

Analiza techniczno – ekonomiczna, porównawcza źródeł ciepła bazujących na odnawialnych źródłach energii ze źródłem zasilanym gazem ziemnym dla domu jednorodzinnego

A technical, economic and comparative analysis of heat sources based on renewable energy sources and heat source powered by natural gas for a detached house

Kalina Grudzińska^{*)}

Słowa kluczowe: *Odnawialne źródła energii, pompy ciepła, fotowoltaika, turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu.*

Streszczenie

Artykuł przedstawia porównanie źródła ciepła bazującego na paliwie kopalnym do urządzeń zasilanych przy pomocy odnawialnych źródeł energii, które są stosowane dla małych kubatur. Analiza została opracowana na przykładzie domu jednorodzinnego znajdującego się w Warszawie. Zakres pracy obejmuje porównanie wydajności i kosztów eksploatacji kotła zasilanego gazem ziemnym do dobranych pomp ciepła, instalacji fotowoltaicznej oraz turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. Artykuł powstał na podstawie sporządzonej przez Autora pracy inżynierskiej. [1]

Keywords: *Renewable energy sources, heat pumps, photovoltaic, vertical axis wind turbines.*

Abstract

The article presents the comparison between heat source based on fossil fuels and devices powered by renewable energy sources, which are used in small building volumes. The analysis was carried out on the example of the detached house located in Warsaw. The scope of the study covers comparison of the efficiency and operating costs of gas boiler and selected heat pumps, photovoltaic installation and vertical axis wind turbine.

1. Wstęp

Polska jest krajem o klimacie umiarkowanym ciepłym przejściowym, charakteryzującym się występowaniem 4 astronomicznych i 6 termicznych pór roku oraz dużymi wahaniami temperatury zarówno w cyklu dobowym jak i rocznym. Takie uwarunkowania sprawiają, że okres grzewczy w Polsce trwa około 6 miesięcy, co kumuluje dużo wydatków związanych z ogrzewaniem budynku, dlatego istotny jest odpowiedni wybór źródła ciepła tak, aby odpowiednio dogrzało budynek przez sezon grzewczy, ale równocześnie zapewniło dostęp do ciepłej wody przez cały rok. Źródło to powinno być efektywne, a jego eksploatacja niedroga. [3]

Wśród źródeł energii, służących do wytwarzania ciepła w urządzeniach grzewczych, wyróżniamy źródła nieodnawialne, czyli węgiel kamienny, brunatny, gaz ziemny czy ropę naftową oraz coraz źródła energii, do których zaliczamy energię słoneczną, geotermalną, spadku wody, pływów i prądów morskich oraz biomasę. Niekonwencjonalne źródła energii wykorzystywane są w różnych źródłach ciepła oraz urządzeniach produkujących energię elektryczną, takich jak pompy ciepła, turbiny wiatrowe, oraz panele fotowoltaiczne. [2]

Zasadniczą kwestią podczas wyboru urządzeń funkcjonujących przy wykorzystaniu odnawialnych bądź nieodnawialnych źródeł energii jest to, które z nich jest bardziej efektywne ekonomicznie w zakresie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych na przestrzeni paru lat. Ważnym aspektem, który należy rozpatrzyć jest również wiek rozpa-

trywanego obiektu – koszty będą się różnić w zależności od tego czy inwestycja w OZE będzie dotyczyła dopiero powstających struktur, które uwzględniają najnowsze Warunki Techniczne izolacyjności przegród, czy budynków wybudowanych w XX wieku, gdzie wymagania wartości izolacyjności cieplnej były niższe. Z uwagi na różniące się przepisy budowlane na przestrzeni lat, zapotrzebowanie na ciepło dla obiektów o tej samej powierzchni, ale różniących się rokiem budowy, może się znacząco różnić. Dlatego wymiana użytkowanego urządzenia grzewczego w obiektach wybudowanych na początku XXI wieku bądź starszych, bazującego na paliwie kopalnym, na urządzenie zasilane OZE, nie jest preferowane przez użytkowników danego budynku z uwagi na niepewne korzyści. Aby przebadać, czy inwestycja w urządzenia zasilane energią odnawialną jest warta rozważenia, niezbędna jest analiza porównawcza kosztów.

2. Metodyka badań

W celu porównania kosztów eksploatacji źródeł ciepła zasilanych przez energię konwencjonalną bądź niekonwencjonalną przeprowadzono analizę porównawczą. Zakres analizy obejmuje dobór odpowiednich urządzeń oraz porównanie kosztów eksploatacji dotychczasowego źródła ciepła rozpatrywanego budynku do inwestycji w dobrane urządzenia zasilane OZE, czyli sprężarkowej pompy ciepła przeznaczonej do ogrzewania, zasilanej energią elektryczną wytworzoną przez instalację fotowoltaiczną oraz tur-

^{*)} Kalina Grudzińska – dyplomantka specjalności Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja i Gazownictwo, Wydział Instalacji budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, e-mail: Kalina.grudzinska.stud@pw.edu.pl

binę wiatrową o pionowej osi obrotu. Do przeprowadzenia analizy został wykorzystany 24 letni budynek jednorodzinny w zabudowie bliźniaczej o powierzchni 166,7 m², znajdujący się w Warszawie. Obiekt jest ogrzewany przy pomocy kotła zasilanego gazem ziemnym z PGNiG, a oświetlenie oraz sprzęt AGD są zasilane przy pomocy energii elektrycznej z PGE.

3. Studium Przypadku

I. Obliczenie zapotrzebowania na ciepło dla budynku jednorodzinnego

Początkowym krokiem do wykonania analizy było obliczenie zapotrzebowania na ciepło dla analizowanego obiektu. W celu wykonania obliczeń wykorzystano program Audytor OZC – jest to autorski program firmy Sankom, który służy do wspomagania obliczania projektowego obciążenia cieplnego pomieszczeń.

Pierwszym krokiem do określenia wielkości zapotrzebowania na ciepło było wprowadzenie do programu wszystkich niezbędnych informacji o lokalizacji budynku, strefie klimatycznej w jakiej się znajduje, uwarunkowaniu terenu i poziomie wód gruntowych. Następnie należało wprowadzić dane architektoniczne, czyli grubość i wymiary wszystkich przegród, i kolejno wymienić materiały z jakich jest zbudowana konkretna przegroda. Przy wprowadzaniu danych należało określić przeznaczenie każdego z pomieszczeń oraz odpowiednie temperatury panujące po drugiej stronie opisywanej przegrody, ponieważ na tej podstawie można wykonać obliczenia projektowego obciążenia cieplnego dla każdego z pomieszczeń, a w rezultacie dla całego budynku.

Po wprowadzeniu wszystkich danych program Audytor OZC wykonał obliczenia projektowej straty ciepła przez przenikanie wynoszącej 6912 W oraz projektowej wentylacyjnej straty ciepła wynoszącej 3049 W. Wartość sumy strat ciepła przez przenikanie i wentylację to wartość projektowego obciążenia cieplnego, które wyniosło 9949 W.

II. Obliczenie zapotrzebowania ciepła na cel przygotowania c.w.u.

Dane:

- Analizowany obiekt jest zamieszkiwany przez 4 osoby i jest wyposażony w dwie łazienki, w których jest możliwość kąpieli pod natryskiem.
- Wypływ normatywny wody ciepłej dla baterii czerpalnych do natrysków wynosi 0,15 dm³/s, a do umywalk 0,07 dm³/s według normy PN-92/B-01706. [5]
- Normatywny wypływ wody ciepłej dla natrysku = 0,15 dm³/s = 9 dm³/min.
- Normatywny wypływ wody ciepłej dla zlewozmywaku = 0,07 dm³/s = 4,2 dm³/min.

Założenie 1: W tym samym czasie dwie osoby biorą 10-minutowy prysznic, a trzecia osoba zmywa naczynia w zlewozmywaku korzystając z ciepłej wody przez 3 minuty.

- Obliczony łączny wypływ wody dla podanych wytycznych wyniósł 182,6 l.

Dobrano podgrzewacz pojemnościowy c.w.u. do instalacji z pompami ciepła pełniący rolę zasobnika ciepła – Reflex Aqua Heat Pump AH 300/1_B o pojemności 300l. Cena katalogowa brutto wynosi 6638 zł.

Założenie 2: Kolejne dwie osoby czekają na podgrzanie wody 15 minut, żeby wziąć 7 minutowy prysznic jednocześnie w dwóch łazienkach.

- Obliczona pozostała ilość wody w zbiorniku po uwzględnieniu założenia 1 wyniosła 117,4 l.
- Obliczona moc potrzebna do ogrzania wymaganej ilości wody do temperatury 55°C w czasie 15 minut wyniosła 1,8 kW.
- Obliczony całkowity czas potrzebny do napełnienia wody w podgrzewaczu z mocą 1,8 kW wyniósł 8,72 h.

