

Wojciech JĘDRZEJEWSKI*

DOI: https://doi.org/JoT2021_04

Projekt domowej instalacji energooszczędnej z analizą opłacalności ekonomicznej

Słowa kluczowe: *pompa ciepła, dom zero energetyczny, dom energooszczędny, COP, SCOP, projektowe zapotrzebowanie na ciepło, fotowoltaika, hybryda, Ten Step*

W pracy przedstawiono i uzasadniono celowość stworzenia domu zero-energetycznego skupiającego się na odnawialnych źródłach energii w postaci pompy ciepła i instalacji fotowoltaicznej. Na potrzeby pracy pozyskano rzeczywiste wyniki z pracy pompy ciepła, porównano je z warunkami atmosferycznymi takimi jak: panująca temperatura, wilgotność i nasłonecznienie oraz dobrano wielkość instalacji fotowoltaicznej pozwalającej na całkowite zaspokojenie potrzeb energetycznych budynku. Stworzono również program pozwalający dobrać odpowiednią moc pompy w zależności od danych jakie inwestor bądź firma dobierająca posiada. Na podstawie tych danych wykazano ekonomiczną słuszność inwestycji tego rozwiązania.

1. WSTĘP

Obecnie coraz więcej urządzeń do poprawnego działania potrzebuje energii elektrycznej. W Polsce ponad 85% całkowitego zapotrzebowania wytwarzane jest za pomocą procesu spalania paliw pierwotnych [2]. Tylko niewielki procent wytwarzany jest za pomocą źródeł odnawialnych. Jednym z czołowych problemów dzisiejszego świata jest kurczenie się zasobów naturalnych. Dodając do tego coraz wyższe zapotrzebowanie na energię elektryczną można wywnioskować poważne kłopoty. Jeśli spojrzeć na konsumpcję w sposób ilościowy to 30% pochłania transport, 30% przemysł, a aż 40% globalnego zużycia energii przypada na potrzeby komunalno-bytowe [3]. Ponadto drugim problemem jest zanieczyszczenie środowiska. Przemysł jak i transport obłożone są pewnymi restrykcjami zanieczyszczeń, natomiast grupa, która posiada najwyższy procentowy wskaźnik zużycia, jest niesprawdzalna. Mowa tutaj o domach jednorodzinnych, w których wciąż głównym źródłem ciepła jest piec na paliwo stałe. Jednym z rozwiązań tej sytuacji może być pompa ciepła, która w sposób efektywny może wykorzystać energię elektryczną

* Politechnika Wroclawska

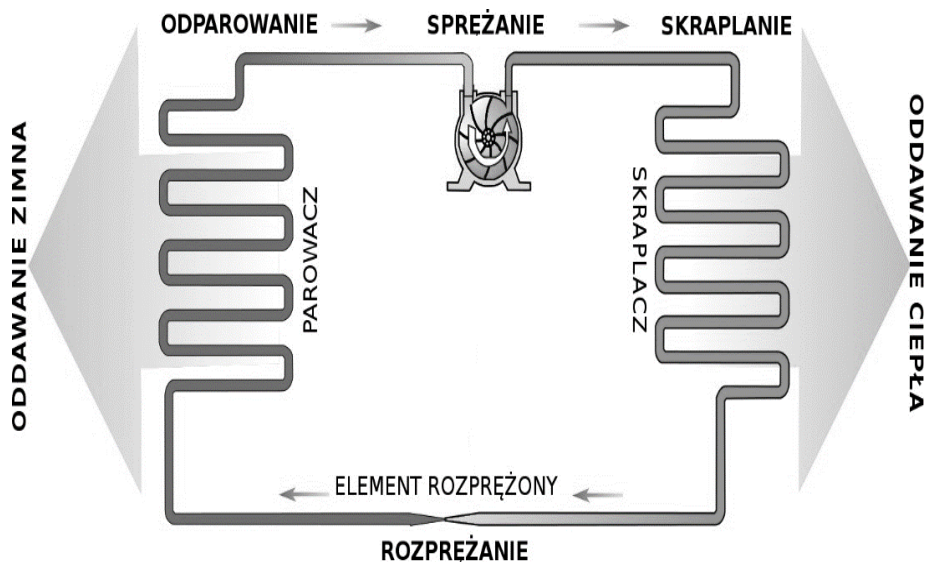
w celu zaspokojenia zapotrzebowania budynku na ciepło, żeby można było mówić o 100% energii odnawialnej, energia elektryczna musi również pochodzić ze źródła odnawialnego. Stąd też pomysł na połączenie źródła ciepła jakim jest pompa ciepła z instalacją fotowoltaiczną. Taki projekt można śmiało nazwać projektem przyszłościowym oraz zero-energetycznym.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Głównym celem pracy, było wykazanie sensowności ekonomicznej połączenia istniejącego źródła ciepła z instalacją fotowoltaiczną, w taki sposób aby zbilansować zapotrzebowanie energii z jej własnym wytworzeniem. Do tego celu pozyskano rzeczywiste wyniki pracy pompy ciepła, porównano je z warunkami atmosferycznymi otrzymanymi z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Stworzono kalkulator wyliczający moc źródła ciepła jakim jest pompa ciepła dla konkretnego budynku. Zbadano również nasłonecznienie na terenie miasta Warszawa, dla której wyliczono zyski energii dla poszczególnych ustawień paneli w różnych kierunkach świata i pod różnym kątem nachylenia. Dzięki tym danym możliwy był optymalny wybór ustawienia ogniw fotowoltaicznych. Kolejnym elementem pracy było stworzenie definicji projektu montażu instalacji w warunkach rzeczywistych.

