym źródłem ciepła jest gruntowy wymiennik ciepła. Źródłem wspomagającym jest kocioł gazowy uzupełniający zapotrzebowanie szczytowe. Za dane wejściowe do analiz posłużyły rezultaty obliczeń zawarte w audycie energetycznym szkoły [6].

Do określenia parametrów wymiennika gruntowego przyjęto, że ułożony on zostanie na głębokości około 1,5 m pod powierzchnią gruntu. Teren przeznaczony pod wymiennik jest podmokły, charakteryzuje się dobrymi warunkami wymiany ciepła. Na podstawie literatury [2], [3] przyjęto średnią roczną temperaturę gruntu na głębokości położenia wymiennika równą + 9 °C. Amplituda wahań temperatury gruntu na tej głębokości wynosi 8 °C. Ze względu na eksploatację cieplną i ochłodzenie gruntu, założono średnią temperaturę czynnika roboczego (solanki) w kolektorze gruntowym równą + 5 °C.

\*) Prof. dr hab. inż. Jacek Zimny

\*\*) Dr inż. Piotr Michalak pmichal@agh.edu.pl

\*\*\*) Mgr inż. Krzysztof Szczotka

Katedra Energetyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków

**Keywords:** a heating pump, a ground collector, a gas boiler

### Abstract

An application of the RETScreen® International computational package is described. The package is used for an assessment of a heating system design. The installation includes a heating pump and a ground collector, assisted with a gas boiler. The computation results have been compared with the data of an existing object.

© 2006-2010 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.  
All right reservet

Na podstawie takich założeń i danych producenta pompy ciepła [5], przyjęto średni współczynnik efektywności COP = 3,8 dla trybu ogrzewania. Założono średnią temperaturę obiegu górnego pompy ciepła (instalacja c.o.) 45 °C. Moc grzewcza pompy ciepła dla tych parametrów wynosi 90 kW. Ewentualny niedobór ciepła uzupełniony zostanie przez kocioł gazowy będący własnością inwestora. Sprawność systemu ogrzewczego po modernizacji wyniosła wg audytu [6] 90,25%, a sprawność całkowita, z uwzględnieniem pompy ciepła: 3,16.

### Obliczenia

Oknem startowym programu jest „Start”. Dokonuje się tam wyboru rodzaju projektu – tutaj jest to „Ciepło i chłód”. Następnie zaznacza miarodajną stację meteorologiczną (tu: Nowy Sącz). Po tym automatycznie otwierają się następne arkusze: „Zapotrzebowania i sieć”, „Model systemu” oraz „Narzędzia”.

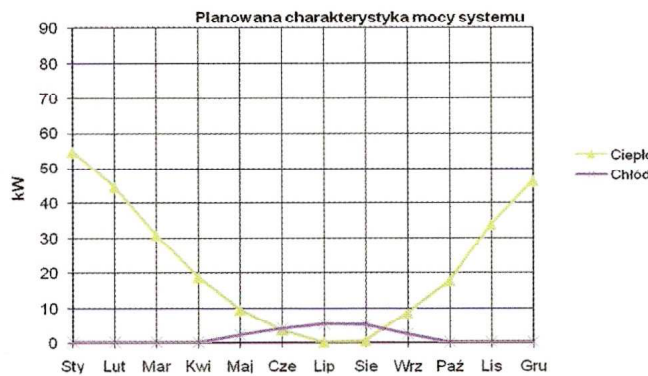
Kolejnym krokiem są obliczenia wykonywane w arkuszu „Zapotrzebowania i sieć” (rys. 1). Określa się w nim zapotrzebowanie na ciepło i chłód obiektu dla stanu bazowego i planowanego, tj. przed i po modernizacji. Wprowadzane są tu przez użytkownika podstawowe parametry budynku (powierzchnia, zapotrzebowanie na ciepło) oraz rodzaje źródeł ciepła i chłodu, ich parametry techniczne (sprawność, moc) i koszty nośników energii. Na tej podstawie program wylicza zapotrzebowanie na ciepło i chłód netto dla stanu bazowego i planowanego i określa roczne zużycie oraz koszt paliw.