III. Dobór powietrznej pompy ciepła

Analiza danych klimatycznych

Praca powietrznej pompy ciepła jest zależna od temperatury zewnętrznej, co oznacza, że im wyższa temperatura na zewnątrz, tym więcej ciepła może przekazać. Natomiast w miesiącach zimowych, kiedy tem-

peratury są najniższe, a zapotrzebowanie na ciepło najwyższe, pompa produkuje mniej ciepła. Taka zależność jest problematyczna szczególnie w przypadku, kiedy pompa ciepła przeznaczona jest przede wszystkim do ogrzewania budynku. Średnie wartości temperatur zewnętrznych w poszczególnych miesiącach dla Warszawy są widoczne w tab.1.

Tabela 1. Zestawienie danych klimatycznych poszczególnych miesięcy dla Warszawy [17]

Table 1. Climate data set for each month for Warsaw [17]

	styczeń	lut	Marsz	Kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
Śr. Temperatura (°C)	-1,9	-0,8	3,2	9,3	14,6	18	20,1	19,5	14,7	9,3	4,8	0,5
Min. Temperatura (°C)	-4,3	-3,7	-0,8	4,2	9,4	13	15,4	14,9	10,7	6,2	2,5	-1,6
Max. Temperatura (°C)	0,3	2,1	7,2	14	19,1	22,3	24,3	23,8	16,7	12,6	7	2,4
Opady / Opady deszczu (mm)	47	42	48	52	71	71	89	66	62	48	48	49
Wilgotność (%)	83%	81%	75%	66%	65%	64%	67%	67%	72%	78%	85%	84%
Deszczowe dni (d)	8	8	8	8	9	9	10	8	8	7	8	8
Godziny słoneczne (g)	2,5	3,4	5,5	8,8	10,4	11,0	11,1	10,4	7,4	5,0	3,1	2,3

Na podstawie danych klimatycznych dla Warszawy uzyskanych z powyższej tabeli można stwierdzić następujące wnioski:

- Najzimniejszym miesiącem jest styczeń, w którym średnia temperatura wynosi – 1,9°C.
- Minimalna temperatura w styczniu wynosi – 4,3°C. Jest to jednak średnia wyliczona z okresu 20 lat, dlatego trzeba wziąć pod uwagę, że temperatura w poszczególnych latach może się znacząco różnić.
- Średnia temperatura w miesiącach, w których temperatura zewnętrzna spada poniżej 15°C, czyli październik – kwiecień wynosi $\frac{-1,9 - 0,8 + 3,2 + 9,3 + 9,3 + 4,8 + 0,5}{7} = 3,48^\circ\text{C}$.

7

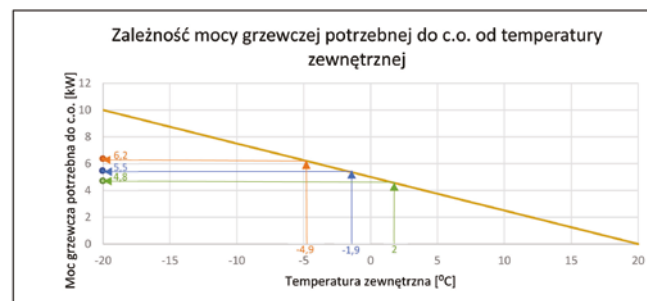
Dobór powietrznej pompy ciepła spełniającej określone założenia

Założenia:

- Pompa ciepła będzie się łączyła w celu ogrzania budynku w miesiącach, w których temperatura utrzymuje się poniżej 15°C.
- W celu ogrzania domu pompa ciepła będzie używana tylko w miesiącach grzewczych,
- natomiast w przypadku c.w.u. będzie pracować przez cały rok.
- Mimo małego występowania temperatur poniżej – 5°C, pompa ciepła będzie dobierana tak, aby mogła działać w przypadku wystąpienia takiej temperatury.

Dane:

- Zapotrzebowanie na moc potrzebną do c.o. dla temperatury projektowej – 20°C obliczone za pomocą programu Audytor OZC wynosi w przybliżeniu 10 kW.
- Minimalne zapotrzebowanie na moc do c.w.u. spełniające podane założenia w rozdziale II wynosi 1,8 kW.



Rys. 1. Wykres zależności mocy grzewczej potrzebnej do c.o. od temperatury zewnętrznej

Fig. 1. The dependency of the required heating power on the outdoor temperature

Powyższy wykres obrazuje zmianę mocy potrzebnej do ogrzania budynku w zależności od temperatury zewnętrznej. Pompa ciepła powinna zostać tak dobrana, aby mogła samodzielnie dogrzać analizowany obiekt przez cały rok.

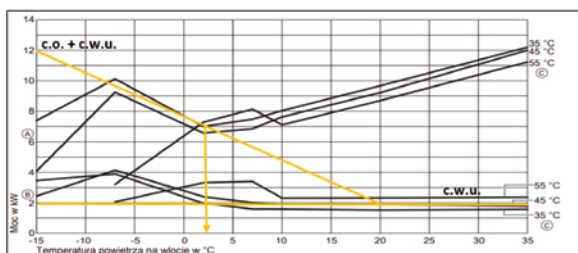
Ważnym parametrem przy doborze powietrznej pompy ciepła jest punkt biwalentny, który określa temperaturę zewnętrzną, przy której pompa będzie w stanie dogrzać samodzielnie obiekt bez użycia grzałki elektrycznej bądź innego wspomaganie.

Poniżej przedstawiono propozycje pomp typu powietrze-woda spełniające wymagane założenia:

1. Viessmann Vitocal 200-A typ AWCI-AC 201.A10. Pompa ciepła typu monoblok.

Dane:

- Punkt biwalentny dla 35°C i 55°C wody wynosi 2°C.
- Cena brutto pompy wynosi około 37 000 zł.
- Możliwość montażu grzałki elektrycznej (wyposażenie dodatkowe).



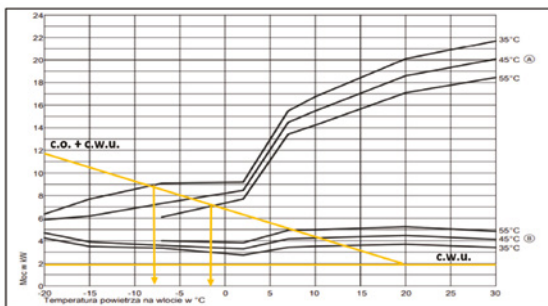
Rys. 2. Charakterystyka pompy ciepła Viessmann Vitocal 200-A [13]

Fig. 2. The performance characteristic of Viessmann Vitocal 200-A heat pump [13]

2. Viessmann Vitocal 100-S typ AWB-M-E 101.A16. Pompa ciepła typu split.

Dane:

- Punkt biwalentny dla 35°C wody wynosi – 8°C, a dla 55°C wody wynosi – 2°C.
- Cena brutto pompy wynosi około 36 000 zł.
- Dodatkowa grzałka elektryczna o mocy 9 kW.



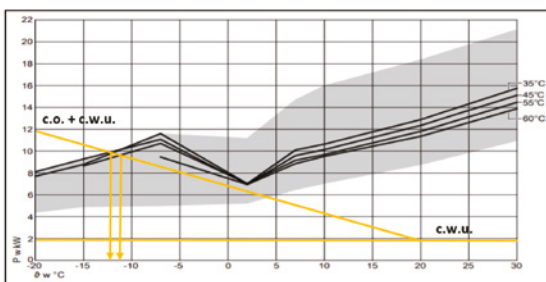
Rys. 3. Charakterystyka pompy ciepła Viessmann Vitocal 100-S [11]

Fig. 3. The performance characteristic of Viessmann Vitocal 100-S heat pump [11]

3. Viessmann Vitocal 200-S typ AWB-M-E 201.D16. Pompa ciepła typu split.

Dane:

- Punkt biwalentny dla 35°C wody wynosi – 13°C, a dla 55°C wody wynosi – 11,5°C.
- Cena brutto pompy wynosi około 47 000 zł.
- Dodatkowa grzałka elektryczna o mocy 9 kW.