3. CO TO JEST POMPA CIEPŁA

Pompa ciepła jest urządzeniem grzewczym pozwalającym zaspokoić zapotrzebowanie ciepłe użytkownika. Jej działanie opiera się na zasadach i przemianach termodynamicznych takich jak: I prawo termodynamiki zwane również zasadą zachowania energii jak i II zasada termodynamiki. Znając te prawa można dokładnie opisać zasadę działania pompy ciepła, a mianowicie wyróżnia się 3 obiegi. Obieg źródła dolnego, obieg termodynamiczny i obieg źródła górnego. Na rysunku 1. zaprezentowano zasadę działania pompy sprężarkowej.



Rys. 1. Schemat sprężarkowej pompy ciepła [1]

Fig. 1. Schematic of a compressor heat pump [1]

Po lewej stronie na rys. nr 1 jest obieg źródła dolnego, z prawej obieg źródła górnego, a pomiędzy obieg termodynamiczny. Ciepło odbierane jest w obiegu źródła dolnego np. z atmosfery w przypadku pomp powietrznych czy z gruntu w pompach gruntowych. Pobrana energia za pomocą czynnika chłodniczego nie posiada wysokich temperatur, dlatego odparowany czynnik w parowaczu transportowany jest do sprężarki, gdzie zostaje sprężony i przez to jego temperatura wzrasta. Następnie kierowany jest do skraplacza, gdzie oddaje ciepło np. wodzie. Czynnik po sprężeniu posiada temperaturę na tyle wysoką, że może zagrzać dom, lub zbiornik na ciepłą wodę użytkową. Po etapie kondensacji czynnik przechodzi przez zawór rozprężny gdzie zmniejsza swoje ciśnienie i temperaturę przemieszczając się z powrotem do obiegu źródła dolnego. Wszystko odbywa się w zamkniętym układzie, gdzie proces polega na cyklicznej zmianie stanu fizycznego czynnika chłodniczego. Oczywiście powyższy opis tyczy się tylko i wyłącznie pomp sprężarkowych, z których można wyróżnić 3 rodzaje:

- pompy ciepła gruntowe (wykorzystujące energię geotermalną),
- pompy ciepła powietrzne (wykorzystujące energię aerotermalną),
- pompy ciepła wodne (wykorzystujące energię z wód gruntowych).