Część ciepłownicza		Jednostka	
<b>System ciepłowniczy - stan bazowy</b>			
Pojedynczy budynek - ogrzewanie			
Powierzchnia ogrzewana budynków	m <sup>2</sup>	2 812	
Rodzaj paliwa		Węgiel	
Sprawność sezonowa	%	39%	
Obliczanie zapotrzebowania ciepła/mocy			
Jedn. zap. ciepła/mocy - budynek	W/m <sup>2</sup>	67,6	
Zapotrzebowanie na ciepło według użytkownika	%	0%	
Łączne zapotrzebowanie ciepła	MWh	311	
Łączne szczytowe zapotrzebowanie mocy grzewczej	kW	150,3	
Zużycie paliwa - roczne	t	88	
Cost paliwa	\$/MWh	640,000	
Koszty paliwa	\$	47 613	
<b>Planowane przedsięwzięcia energooszczędne</b>			
Przedsięwzięcia energooszczędne - odbiory końcowe	%	34%	
Szczytowe zapotrzebowanie mocy cieplnej netto	kW	99,2	
Zapotrzebowanie na ciepło netto	MWh	205	

Część chłodnicza		Jednostka	
<b>System chłodniczy - stan bazowy</b>			
Pojedynczy budynek - chłodzenie			
Powierzchnia chłodzona budynków	m <sup>2</sup>	2 812	
Rodzaj paliwa		Energia elektryczna	
Współczynnik efektywności - sezonowy		3,18	
Obliczanie zapotrzebowania chłodu/mocy			
Jedn. zap. chłodu/mocy - budynek	W/m <sup>2</sup>	4,3	
Chłodzenie niezależne od pogody	%	0%	
Łączne zapotrzebowanie chłodu	MWh	15	
Łączne szczytowe zapotrzebowanie mocy chłodniczej	kW	11,2	
Zużycie paliwa - roczne	MWh	5	
Cost paliwa	\$/MWh	0,500	
Koszty paliwa	\$	2 350	
<b>Planowane przedsięwzięcia energooszczędne</b>			
Przedsięwzięcia energooszczędne - odbiory końcowe	%	0%	
Szczytowe zapotrzebowanie mocy chłodniczej netto	kW	11,2	
Zapotrzebowanie na chłód netto	MWh	15	

Rys. 1. Arkusz „Zapotrzebowania i sieć”



Rys. 2. Przebieg mocy cieplnej dla stanu planowanego z arkusza „Model systemu”

W rzeczywistym obiekcie nie było chłodzenia przed modernizacją. Jednak ze względu na ustawienia programu, uniemożliwiający wyłączenie tej opcji dla jednego ze stanów (bazowy/planowany) obliczenia dotyczące chłodzenia zostały przeprowadzone tak jak dla ogrzewania – dla stanu bazowego i planowanego.

W stanie bazowym sprawność całkowita systemu ogrzewczego, z uwzględnieniem źródła ciepła, wynosiła 39%. Podstawowym źródłem ciepła była kotłownia węglowa. Po modernizacji, według audytu, miała nastąpić redukcja mocy szczytowej kotłowni o 34% ze 150 do 99 kW.

Nie mając audytu energetycznego budynku można wykonać niezbędne obliczenia cieplne budynku w programie RETScreen. Przedstawiono je w [8], gdzie wyznaczono, m.in. zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku w stanie przed i po jego modernizacji.

Widać, że walutą używaną w obliczeniach są dolary USA. Nie stanowi to żadnego problemu praktycznego do

obliczeń w złotych. Należy tylko podawać odpowiednie wartości cen i kosztów.

Dla stanu bazowego i planowanego program sporządza także charakterystykę mocy systemu ogrzewczego (rys. 2), czyli przebieg zmienności mocy grzewczej i chłodniczej w kolejnych miesiącach całego roku w formie tabel i wykresów. Ich liczba jest oczywiście uzależniona od stopnia złożoności analizowanego systemu.