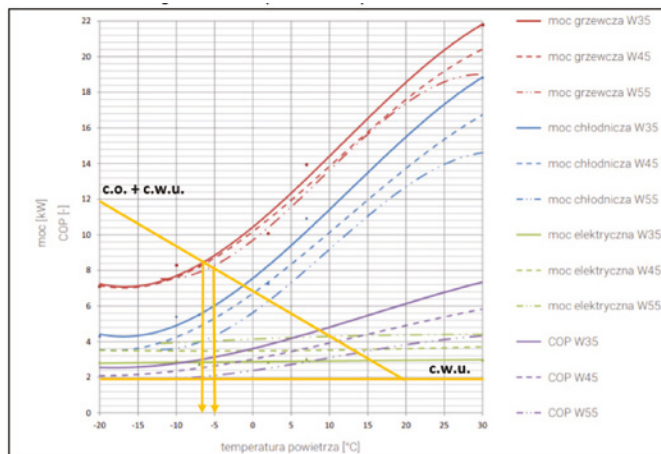
Rys. 4. Charakterystyka pompy ciepła Viessmann Vitocal 200-S [12]

Fig. 4. The performance characteristic of Viessmann Vitocal 200-S heat pump [12]

4. Galmet Airmax² 15 GT. Pompa ciepła typu split.

Dane:

- Punkt biwalentny dla 35°C wody wynosi – 7°C, a dla 55°C wody wynosi – 5°C.
- Cena brutto pompy wynosi około 45 000 zł.
- Dodatkowa grzałka elektryczna o mocy 6 kW.



Rys. 5. Charakterystyka pompy ciepła Galmet Airmax2 15 GT [10]

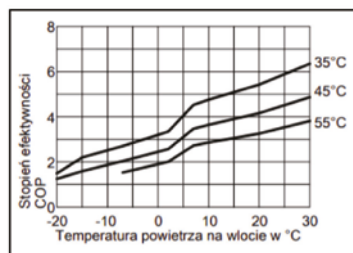
Fig. 5. The performance characteristic of Galmet Airmax2 15 GT heat pump [10]

Na podstawie powyższych propozycji pomp ciepła zostały wybrane 2 najefektywniejsze warianty:

1. Viessmann Vitocal 200-S typ AWB-M-E 201.D16.
2. Viessmann Vitocal 100-S typ AWB-M-E 101.A16.

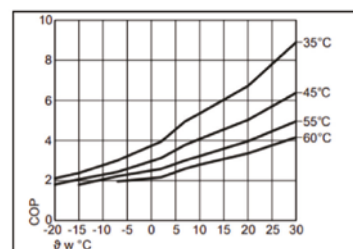
Do dalszej analizy zostanie dobrana pompa, która jest bardziej wydajna oraz mniej kosztowna w eksploatacji na przestrzeni lat.

Porównanie współczynnika COP



Rys. 6. Charakterystyka współczynnika COP pompy ciepła Viessmann Vitocal 100-S [11]

Fig. 6. Coefficient of performance curve for Viessmann Vitocal 100-S [11]



Rys. 7. Charakterystyka współczynnika COP pompy ciepła Viessmann Vitocal 200-S [12]

Fig. 7. Coefficient of performance curve for Viessmann Vitocal 200-S [12]

Tabela 2. Minimalne wartości współczynnika COP wg. PN-EN 14511-2 [6]

Table 2. The minimum values of coefficient of performance in accordance with PN-EN 14511-2 [6]

Typ pompy ciepła	Min. COP wg PN-EN 14511-2
solanka/woda : B0/W35	4.30
woda/woda: W10/W35	5.10
powietrze/woda: A2/W35	3.10
bezpośrednie odp. w gruncie/woda: E4/W35	4.30

Na podstawie powyższych charakterystyk współczynnika COP oraz tabeli opisującej wymagane wartości współczynnika wydajności cieplnej, można stwierdzić, że obie pompy spełniają wymagane wartości z normy PN-EN 14511-2 [6]. Porównując obie pompy można zauważyć, że w pompie Vitocal 100-S współczynnik COP jest niższy i wynosi ok. 3,6 dla A2/W35, natomiast w Vitocal 200-S wartość ta wynosi ok. 3,9 dla A2/W35.

Porównanie kosztów eksploatacji

Obliczenia zostały wykonane przy założeniu, że przez cały miesiąc panuje taka sama temperatura zewnętrzna, która została przyjęta jako średnia z całego miesiąca dla Warszawy z lat 1999-2019 oraz dla wartości współczynników COP dla parametrów A2/W35. Obliczony czas pracy każdej z analizowanych pomp został przedstawiony w tabeli 3.

Do obliczeń została przyjęta grupa taryfowa G11 – koszt taryfy jest niezmienny przez całą dobę. Wartości stawek dla taryfy G11 zostały wzięte z oficjalnej strony Polskiej Grupy Energetycznej. [9]

Ilość energii elektrycznej potrzebnej do działania pompy ciepła przez cały rok:

- Viessmann Vitocal 200-S

$$\frac{29300,6}{3,9} = 7513,0 \text{ kWh/rok}$$

- Viessmann Vitocal 100-S

$$\frac{29300,6}{3,6} = 8139,1 \text{ kWh/rok}$$

Koszt energii elektrycznej:

- Viessmann Vitocal 200-S

$$0,3011 \cdot 7513,0 + 2,20 \cdot 7,513 + 10,46 \cdot 12 + 6,08 \cdot 12 + 0,33 \cdot 12 + 0,2108 \cdot 7513,0 + 0,0102 \cdot 7513,0 + 0,75 \cdot 12 = 4150,50 \text{ zł/rok}$$

$$\text{Cena brutto: } 4150,50 \cdot 123\% = 5105,11 \text{ zł}$$

- Viessmann Vitocal 100-S

$$0,3011 \cdot 8139,1 + 2,20 \cdot 8,1391 + 10,46 \cdot 12 + 6,08 \cdot 12 + 0,33 \cdot 12 + 0,2108 \cdot 8139,1 + 0,0102 \cdot 8139,1 + 0,75 \cdot 12 = 4478,76 \text{ zł/rok}$$

$$\text{Cena brutto: } 4478,76 \cdot 123\% = 5508,87 \text{ zł}$$

Tabela 4. Porównanie kosztów eksploatacji i czasu pracy pomp Vitocal 200-S i Vitocal 100-S

Table 4. Comparison of operating costs and time of Vitocal 200-S and Vitocal 100-S heat pumps

		Vitocal 200-S	Vitocal 100-S
Czas pracy w ciągu roku	[h/rok]	3329,1	2659,4
Koszt energii elektrycznej	[zł/rok]	5105,11	5508,87
Koszt pompy	[zł]	47 000	36 000

Koszty po 10 latach użytkowania:

- Viessmann Vitocal 200-S

$$5105,11 \cdot 10 + 47000 = 98 051,10 \text{ zł}$$

- Viessmann Vitocal 100-S

$$5508,87 \cdot 10 + 36000 = 91 088,70 \text{ zł}$$

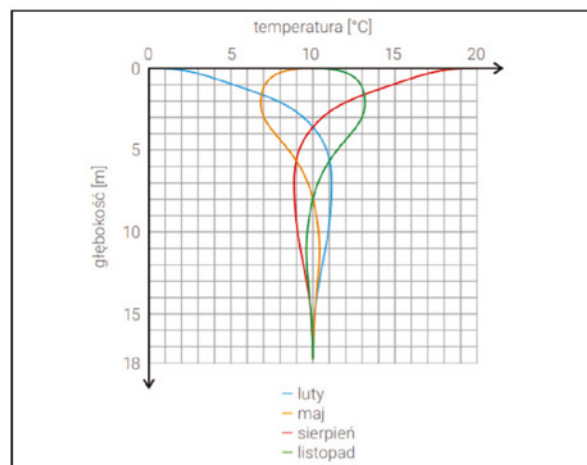
Dobrano pompę Viessmann Vitocal 100-S typ AWB-M-E 101.A16.