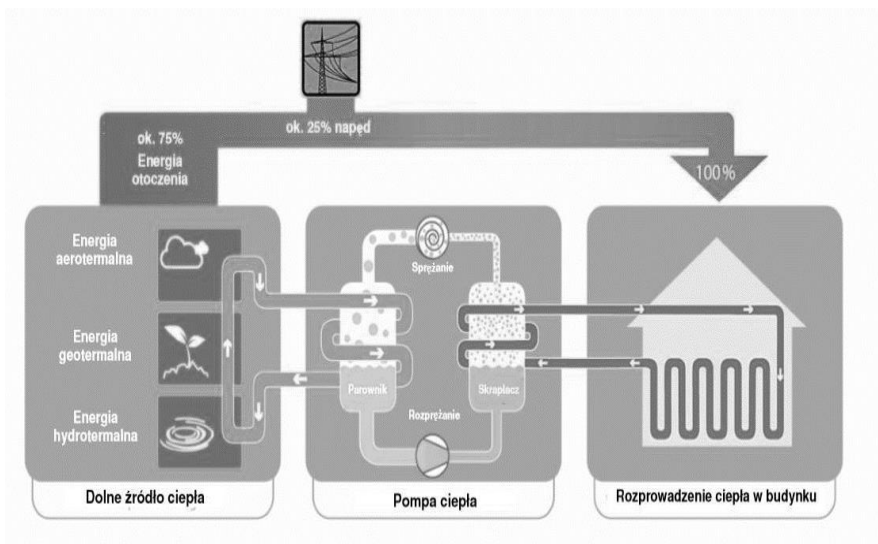
Pompy ciepła nie emitują szkodliwych substancji. Nie powodują zanieczyszczenia środowiska naturalnego produktami spalania takimi jak:

- dwutlenek węgla,
- tlenki węgla,
- tlenki azotu,

- tlenki siarki,
- sadza,
- pyły zawieszane.

Inwestycja w odnawialne źródła energii na szerszą skalę wydaje się być sposobem na znaczne poprawienie stanu środowiska i jakości powietrza. Pompa powietrzna do swego działania potrzebuje jednak energii elektrycznej, dlatego o źródle odnawialnym w 100% można mówić, tylko wtedy, kiedy dostarczona energia pochodzi również ze źródła odnawialnego.

Dlatego też postanowiono połączyć pompę ciepła z instalacją fotowoltaiczną. Dla sprężarkowej pompy ciepła o współczynniku efektywności COP=4,0 zgodnie z Dyrektywą 2009/28/WE udział energii odnawialnej wynosi od 60% do 80%. Przy takim współczynniku około 25% energii jest dostarczona na potrzeby „napędu”, 75% energii pobierana jest z otoczenia czyli ze źródeł odnawialnych. Odbiorca otrzymuje 100% energii grzewczej zaspokajającej jego potrzeby ciepłne. Zostało to pokazane na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład energii w pompie ciepła [2]
Fig. 2. Distribution of energy in a heat pump [2]

Połączenie pompy ciepła z instalacją fotowoltaiczną ma sens ekologiczny, natomiast w dalszej części zostaną zaprezentowane wyniki potwierdzające również sens ekonomiczny.

4. DZIAŁANIE INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ

Instalacja fotowoltaiczna składa się z modułów fotowoltaiczne, zabezpieczenia DC i AC oraz falownika. Inwerter jest sercem instalacji, natomiast to dzięki modułom, można wykorzystać energię słoneczną do wytworzenia energii elektrycznej.

Sercem panelu są fotoogniwa. Są w stanie wytworzyć energię elektryczną dzięki złączu P- N stworzonemu w płytce krzemowej. Padające światło słoneczne stworzone jest z fotonów. Foton posiada energię większą niż szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika. Poprzez dostarczoną energię przez foton, elektron przebija się przez przerwę energetyczną i następuje przepływ prądu elektrycznego. Tak więc dzięki złączu P- N jest możliwość wytworzenia energii za pomocą światła słonecznego.

5. PARAMTERY PRACY POMPY CIEPŁA

W pracy posłużono się rzeczywistymi danymi zużycia energii elektrycznej domu jednorodzinnego o powierzchni 110m². Budynek ogrzewany jest wyłącznie pompą ciepła marki WOLF BWL-1s o mocy 10kW. Jest to pompa powietrzna typu split z wbudowaną grzałką elektryczną, wspomagającą pracę pompy w najmroźniejsze dni o mocy 6kW. Dom zamieszkują 2 starsze osoby, ustawiona temperatura wynosi 23,5 °C, co jest wartością bardzo dużą. Każdy dodatkowy stopień podnosi zużycie energii w pompie ciepła. Wartość jaką podaje norma PN-EN 12831:2006 [4] wynosi 20°C. Instalacja składa się w 100% z instalacji grzejnikowej, która również wpływa na zwiększone zużycie energii elektrycznej. Dzieje się tak, ponieważ ogrzewanie grzejnikowe wymaga wyższego parametru wynoszącego ok. 55°C, oczywiście można go zmniejszyć gdy odpowiednio przewymiaruje się grzejniki, natomiast nigdy nie zejdzie się do poziomu 35°C, który posiada ogrzewanie płaszczynowe. Wybrany budynek jest modernizowany, tzn. że zostało w nim wymienione urządzenie grzewcze. Pierwszym źródłem ciepła był kocioł na eko-groszek. Obiekt nie jest zaizolowany odpowiednio co jasno wynika z wielkości źródła ciepła oraz z otrzymanych wyników zużycia energii elektrycznej. Wpływ ocieplenia na zapotrzebowanie budynku oraz badania na ten temat zostały przeprowadzone w pracy inżynierskiej: Wojciecha Jędrzejewskiego pt. „Projekt hybrydowego systemu grzewczego z odnawialnymi źródłami ciepła” [5].