Po wykonaniu obliczeń w arkuszu „Zapotrzebowania i sieć” przechodzi się do uzupełnienia arkusza „Model systemu”. Dla stanu bazowego i planowanego użytkownik określa rodzaj, moce i sprawności urządzeń ogrzewczych i chłodniczych oraz ceny nośników energii. Możliwy jest także wybór urządzeń ogrzewczych z dostępnego, i ciągle rozbudowywanego, katalogu. Program sporządza charakterystykę planowanego systemu (rys. 3), w której znajdują się:

- ciepło/chłód dostarczone przez poszczególne źródła,
- obciążenie źródeł,
- wykresy pokrycia mocy i energii przez poszczególne źródła ciepła i chłodu,
- zapotrzebowanie na paliwa dla poszczególnych źródeł.

Dalsza część arkusza „Model systemu” zawiera znane, przedstawione już wcześniej [8] części „Ocena emisji” oraz „Analiza finansowa”. Dlatego też nie będą one tutaj szerzej omawiane.

Kolejny arkusz – „Narzędzia” – jest już uzupełniany przez użytkownika opcjonalnie, według jego potrzeb i uznania. Zawiera on szereg dodatkowych arkuszy obliczeniowych [4]. Spośród nich, na potrzeby niniejszego przykładu, wykorzystano „Gruntowy wymiennik ciepła”. Po jego zaznaczeniu w okienku wyboru, pojawia się on w formie przeznaczony do uzupełniania i prowadzenia obliczeń. Zawiera on kolejno następujące części: „Pompa ciepła”, „Warunki terenowe”, „Gruntowy wymiennik ciepła” oraz „Jednostkowe koszty projektu”.

TABELA 1. Efektywność pompy ciepła w trybie grzania i chłodzenia [1]

Poziom efektywności	Tryb grzania	Tryb chłodzenia
Standardowy, COP =	2,8	3,5
Średni, COP =	3,2	4,5
Wysoki, COP =	4,0	5,5
Temperatura wewnętrzna budynku, °C	21	27
Temperatura wody zasilającej, kolektor pionowy, °C	10	21
Temperatura wody zasilającej, kolektor poziomy, °C	0	25

W części „Pompa ciepła” użytkownik wprowadza kolejno:

- moc – moc znamionową pompy ciepła, tu: 90 kW,
- moc średnia – moc średnią pompy ciepła dla roku lub części okresu ogrzewczego (według uznania użytkownika), tu: założono średnią z okresu ogrzewczego X-IV według danych z karty „Planowana charakterystyka mocy systemu” (rys. 2), która wyniosła 35 kW,
- sprawność – ustalana w trzech kategoriach: standardowo/średnio/wysoko (tab. 1) lub też dowolnie przez użytkownika. W ramach tej ostatniej opcji możliwe jest także skorzystanie z katalogu dostępnych urządzeń. Przyjęto dla danych warunków rzeczywistego obiektu sprawność definiowaną przez użytkownika: dla trybu grzania 3,8 i dla chłodzenia 3,0.

Następna część obliczeń związana jest z wyborem rodzaju gruntu dla kolektora. Dostępne rodzaje gruntu przedstawiono w tabeli 2. Podane

Charakterystyka planowanego systemu	Jednostka	Wartość	%	Definiowane koszty początkowe	Prezentacja graficzna konfiguracji systemu
<b>Ciepło</b>					
Obciążenie podstawowe - ciepło					
Technologia		Pompa ciepła	90,7%		
Moc	kW	90,3	99,4%		
Ciepło dostarczone	MWh	205			
Obciążenie szczytowe - ciepło					
Technologia					
Rodzaj paliwa					
Cost paliwa	\$/MWh				
Proponowana moc	kW		92,7%		
Moc	kW		0,6%		
Ciepło dostarczone	MWh				
<b>Chłód</b>					
Obciążenie podstawowe - chłód					
Technologia		Pompa ciepła	100,0%		
Rodzaj paliwa		Energia elektryczna			
Moc	kW	11,2	100,0%		
Chłód dostarczony	MWh	15			
Zakładanie awaryjne - chłód (opcjonalnie)					
Technologia					
Moc	kW				
<b>Planowany system - porównanie</b>					
Rodzaj paliwa					
Ciepło	Energia elektryczna	MWh	67	90	204
Obciążenie podstawowe	Gas ziemny	MWh	150	92	1
Obciążenie szczytowe		Raam	182	182	205
Chłód		MWh	6	50	16
Obciążenie podstawowe	Energia elektryczna	MWh	6	50	16

Rys. 3. Charakterystyka planowanego systemu – arkusz „Model systemu”

wartości są pomocne, szczególnie w przypadku znajomości podstawowych parametrów gruntu pod planowane przedsięwzięcie. Tutaj przyjęto grunt lekki wilgotny.