IV. Dobór gruntowej pompy ciepła

Analiza warunków powierzchni działkowej

Dane:

- Powierzchnia całkowita działki 231 m²
- Powierzchnia zabudowy działki 112,37 m²



Rys. 8. Zmiany temperatury gruntu w ciągu roku w zależności od poziomu poniżej terenu [10]
Fig. 8. The temperature changes of the ground depending on depth below ground level throughout a year [10]

Tabela 3. Zestawienie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz ilości godzin pracy w ciągu roku pomp Vitocal 200-S i Vitocal 100-S

Table 3. Comparison of electricity demand and number of working hours throughout a year for Vitocal 200-S and Vitocal 100-S

Średnie temperatury na przestrzeni lat 1999-2019		Moc pompy Vitocal 200-S dla danej temperatury	Moc pompy Vitocal 100-S dla danej temperatury	Zapotrzebowanie na moc do c.o. i c.w.u dla danej temperatury w ciągu doby	Czas pracy pompy Vitocal 200-S w ciągu miesiąca	Czas pracy pompy Vitocal 100-S w ciągu miesiąca
[-]	[°C]	[kW]	[kW]	[kWh/dobę]	[h/miesiąc]	[h/miesiąc]
Styczeń	-1,9	9,0	8,0	148,6	511,8	575,8
Luty	-0,8	8,8	9,0	141,4	449,9	439,9
Marzec	3,2	7,4	10,5	117,4	491,8	335,4
Kwiecień	9,3	9,6	16,5	76,6	239,4	139,3
Maj	14,6	10,6	16,3	57,4	167,9	109,2
Czerwiec	18	11,8	17,7	16,6	43,6	28,1
Lipiec	20,1	12,0	18,0	16,6	42,9	28,6
Sierpień	19,5	12,0	17,9	16,6	42,9	28,7
Wrzesień	14,7	10,6	16,3	57,4	162,5	105,6
Październik	9,3	9,6	16,5	74,2	239,6	139,4
Listopad	4,8	8,2	12,5	107,8	407,5	258,7
Grudzień	0,5	8,0	9,0	136,6	529,3	470,5
Σ				29300,6	3329,1	2659,4
Jednostka				[kWh/rok]	[h/rok]	[h/rok]

Biorąc pod uwagę małą powierzchnię działki, niemożliwe jest wykonanie odpowiednio dużego kolektora poziomego, który mógłby dostarczyć niezbędną ilość ciepła do ogrzania całego domu, dlatego jedynym rozwiązaniem jest kolektor gruntowy pionowy. Wykonanie odwiertów jest kosztowne i wymaga uzyskania odpowiednich pozwoleń, ale temperatura gruntu na dużych głębokościach jest wysoka i utrzymuje się na stałym poziomie – wynosi ok. 10°C poniżej 15 m p.p.t. – co można zaobserwować na rysunku 8. Dla kolektora pionowego szacunkowo można założyć, że zimną temperaturę solanki na zasilaniu pompy będzie oscylowała w okolicach 5°C.

Dobór gruntowej pompy ciepła spełniającej określone założenia

Założenia:

- Pompa ciepła będzie się załączała w celu ogrzania budynku w miesiącach, w których temperatura utrzymuje się poniżej 15°C.
- W celu ogrzania domu pompa ciepła będzie używana tylko w miesiącach grzewczych, natomiast w przypadku c.w.u. będzie pracować przez cały rok.
- Temperatura roztworu glikolu na zasilaniu zimną będzie wynosiła ok. 5°C w przypadku rozpatrywanych odwiertów pionowych.

Dane:

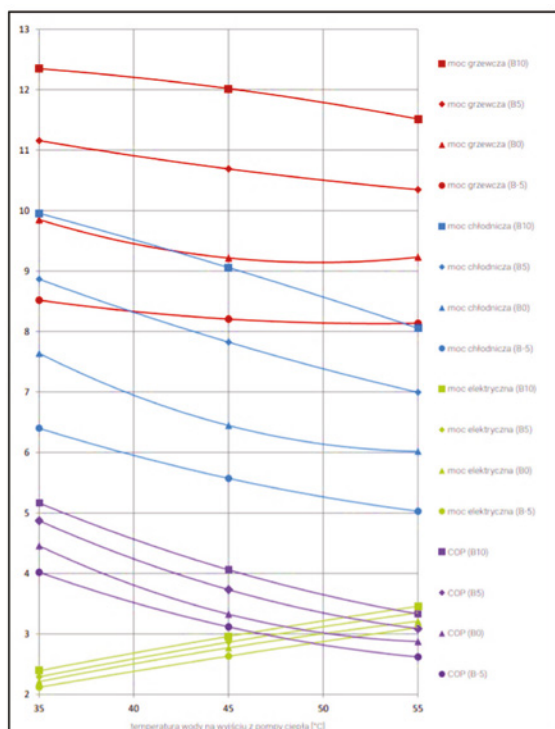
- Zapotrzebowanie na moc potrzebną do c.o. dla temperatury projektowej – 20°C obliczone za pomocą programu Audytor OZC wynosi w przybliżeniu 10 kW.
- Minimalne zapotrzebowanie na moc do c.w.u. spełniające podane założenia w rozdziale II wynosi 1,8 kW.

Poniżej przedstawiono propozycje pomp typu powietrze-woda spełniające wymagane założenia:

1. Galmet Maxima 10 GT

Dane:

- Moc dla 5°C solanki i 35°C wody wynosi około 11,2 kW.
- Moc dla 5°C solanki i 55°C wody wynosi około 10,4 kW.
- Cena pompy wynosi około 39 000 zł
- Dodatkowa grzałka elektryczna o mocy 7 kW
- COP dla 5°C solanki i 35°C wody – ok. 4,9
- COP dla 5°C solanki i 55°C wody – ok. 3,2
- COP dla 5°C solanki i 55°C wody – ok. 3,2



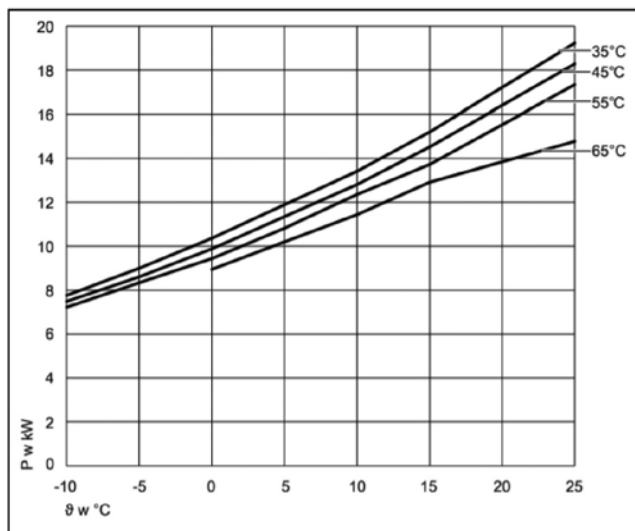
Rys. 9. Charakterystyka pompy ciepła Galmet Maxima 10 GT [10]

Fig. 9. The performance characteristic of Galmet Maxima 10 GT heat pump [10]

2. Viessmann Vitocal 200-G typ BWC 201.B10.

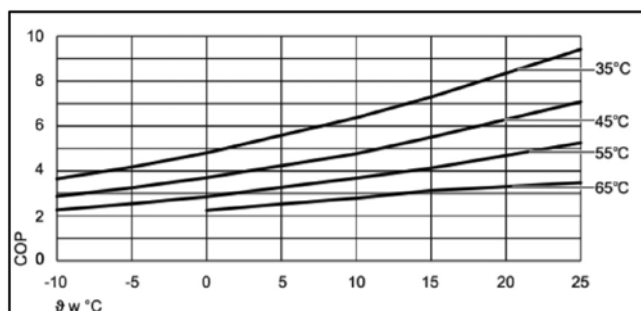
Dane:

- Moc dla 5°C solanki i 35°C wody około 12 kW.
- Moc dla 5°C solanki i 55°C wody około 11 kW.
- Cena pompy wynosi ok. 28 000 zł
- Dodatkowa grzałka o mocy 6 kW.
- COP dla 5°C solanki i 35°C wody – ok. 5,8
- COP dla 5°C solanki i 55°C wody – ok. 3,5



Rys. 10. Charakterystyka pompy ciepła Viessmann Vitocal 200-G [14]

Fig. 10. The performance characteristic of Viessmann Vitocal 200-G heat pump [14]



Rys. 11. Charakterystyka współczynnika COP pompy ciepła Viessmann Vitocal 200-G [14]

Fig. 11. Coefficient of performance curve for Viessmann Vitocal 200-G [14]

Do dalszej analizy zostanie dobrana pompa, która jest bardziej wydajna oraz mniej kosztowna w eksploatacji na przestrzeni lat.

Porównanie kosztów eksploatacji

Obliczenia zostały wykonane przy założeniu, że przez cały miesiąc panuje taka sama temperatura zewnętrzna, która została przyjęta jako średnia z całego miesiąca dla lat 1999-2019 oraz dla wartości współczynników COP dla A0/W35. Obliczony czas pracy każdej z analizowanej pompy został przedstawiony w tabeli 4. W obliczeniach kosztów eksploatacji nie wzięto pod uwagę kosztów wykonania odwiertów.