Dane zużycia energii są wartościami jej zużycia w domu każdego dnia i nocy, spisywane przez 2,5 roku wraz z wyliczeniami kosztów tej energii w taryfie dziennej i nocnej. Poniżej zostaną zaprezentowane wyłącznie podsumowania za rok 2018.

Tab. 1. Roczne podsumowanie
Tab. 1. annual summary

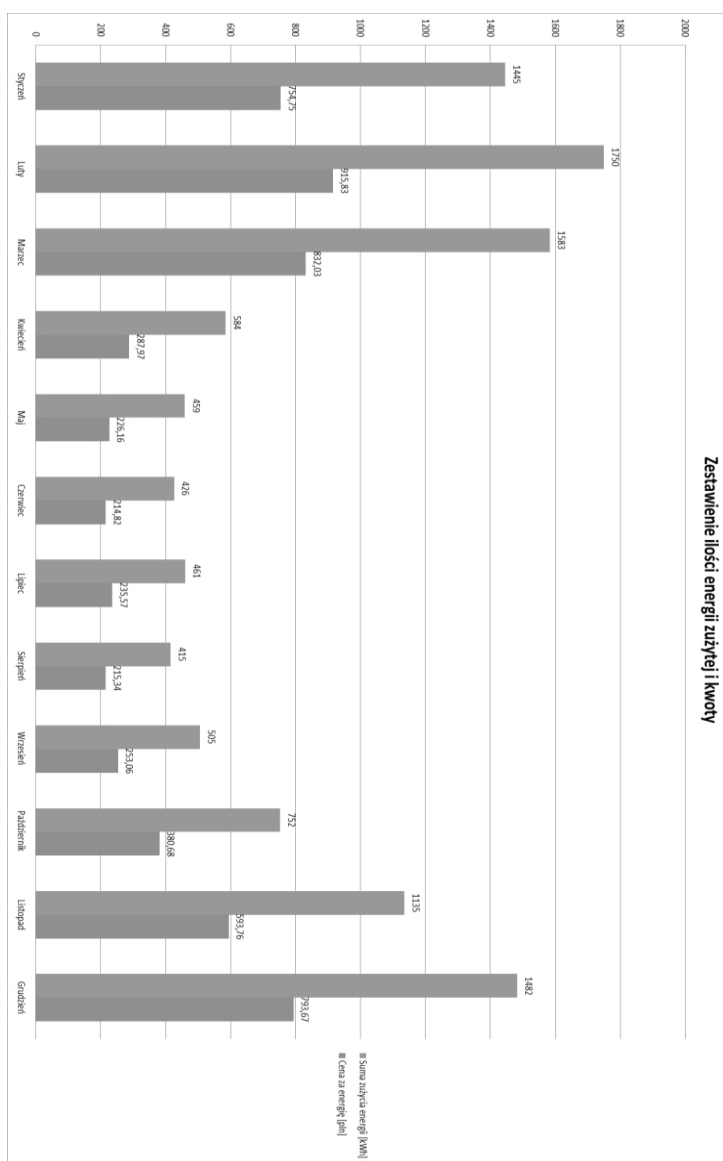
Miesiąc	Suma zużycia energii [kWh]	Cena za energię [pln]
Styczeń	1445	754,75
Luty	1750	915,83
Marzec	1583	832,03
Kwiecień	584	287,97
Maj	459	226,16
Czerwiec	426	214,82
Lipiec	461	235,57
Sierpień	415	215,34
Wrzesień	505	253,06
Październik	752	380,68
Listopad	1135	593,76
Grudzień	1482	793,67
Suma:	10997	5703,64
Najzimniejszy miesiąc	Luty	średnia temperatura: -3,5
Najdroższy miesiąc	Luty	915,83