TABELA 2. Rodzaje i parametry gruntu [1]

Rodzaj gruntu	Przewodność, W/(m·°C)	Dyfuzyjność, x 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s	Gęstość, kg/m <sup>3</sup>	Ciepło właściwe, kJ/(kg·°C)
Grunt lekki wilgotny	0,9	5,16	1,60	1,05
Grunt lekki suchy	0,3	2,84	1,40	0,84
Gleba ciężka wilgotna	1,3	6,45	2,10	0,96
Gleba ciężka sucha	0,9	5,16	2,00	0,84
Lekka skała	2,4	1,03	2,80	0,84
Skała zwięzła	3,5	1,29	3,20	0,84
Zmarzlina – lekka	1,4	1,10	1,58	0,76
Zmarzlina – zwarta	2,0	1,37	2,07	0,69

Kolejną częścią wypełnianego arkusza jest „Gruntowy wymiennik ciepła” (rys. 4). Dostępne są trzy rodzaje wymienników, tj.: pozioma lub pionowa wężownica zamknięta oraz woda gruntowa. Następnie, wybiera się kryterium projektowe wymiennika: zaopatrzenie budynku w ciepło lub chłód i powierzchnię terenu pod planowany wymiennik. Dla wężownic dostępny jest także wybór sposobu ułożenia: standardowe, kompaktowe lub mocno zwarte. Program na tej podstawie określa długość wężownicy, długość rowu (wykopu) i powierzchnię terenu pod wymiennik. Natomiast przy wykorzystaniu wód gruntowych, na podstawie danych katalogowych pompy ciepła, użytkownik określa głębokość pompowania, głębokość odwiertu i maksymalne natężenie przepływu w studni. Program oblicza wtedy wymagane natężenie przepływu wody gruntowej i wymaganą liczbę studni zasilających.

Przy kryterium zaopatrzenia w ciepło wybrano wymiennik z poziomą wężownicą, uzyskując jej długość wynoszącą 4353 m, długość rowu 2177 m oraz powierzchnię potrzebnego terenu wynoszącą 5307 m<sup>2</sup>. W obiekcie rzeczywistym wężownica ma długość 4200 m.

Na podstawie tych danych uzupełniana jest ostatnia część „Jednostkowe koszty projektu”. Program określa liczbę poszczególnych, najistotniejszych składników instalacji kolektora gruntowego, a użytkownik wprowadza ich koszty jednostkowe. Na końcu wyznaczany jest koszt całkowity instalacji. Może on posłużyć do dalszych analiz

ekonomicznych planowanej inwestycji. Dla ogólnej orientacji przyjęto ceny z grudnia 2009 r.. W dalszej kolejności można wypełnić części „Ocena emisji” oraz „Analiza finansowa” [8].

Do przeprowadzenia bardziej szczegółowych analiz ekonomicznych rekomenduje się wykorzystanie także innych arkuszy obliczeniowych z części „Narzędzia”. Szczególnie są to: „Cena energii elektrycznej dla stanu bazowego”, „Wartość opałowa i cena paliwa”, lub „Taryfa elektryczna ze strefami czasowymi”, kiedy pompa ciepła jest zasilana według taryfy dwu- lub wielostrefowej.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono zastosowanie pakietu RETScreen® do obliczeń związanych z modernizacją źródła ciepła w budynku. Planowana inwestycja obejmowała zamianę starej kotłowni węglowej na pompę ciepła wspomaganą kotłem gazowym. Jako dolne źródło ciepła dla pompy ciepła zastosowano kolektor gruntowy poziomy znajdujący się na terenie w sąsiedztwie analizowanego budynku.

Określono pokrycie potrzeb cieplnych budynku przez poszczególne źródła, przebieg mocy cieplnej w ciągu roku i zużycie paliwa dla stanu bazowego i planowanego. Wykonano także projekt wymiennika gruntowego dla pompy ciepła, określając jego długość i wielkość niezbędnego terenu.