Do oszacowania temperatury solanki skorzystano z wyników badań Instytutu Fraunhofera ISE we Freiburgu opisanych na stronie Instalreporter.pl. W badaniach rozpatrywano zmianę temperatury solanki w 44 sondach pionowych – na podstawie tych badań przyjęto wartości temperatury na zasilaniu solanki dla poszczególnych temperatur przedstawionych w tabeli 4. [18]

Do obliczeń została przyjęta grupa taryfowa G11 – koszt taryfy jest niezmienny przez całą dobę. Wartości stawek dla taryfy G11 zostały wzięte z oficjalnej strony Polskiej Grupy Energetycznej. [9]

Tabela 4. Zestawienie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz ilości godzin pracy w ciągu roku pomp Galmet Maxima i Vitocal 200-G
Table 4. Comparison of electricity demand and number of working hours throughout a year for Galmet Maxima i Vitocal 200-G

Średnie temperatury na przestrzeni lat 1999-2019		Szacowana temperatura solanki	Moc pompy Galmet Maxima dla danej temperatury solanki	Moc pompy Viessmann Vitocal dla danej temperatury solanki	Zapotrzebowanie na moc do c.o. i c.w.u dla danej temperatury w ciągu doby	Czas pracy pompy Galmet Maxima dla danej temperatury solanki	Czas pracy pompy Viessmann Vitocal dla danej temperatury solanki
[-]	[°C]	[°C]	[kW]	[kW]	[kWh/dobę]	[h/miesiąc]	[h/miesiąc]
Styczeń	-1,9	5	10,6	12,0	148,6	434,6	383,9
Luty	-0,8	5	10,6	12,0	141,4	413,5	365,3
Marzec	3,2	6	11,0	12,4	117,4	330,9	293,5
Kwiecień	9,3	9	11,7	13,5	76,6	203,0	175,9
Maj	14,6	11	12,3	14,0	57,4	144,7	127,1
Czerwiec	18,0	13	13,0	14,6	16,6	39,6	35,2
Lipiec	20,1	13	13,0	14,6	16,6	39,6	35,2
Sierpień	19,5	13	13,0	14,6	16,6	39,6	35,2
Wrzesień	14,7	11	12,3	16,3	57,4	144,7	109,2
Październik	9,3	9	11,7	13,5	74,2	196,6	170,4
Listopad	4,8	7	11,3	12,8	107,8	295,7	261,1
Grudzień	0,5	5	10,6	12,0	136,6	399,5	352,9
Σ					29300,6	2681,8	2344,9
Jednostka					[kWh/rok]	[h/rok]	[h/rok]

Ilość energii elektrycznej potrzebnej do działania pompy ciepła przez cały rok:

- Galmet Maxima

$$\frac{29300,6}{4,9} = 5979,71 \text{ kWh/rok}$$

- Viessmann Vitocal 200-G

$$\frac{29300,6}{5,8} = 5051,83 \text{ kWh/rok}$$

Koszt energii elektrycznej:

- Galmet Maxima

$$0,3011 \cdot 5979,71 + 2,20 \cdot 5,97971 + 10,46 \cdot 12 + 6,08 \cdot 12 + 0,33 \cdot 12 + 0,2108 \cdot 5979,71 + 0,0102 \cdot 5979,71 + 0,75 \cdot 12 = 3346,61 \text{ zł/rok}$$

Cena brutto: $3346,61 \cdot 123\% = 4116,33 \text{ zł}$

- Viessmann Vitocal 200-G

$$0,3011 \cdot 5051,83 + 2,20 \cdot 5,05183 + 10,46 \cdot 12 + 6,08 \cdot 12 + 0,33 \cdot 12 + 0,2108 \cdot 5051,83 + 0,0102 \cdot 5051,83 + 0,75 \cdot 12 = 2860,11 \text{ zł/rok}$$

Cena brutto: $2860,11 \cdot 123\% = 3517,94 \text{ zł}$

Tabela 5. Porównanie kosztów eksploatacji i czasu pracy pomp Galmet Maxima i Vitocal 200-G

Table 5. Comparison of operating costs and time of Galmet Maxima and Vitocal 200-G heat pumps

		Galmet Maxima	Vitocal 200-G
Czas pracy w ciągu roku	[h/rok]	2681,8	2344,9
Koszt energii elektrycznej	[zł/rok]	4116,33	3517,94
Koszt pompy	[zł]	39 000	28 000

Koszty po 10 latach użytkowania:

- Galmet Maxima

$$4116,33 \cdot 10 + 39000 = 80163,30 \text{ zł}$$

- Viessmann Vitocal 200-G

$$3517,94 \cdot 10 + 28000 = 63179,40 \text{ zł}$$

Dobrano pompę Viessmann Vitocal 200-G typ BWC 201.B10.

Zaprojektowanie długości kolektora gruntowego pionowego

1. Obliczenie ilości godzin pracy pompy ciepła.

1a) Obliczenie ilości godzin pracy pompy ciepła na potrzeby c.o.

Założenia:

- Ilość godzin pracy na potrzeby c.o. jest oparta na podstawie ilości stopniodni.
- Pompa ciepła załącza się poniżej 15°C.
- Do obliczeń przyjęto uśrednione temperatury dzienne z lat 1999-2020.

Ilość stopniodni została policzona według wzoru:

$$Sd(t_{wo}) = \sum_{i=1}^n [t_{wo} - t_e(i)] \text{ dla } t_e(i) < 15$$

t_{wo} – obliczeniowa temperatura wewnętrzna (20°C)

$t_e(i)$ – średnia dzienna temperatura powietrza zewnętrznego

Zestawienie zsumowanych wyników obliczeń dla całego miesiąca zostało przedstawione w poniższej tabeli. Na podstawie obliczeń łączna ilość stopniodni wyniosła 3695 °Cdzień/rok.

Tabela 6. Zestawienie zsumowanych ilości stopniodni dla poszczególnych miesięcy
Table 6. Comparison of summed degree days for each month

Łączna ilość stopniodni dla poszczególnych miesięcy							
		Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec
Ilość stopniodni	[°Cdzień]	677	583	527	319	98	0
		Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień
Ilość stopniodni	[°Cdzień]	0	0	98	331	455	607

Ilość godzin pracy pompy ciepła na potrzeby c.o.:

$$\text{Ilość godzin} = \frac{Sd(t_{wo}) \cdot 24h}{t_{wo} - t_e} = \frac{3695 \cdot 24}{20 - (-20)} = 2217 \text{ h/rok}$$

1b) Obliczenie ilości godzin pracy pompy ciepła na potrzeby c.w.u.

Czas potrzebny do napełnienia całego zbiornika c.w.u. z mocą 1,8 kW:

$$t = \frac{m_w \cdot c_{w_w} \cdot \Delta T}{Q} = \frac{300 \cdot 4,19 \cdot (55 - 10)}{1,8} = 31425 \text{ s} = 8,72 \text{ h}$$

Dodatkowe dopełnienie zbiornika w ciągu dnia w przypadku wyczerpania całego zapasu ciepłej wody – dodatkowe pół godziny grzania:

$$t = 8,72 + 0,5 = 9,22 \text{ h}$$

Całkowita moc zużyta na cele c.w.u. w ciągu dnia:

$$Q = 9,22 * 1,8 = 16,6 \text{ kW}$$

Dla dobranej pompy o mocy 10kW ilość godzin pracy wyniesie:

$$t = \frac{16,6}{10} = 1,7 \text{ h}$$

Łączna ilość godzin pracy w ciągu całego roku: $1,7 * 365 = 620,5 \text{ h}$

Całkowita ilość godzin pracy na potrzeby c.o. i c.w.u. wynosi:
 $2217 + 620,5 = 2837,5 \text{ h/rok}$

2. Obliczenie długości sondy pionowej.

Dane:

- Moc cieplna pompy – 12 kW dla 35°C i 11 dla 55°C ≈ 11,8 kW
- COP – 5,8 dla 35°C i 3,5 dla 55°C ≈ 5,3
- Jednostkowa moc cieplna gruntu dla nieznanego przekroju geologicznego – 40 W/m

Moc chłodnicza pompy:

$$Q_o = Q_c \left(1 - \frac{1}{COP}\right) = 11200 * \left(1 - \frac{1}{5,3}\right) = 9574 \text{ W}$$

Q_o – moc chłodnicza pompy ciepła [W]

Q_c – moc cieplna pompy [W]

COP – współczynnik sprawności pompy ciepła [-]

Łączna długość odwiertu:

$$L_o = \frac{Q_o}{q_v} = \frac{9574}{40} = 239,34 \text{ m}$$

L_o – łączna długość odwiertu [m]

q_v – jednostkowa moc cieplna gruntu [W/m]

Poprawka długości sondy:

$$\Delta l_w = \frac{T_{sp} - 2000}{2000} * 100 = \frac{2837,5 - 2000}{2000} * 100 = 41,88 \%$$

Δl_w – dodatkowa procentowa długość sondy związana z innym czasem pracy sprężarki [%]

T_{sp} – czas pracy sprężarki w ciągu całego roku [h/rok]

Długość sondy z uwzględnioną poprawką:

$$L_w = L_o \left(1 + \frac{\Delta l_w}{100}\right) = 239,34 * \left(1 + \frac{41,88}{100}\right) = 339,56 \text{ m}$$

L_w – długość sondy uwzględniająca dodatkową procentową długość sondy związaną z innym czasem pracy sprężarki [m]

Tabela 7. Zestawienie wymaganej dokumentacji dla poszczególnych głębokości odwiertu [10]

Table 7. Required documentation for specific depth level of well [10]

głębokość odwiertu [m]	projekt robót geologicznych		plan ruchu zakładu górniczego	
	poza obszarem górniczym	na obszarze górniczym	poza obszarem górniczym	na obszarze górniczym
<30	nie	tak	nie	nie
≤100	tak	tak	nie	tak
>100	tak	tak	tak	tak

Należy wykonać 4 odwierty po 85 m długości każdy. Każdy z odwiertów będzie miał powyżej 30 m i poniżej 100 m głębokości, dlatego wymagane jest sporządzenie projektu robót geologicznych.

V. Dobór instalacji PV

Określenie stopnia nasłonecznienia

Instalacja fotowoltaiczna musi być zainstalowana w odpowiednio nasłonecznionym miejscu, aby pracowała efektywnie, co oznacza, że panele PV powinny być jak najbardziej wystawione na ekspozycje

słońca. Na podstawie map nasłonecznienia można założyć, że średnie roczne nasłonecznienie dla Warszawy wynosi około 1000 kWh/kWp, więc można przyjąć, że produkcja roczna z 1 kWp wynosi 1000 kWh.

Obliczenie wielkości instalacji fotowoltaicznej

Założenia:

- Panele fotowoltaiczne zostaną zamontowane tylko od strony południowej.
- Panele fotowoltaiczne będą współpracować z turbiną wiatrową o pionowej osi obrotu (VAWT).

Dane:

- Roczne zużycie energii elektrycznej do c.o. i c.w.u. wynosi ok. 8139,1 kWh dla dobranej powietrznej pompy ciepła Viessmann Vitocal 100-S typ AWB-M-E 101.A16., natomiast dla dobranej gruntowej pompy ciepła Viessmann Vitocal 200-G typ BWC 201. B10. wynosi ok. 5051,83 kWh.
 - Średnie roczne zużycie energii elektrycznej odczytane z rachunków rozpatrywanego budynku z 2020 roku wynosi około 3000 kWh.
 - Do zagospodarowania dachu jest 16,1 m² (1150x700 i 1150x700) powierzchni nachylonej ze spadkiem 70% (35°) oraz 34,8 m² (5800x6000) powierzchni z 42% (23°) spadkiem.
- Zgodnie z ustawą „O odnawialnych źródłach energii” posiadacze instalacji o mocy do 10 kW za 1 kWh energii elektrycznej oddanej do sieci w dowolnym okresie, mogą otrzymać z powrotem 80% energii w momencie zapotrzebowania, podczas gdy 20% pozostaje u dystrybutora. [4]

Wzór do obliczenia mocy instalacji fotowoltaicznej:

$$\frac{\text{roczne zużycie energii [kWh]}}{\text{produkcja roczna z 1 kWp}} * 1,2 = \text{moc instalacji fotowoltaicznej [kW]}$$

Po przekształceniu wzoru można obliczyć roczną ilość energii w kWh wyprodukowaną przez instalację fotowoltaiczną o danej mocy:

$$\frac{\text{moc instalacji fotowoltaicznej [kW]} * 1,2}{\text{roczne zużycie energii [kWh]}} * \text{produkcja roczna z 1 kWp}$$

Przypadek I – dobór paneli PV do współpracy z powietrzną pompą ciepła

Łączne roczne zużycie energii:

$$8139,1 + 3000 = 11139,1 \text{ kWh/rok}$$

Dobrane panele PV: moduł fotowoltaiczny Selfa Premium seria SV108M.3-405 Black Frame o budowie monokrystalicznej.

- Moc 405 W
- Wymiary 1136 x 1726 x 30
- Powierzchnia 1 modułu wynosi $1,136 * 1,726 = 1,96 \text{ m}^2$
- Cena brutto za 1 moduł wynosi około 1000 zł.

Dostępna powierzchnia dachu nachylonego pod kątem 35°:

$$7 * 1,15 = 8,05 \text{ m}^2$$

$$\frac{1,15}{1,136} = 1,01 \rightarrow 1$$

$$\frac{7}{1,726} = 4,06 \rightarrow 4$$

Możliwość zainstalowania 4 paneli o wymiarach 1,136 x 1,726. Dostępna powierzchnia dachu nachylonego pod kątem 23°:

$$\frac{6}{1,754} = 3,42 \rightarrow 3$$

$$\frac{5,8}{1,096} = 5,29 \rightarrow 5$$

Możliwość zainstalowania 3x5 = 15 paneli o wymiarach 1,136 x 1,726.

Z uwagi na wysokie roczne zużycie energii elektrycznej dach od strony południowej zostanie całkowicie pokryty panelami fotowoltaicznymi. Zdecydowano o instalacji 4 paneli na każdej z dwóch części dachu o spadku 70% oraz 15 paneli na dachu o spadku 42%. Łączna ilość zainstalowanych paneli wynosi 23.

Moc zainstalowanej instalacji składającej się z 23 modułów fotowoltaicznych o mocy 405 W każdy:

$$23 * 405 = 9200 \text{ W} = 9,315 \text{ kW}$$
$$\frac{9,315 \text{ kW}}{1,2} * 1000 \text{ kWh} = 7762,5 \text{ kWh}$$

Pozostała moc potrzebna do zasilania pompy:

$$11139,1 - 7762,5 = 3376,6 \text{ kWh}$$

Koszt łącznej ilości zainstalowanych paneli:

$$23 * 1000 = 23000 \text{ zł}$$

Przypadek 2 – dobór paneli PV do współpracy z gruntową pompą ciepła

Łączne roczne zużycie energii:

$$5051,83 + 3000 = 8051,83 \text{ kWh/rok}$$

Dobre panele PV: moduł fotowoltaiczny Trina Black Frame z serii Vertex S o budowie monokrystalicznej.

- Moc 405 W
- Wymiary 1096 x 1754 x 30
- Powierzchnia 1 modułu wynosi 1,096*1,754=1,92 m²
- Cena brutto za 1 moduł wynosi około 1065 zł.

Dostępna powierzchnia dachu nachylonego pod kątem 35°:

$$7 * 1,15 = 8,05 \text{ m}^2$$
$$\frac{1,15}{1,096} = 1,05 \rightarrow 1$$
$$\frac{7}{1,754} = 3,99 \rightarrow 3$$

Możliwość zainstalowania 1x3 = 3 paneli o wymiarach 1,096 x 1,754.

Dostępna powierzchnia dachu nachylonego pod kątem 23°:

$$6 * 5,8 = 34,8 \text{ m}^2$$
$$\frac{6}{1,754} = 3,42 \rightarrow 3$$
$$\frac{5,8}{1,096} = 5,29 \rightarrow 5$$

Możliwość zainstalowania 3x5 = 15 paneli o wymiarach 1,096 x 1,754.

Z uwagi na wysokie roczne zużycie energii elektrycznej dach od strony południowej zostanie całkowicie pokryty panelami fotowoltaicznymi. Zdecydowano o instalacji 3 paneli na każdej z dwóch części dachu o spadku 70% oraz 15 paneli na dachu o spadku 42%. Łączna ilość zainstalowanych paneli wynosi 21.

Moc zainstalowanej instalacji składającej się z 21 modułów fotowoltaicznych o mocy 405 W każdy:

$$21 * 405 = 8505 \text{ W} = 8,505 \text{ kW}$$
$$\frac{8,505 \text{ kW}}{1,2} * 1000 \text{ kWh} = 7087,5 \text{ kWh}$$

Pozostała moc potrzebna do zasilania pompy:

$$8051,83 - 7087,50 = 964,33 \text{ kWh}$$

Koszt łącznej ilości zainstalowanych paneli:

$$21 * 1065 = 22365 \text{ zł}$$

VI. Dobór turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu

Założenia:

- Turbina VAWT współpracuje z instalacją fotowoltaiczną, dlatego jej moc została dobrana tak, aby pokryła pozostałe zapotrzebowanie na energię elektryczną po uwzględnieniu paneli PV
- Turbina będzie możliwie jak najmniejsza, aby jej montaż i użytkowanie było jak najwygodniejsze.
- Turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu zostanie umieszczona w możliwie najwyższym punkcie na dachu budynku od strony północnej bądź na słupie z fundamentem w zależności od zaleceń producenta.