Z przedstawionego przeglądu analiz wynika, że pakiet RETScreen® może być bardzo przydatnym i uniwersalnym narzędziem do analizy technicznej, ekonomicznej i ekologicznej przedsięwzięć związanych z zastosowaniem i wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Oprogramowanie jest darmowe, łatwe w obsłudze, a także ma bogatą literaturę i przykłady rozwiązań praktycznych [1], [4]. Jest to szczególnie ważne dla inwestorów chcących uniknąć dodatkowych, często znacznych, kosztów wstępnych projektów i analiz.

Ze względu na rozbudowane możliwości obliczeniowe, program ma menu pomocy (obecnie tylko w wersji angielskiej), dzięki któremu użytkownik może dokładnie sprawdzić szczegółowe definicje poszczególnych określeń. Jest ono dostępne po zainstalowaniu programu jako dodatkowa pozycja w głównym menu arkusza kalkulacyjnego MS Excel. Autorzy zachęcają do korzystania z tego menu szczególnie w przypadku wątpliwości odnośnie do terminologii lub założeń przyjętych przez twórców programu przy tworzeniu modeli matematycznych zjawisk i urządzeń.

## LITERATURA

- [1] Clean Energy Project Analysis: RETScreen® Engineering & Cases Textbook, Third Edition, www.retscreen.net
- [2] Krysiński L.: *Wymienniki gruntowe*, Instytut Geofizyki Uniwersytetu Warszawskiego, [http://ifd.fuw.edu.pl/files/site/GWC\\_1.pdf](http://ifd.fuw.edu.pl/files/site/GWC_1.pdf)
- [3] Rubik M.: *Pompy ciepła: poradnik*, Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2006
- [4] Szkolenie w zakresie oceny projektów czystej energii, www.retscreen.net
- [5] Vitocal 300. Pompa ciepła od 39,6 do 106,8 kW. Dane techniczne, Viessmann, 2006
- [6] Zimny J., Fiszer T.: *Audyt energetyczny Szkoły gimnazjum (w budowie) w Gródku nad Dunajcem*, Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Kraków, 2001
- [7] Zimny J., Michalak P.: *Analiza zużycia energii przez budynek szkolny po termomodernizacji z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii – pierwsze doświadczenia eksploatacyjne*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 6/2006
- [8] Zimny J., Michalak P., Szczotka K.: *Ocena energetyczna, ekonomiczna i ekologiczna przedsięwzięcia termomodernizacyjnego za pomocą pakietu RETScreen®*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 9/2009

Gruntowy wymiennik ciepła				
<b>Pompa ciepła</b>				
Moc	Jednostka		Ciepło	Chłód
Moc średnia	kW		99,0	5,0
Producent	kW		35,0	4,0
Model	Vissmann		WW 280	
Sprawność	Definiowane przez			
Współczynnik efektywności - projektowany	3,6		3,0	
<b>Warunki terenowe</b>				
Rodzaj gruntu	Jednostka	Lokalizacja projektu	Lokalizacja danych klimatycznych	
Temperatura gruntu	°C	Grunt lekki -		
Amplituda temperatury gruntu	°C		8,0	
Pomiar na wysokości	m		20,2	0,3
<b>Gruntowy wymiennik ciepła</b>				
Typ	Pozioma wężownica zamknięta			
Kryteria projektowe	Jednostka		Ciepło	
Powierzchnia terenu	m <sup>2</sup>		5 307	
Układ	Standardowe			
Długość wężownicy	m	4 353		
Długość rowu	m	2 177		
<b>Jednostkowe koszty projektu</b>				
Pompa sytuacyjna	kW	2,1	\$	1 500
Czynnik obiegowy	m <sup>3</sup>	0,77	\$	6 200
Kopanie i zasypywanie rowów	m	2 177	\$	8
Przewody rurowe wężownicy	m	4 353	\$	12
Zawory i armatura	kW	124,9	\$	15
Razem			\$	76 277

Rys. 4. Arkusz „Narzędzia” – Gruntowy wymiennik ciepła