Dane:

- Moc potrzebna do uzyskania z turbiny wiatrowej VAWT dla powietrznej pompy ciepła wynosi około 3376,6 kWh.
- Moc potrzebna do uzyskania z turbiny wiatrowej VAWT dla gruntowej pompy ciepła wynosi około 964,33 kWh.

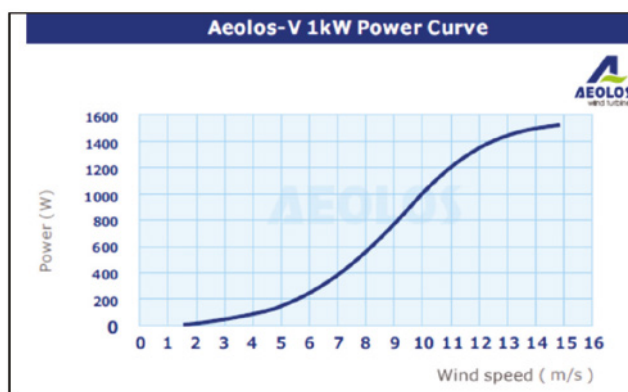
Z uwagi na rozbieżność w zapotrzebowaniu na energię elektryczną w zależności od rodzaju pompy ciepła zdecydowano o rozpatrzeniu 2 turbin wiatrowych firmy Aeolos.

Turbina Aeolos o mocy 600W:

- Moc nominalna 600 W
- Waga 18 kg
- Rozruch od prędkości wiatru 1,5 m/s
- Produkcja energii od prędkości 2,5 m/s
- Możliwość instalacji na dachu

Szacowana moc wg. producenta to 25% iloczynu jej mocy nominalnej:

$$600 \text{ W} * 24 \text{ h} * 365 \text{ dni} * 25\% = 1314 \text{ kWh/rok}$$



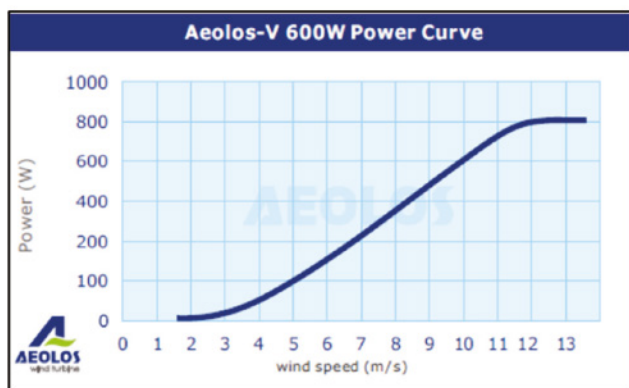
Rys. 12. Zależność produkcji energii elektrycznej od prędkości wiatru dla turbiny Aeolos 600W [15]

Fig. 12. Dependency of the power produced by Aeolos 600W wind turbine on the wind speed [15]

Turbina Aeolos o mocy 1kW:

- Moc nominalna 1000 W
 - Waga 78 kg
 - Rozruch od prędkości wiatru 1,5 m/s
 - Produkcja energii od prędkości 2 m/s
 - Możliwość instalacji na słupie
- Szacowana moc wg. producenta to 25% iloczynu jej mocy nominalnej:

$$1000 \text{ W} * 24 \text{ h} * 365 \text{ dni} * 25\% = 2190 \text{ kWh/rok}$$



Rys. 13. Zależność produkcji energii elektrycznej od prędkości wiatru dla turbiny Aeolos 1kW [16]

Fig 13. Dependency of the power produced by Aeolos 1kW wind turbine on the wind speed [16]

Obliczenie rzeczywistej mocy wyprodukowanej przez turbinę VAWT

Oszacowanie rzeczywistej mocy wyprodukowanej przez turbiny Aeolos o mocy 600 i 1000 W zostało wykonane na podstawie wielkości produkcji energii elektrycznej z rysunków 12 i 13 oraz średnich dziennych prędkości wiatru z roku 2020. W obliczeniach przyjęto, że przez cały dzień wiatr wieje z tą samą prędkością. Zsumowane wyniki obliczeń zostały przedstawione w poniższej tabeli.

- Suma kilowatogodzin w ciągu roku dla turbiny Aeolos o mocy 600 W wyniosła 739,80 kWh.
- Suma kilowatogodzin w ciągu roku dla turbiny Aeolos o mocy 1 kW wyniosła 1307,59 kWh.

Porównując obliczone wartości mocy wytworzonej przy pomocy turbin Aeolos dla warunków pogodowych panujących w 2020 roku do mocy oszacowanej przez producenta można zauważyć prawie dwukrotną różnicę w wartościach. Z uwagi na niewielką zmienność warunków pogodowych na przestrzeni lat przy doborze sugerowano się wartościami obliczonymi dla roku 2020, jednak nieco zawyżonymi.

Dobór turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu:

- Gruntowa pompa ciepła – dobrano 1 turbinę Aeolos o mocy 600W. Turbina będzie zamontowana na dachu. Koszt brutto wynosi ok. 12000 zł.
- Powietrzna pompa ciepła – dobrano 2 turbiny Aeolos o mocy 1kW każda. Turbiny będą zamontowane na słupach z fundamentami. Koszt brutto 1 turbiny wynosi ok. 20000 zł.

4. Dofinansowania

W analizie uwzględniono dofinansowania z programów „Czyste Powietrze” oraz „Mój Prąd” na sprężarkowe pompy ciepła oraz instalację fotowoltaiczną.

Program „Czyste Powietrze”

Program „Czyste Powietrze” przeznaczony jest dla 2 grup beneficjentów, które różnią się od siebie przede wszystkim wielkością dochodów mieszkańców danego budynku:

I grupa – dochód roczny osób fizycznych, będących właścicielami/współwłaścicielami budynków mieszkalnych jednorodzinnych, nie przekracza 100 000 zł.

II grupa – miesięczny dochód na jednego członka gospodarstwa domowego nie przekracza kwoty:

- 1564 zł w gospodarstwie wieloosobowym
- 2189 zł w gospodarstwie jednoosobowym

W przypadku każdej z grup, beneficjenci to osoby, które są właścicielami bądź współwłaścicielami budynku mieszkalnego jednorodzinne lub wydzielonego w budynku jednorodzinny lokalu mieszkalnego z wyodrębnioną księgą wieczystą. [7]

Program „Mój Prąd”

Program „Mój Prąd” przeznaczony jest dla osób, które wytwarzają energię elektryczną na własne potrzeby oraz mają zawartą umowę kompleksową regulującą kwestie związane z wprowadzeniem do sieci energii elektrycznej wytworzonej w mikroinstalacji fotowoltaicznej. Program ten przewiduje maksymalną kwotę 3000 zł dotacji, podczas gdy intensywność dofinansowania wynosi 50%. [8]

5. Analiza porównawcza

Analizie zostaną poddane następujące przypadki:

1. Aktualne źródło ciepła, czyli dom ogrzewany kotłem zasilanym gazem ziemnym oraz zasilany prądem kupowanym z elektrowni.
2. Wymiana źródła ciepła, czyli dom ogrzewany przy pomocy sprężarkowej pompy ciepła, która jest zasilana poprzez panele fotowoltaiczne oraz turbinę wiatrową o pionowej osi obrotu, pokrywające jednocześnie zapotrzebowanie na energię elektryczną do oświetlenia i sprzętu AGD.

Założenia:

- Cena za gaz i energię elektryczną jest niezmienna i oparta na danych z roku 2020.
- Instalacja fotowoltaiczna oraz turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu zapewniają całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną potrzebną do prawidłowego funkcjonowania pompy ciepła oraz działania sprzętu AGD i oświetlenia w domu.
- Pompa ciepła samodzielnie ogrzewa cały budynek, więc dodatkowe koszty związane z załączaniem się grzałki w pompie ciepła nie są uwzględnione.
- W analizie zostały uwzględnione osoby, które są objęte dofinansowaniami z programu „Czyste Powietrze”, „Mój Prąd” oraz niekwalifikujące się do żadnego programu.

Dane:

- Łączna cena brutto zużytego gazu ziemnego na przestrzeni roku wynosi 4370,03 zł na podstawie archiwum prywatnego.
- Łączna cena brutto zużytej energii elektrycznej na przestrzeni roku wynosi 2166,86 zł na podstawie archiwum prywatnego.
- Łączny koszt zakupu pompy typu powietrze – woda, paneli fotowoltaicznych, turbin VAWT i zasobnika ciepła c.w.u. wynosi 105638 zł
- Łączny koszt zakupu pompy typu solanka – woda, paneli fotowoltaicznych, turbiny VAWT i zasobnika ciepła c.w.u. wynosi 69003 zł

Tabela 8. Zestawienie łącznej ilości mocy wyprodukowanej przez każdą z turbin w każdym miesiącu

Table 8. Comparison of total amount of capacity produced by each wind turbine in each month

		Łączna ilość wyprodukowanej mocy przez poszczególne turbiny											
		Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień
		Turbina Aeolos 600 W											
Moc	[W]	3667	4554	3886	2349	2632	2158	1918	2088	1564	1925	1240	2844
Moc	[kWh]	88,008	109,296	93,26	56,38	63,17	51,79	46,03	50,11	37,54	46,2	29,76	68,26
		Turbina Aeolos 1 kW											
Moc	[W]	6330	7680	6837	4462	4653	3859	3347	3703	2813	3552	2306	4941
Moc	[kWh]	151,92	184,32	164,09	107,09	111,67	92,62	80,33	88,87	67,51	85,25	55,34	118,58

Tabela 9. Zestawienie sumy opłat po uwzględnieniu dofinansowania dla każdej grupy beneficjentów oraz dodatkowych kosztów

Kwota po uwzględnieniu dofinansowania do ogrzewania powietrzną pompą ciepła powiększona o dodatkowe koszty			Kwota po uwzględnieniu dofinansowania do ogrzewania gruntową pompą ciepła powiększona o dodatkowe koszty		
Program "Czyste Powietrze"		Program "Mój Prąd"	Program "Czyste Powietrze"		Program "Mój Prąd"
I grupa beneficjentów	II grupa beneficjentów	Osoby niekwalifikujące się do żadnej z grup	I grupa beneficjentów	II grupa beneficjentów	Osoby niekwalifikujące się do żadnej z grup
[zł]	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]
92138,00	87638,00	107638,00	63415,90	58220,20	81003,00

Tabela 10. Porównanie kosztów związanych z różną formą ogrzewania dla każdego wariantu na przestrzeni lat

	Łączne opłaty za gaz ziemny i energię elektryczną	Łączne opłaty związane z ogrzewaniem powietrzną pompą ciepła			Łączne opłaty związane z ogrzewaniem gruntową pompą ciepła		
		"Czyste Powietrze"		"Mój Prąd"	"Czyste Powietrze"		"Mój Prąd"
		I grupa	II grupa	Osoby niekwalifikujące się do żadnej z grup	I grupa	II grupa	Osoby niekwalifikujące się do żadnej z grup
	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]
Po roku	6536,89	92138,00	87638,00	107638,00	63415,90	58220,20	81003,00
Po 10 latach	65368,88	92138,00	87638,00	107638,00	63415,90	58220,20	81003,00
Po 20 latach	130737,76	92138,00	87638,00	107638,00	63415,90	58220,20	81003,00

Tabela 11. Porównanie kosztów związanych z różną formą ogrzewania bez dofinansowania na przestrzeni lat

	Łączne opłaty za gaz ziemny i energię elektryczną	Opłaty bez dofinansowania związane z ogrzewaniem powietrzną pompą ciepła po uwzględnieniu kosztów dodatkowych		Opłaty bez dofinansowania związane z ogrzewaniem gruntową pompą ciepła po uwzględnieniu kosztów dodatkowych	
		[zł]	[zł]	[zł]	[zł]
Po roku	6536,89	110638,00	84003,00		
Po 10 latach	65368,88	110638,00	84003,00		
Po 20 latach	130737,76	110638,00	84003,00		

W analizie uwzględniono dodatkowe koszty związane z montażem i wykonaniem odwiertów w kwocie 5000 zł dla pompy ciepła typu powietrze/woda oraz 15000 zł dla pompy ciepła typu solanka/woda.

Kwoty dla każdej z grup beneficjentów kwalifikujących się do poszczególnych programów oraz dotyczące zakupu pompy typu powietrze/woda bądź solanka/woda zostały przedstawione w poniższej tabeli.

W poniższych tabelach przedstawione są opłaty za gaz ziemny i energię elektryczną, ogrzewanie powietrzną oraz gruntową pompą ciepła. W tabeli 10 zostały przedstawione warianty uwzględniające różne formy dofinansowania, natomiast w tabeli 11 zostały wyszczególnione łączne koszty bez żadnego dofinansowania. Zgodnie z założeniami łączne opłaty za gaz ziemny i prąd będą stale rosły wraz z upływem lat, natomiast wykorzystując odnawialne źródła energii koszty są jednorazowe i nie zwiększają się.

Na podstawie tabeli 11 można zauważyć, że po roku opłaty za gaz ziemny i prąd są niewielkie, jednak po 10 latach koszty inwestycji i eksploatacji dla I i II grupy beneficjentów korzystających z programu „Czyste Powietrze” są niższe niż za gaz i energię elektryczną. Po 20 latach opłaty za gaz i energię elektryczną są najwyższe. Rozpatrując wszystkie warianty uwzględniające dofinansowania oraz ich brak można wywnioskować, że zarówno opłaty związane z ogrzewaniem powietrzną pompą ciepła jak i gruntową pompą ciepła zwrócą się najpóźniej po kilkunastu latach.

6. Podsumowanie

Podsumowując analizę porównawczą można stwierdzić, że inwestycja w wymianę źródła ciepła zasilanego gazem ziemnym na sprężarkową pompę ciepła, zasilaną energią elektryczną wyprodukowaną przez instalację fotowoltaiczną oraz turbinę VAWT jest korzystna. Koszty zwracają się najwcześniej po paru latach, w zależności od typu dobranych urządzeń oraz wielkości dofinansowania. Jednocześnie można wywnioskować, że najkorzystniej jest zainstalować pompę ciepła w nowym budownictwie, gdzie obiekty są lepiej ocieplone, czego wynikiem jest mniejsze zapotrzebowanie na ciepło, skutkujące niższym zapotrzebowaniem na moc pompy, czyli niższej cenie. Inwestycja w urządzenia zasilane OZE zmniejszy koszty za ogrzewanie i energię

elektryczną, zarówno w przypadku nowej instalacji, jak również w wymianie użytkowanego dotychczas źródła ciepła zasilanego paliwem kopalnym, jednocześnie wpływając korzystnie na środowisko.

LITERATURA

- Grudzińska K., Analiza techniczno – ekonomiczna instalacji OZE na potrzeby domu jednorodzinnego, Warszawa: Politechnika Warszawska, 2022
- Nowodziński P., Kościńska I., „Bariery inwestowania w odnawialne źródła energii”, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, 17.2.1 (2016): 235 – 245
- Starkel L., Geografia Polski Środowisko Przyrodnicze, Warszawa: PWN, 1991 AKTY PRAWNE
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. O odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015 poz. 478) NORMY
- PN-92/B-01706:1992. Instalacje wodociągowe. Wytyczne w projektowaniu.
- PN-EN 14511-2 Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła do grzania i ziębienia oraz ziębiarki do procesów przemysłowych, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – część 2: Warunki badań
- ŹRÓDŁA INTERNETOWE
- <https://czystepowietrze.gov.pl/czyste-powietrze/>
- <https://mojprad.gov.pl/>
- <https://pgedystrybucja.pl/strefa-klienta/informacje-dla-konsumenta/taryfy-i-cenniki-plik-taryfa-2021>
- <https://galmet.com.pl/uploads/category/files/abc-projektanta-pomp-cieppla-gamlet-pl-19022020.pdf>
- https://www.viessmann-projektant.pl/baza-urazden/vitocal100s/pliki/wp_wytyczne_projektowe_vitocal_100s_111s_axx_bxx_04_2020_pl.pdf
- https://viessmann-projektant.pl/baza-urazden/vitocal222s/pliki/wp_wytyczne_projektowe_vitocal_200_s_dxx_222_s_cxx_split_powietrze_woda_04_2020_pl.pdf
- <https://docplayer.pl/114180223-Viessmann-vitocal-pompy-cieppla-powietrze-woda-wytyczne-projektowe-vitocal-300-a-typ-awo-ac-301-b-vitocal-200-a-typ-awci-ac-201.html>
- https://www.viessmann-projektant.pl/baza-urazden/vitocal222g/pliki/wp_wytyczne_projektowe_vitocal_200_g_300_g_350_g_222_g_333_g_solanka_woda_07_2020_pl.pdf
- <https://www.brasit.pl/aeolos-v-600w/>
- <https://www.brasit.pl/aeolos-v-1000w/>
- <https://pl.climate-data.org/europa/polska/masovian-voivodeship/warszawa-4560/>
- <https://instalreporter.pl/ogolna/wyniki-badan-dolnych-zrodel-ciepła-z-pompach-ciepła-typu-solankawoda/>