W ciągu całego roku zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną wyniosło 10997 [kWh], koszt był równy 5703,64 zł. Z danych otrzymanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, najzimniejszym miesiącem był luty, co przekłada się na najwyższy rachunek za prąd równy 915,83 zł. Dom charakteryzuje się bardzo dużym zużyciem energii elektrycznej spowodowanym:

- brakiem ocieplenia zewnętrznego budynku;
- instalacją grzejnikowa;
- zaprogramowaną temperaturą: 23,5°C;
- brakiem rekuperacji;

O ile wcześniejsze elementy zostały wyjaśnione, o tyle warto poruszyć temat rekuperacji. Rekuperator jest urządzeniem służącym do wymiany powietrza w domu z odzyskiem ciepła. Montaż tego urządzenia pozwala ograniczyć zapotrzebowanie na ciepło w budynku nawet o 30%, co zostało dowiedzione w pracy inżynierskiej: Wojciecha Jędrzejewskiego pt. „Projekt hybrydowego systemu grzewczego z odnawialnymi źródłami ciepła” [5]. Wszystkie te elementy składają się na znacznie wyższe rachunki za energię elektryczną. Niestety z otrzymanego zestawienia nie można w sposób precyzyjny określić jak duże było zużycie energii przez samą tylko pompę ciepła, gdyż do tego celu należałoby zamontować dodatkowy licznik prądowy, czego nie zrobiono. Możliwe jest natomiast wyliczenie przybliżonego zużycia pracy pompy ciepła.

Rysunek nr 4 prezentuje wykres z otrzymanymi wynikami zużycia energii wraz z kwotami za tę energię. Średnie zużycie energii w miesiącach letnich wyniosło 440,25 kWh. Ten wynik został odjęty od poszczególnej miesięcznej sumy zużycia energii, co w sumie dało wynik 5714 kWh. Jest to ilość energii jaka została zużyta na potrzeby grzewcze przez pompę ciepła. Można zauważyć że jest to ponad 50% całkowitego zużycia energii w badanym obiekcie.



Rys. 4. Roczne zestawienie ilości energii zużytej i kwoty za energię

Fig. 4. Annual breakdown of the amount of energy consumed and the amount for energy

6. PROJEKT POŁĄCZENIA POMPY CIEPŁA Z SYSTEMEM FOTOWOLTAICZNYM

Uzysk energii jaki można otrzymać z paneli bardzo mocno skorelowany jest z ich ustawieniem w kierunku światła oraz stopni nachylenia. W pracy posłużono się danymi aktynometrycznymi udostępnionymi przez instytut Meteorologii i Gospodarki wodnej. Wybrano następujące kierunki:

- N (z ang. North – północ),
- NE (z ang. Northeast – północny wschód),
- E (z ang. East – wschód),
- SE (z ang. Southeast – południowy wschód),
- S (z ang. South – południe),
- SW (z ang. Southwest – południowy zachód),
- W (z ang. West – zachód),
- NW (z ang. Northwest – północny zachód).

Kąty nachylenia są następujące:

- 0°,
- 30°,
- 45°,
- 60°,
- 90°.

Otrzymane wyniki i wykresy zostały zamieszczone w załączniku C pracy magisterskiej Wojciecha Jędrzejewskiego pt.: „*Opracowanie projektu instalacji energooszczędnej dla domu wraz z analizą opłacalności ekonomicznej*” [6], z uwagi na ich obszerny charakter w niniejszym artykule zostaną zaprezentowane wyłącznie rezultaty końcowe.

Z opracowanego programu do potrzeb pracy magisterskiej wyliczono, że aby w 100% zaspokoić zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną wielkość instalacji musi wynosić 13,42 kWp. Taka wielkość bardzo mocno skorelowana jest z progami prosumenckimi panującymi w Polsce. Dla instalacji o mocy przekraczającej 10kW inwestor produkując nadmiar energii wysyła ją do zakładu energetycznego, a następnie może w rozliczeniu rocznym pobrać 70% tej wartości wysłanej. Dla instalacji równej bądź mniejszej od 10kW ten próg wynosi 80%. W programie do wyliczenia mocy instalacji wzięto pod uwagę ten problem, dlatego wielkość instalacji została zwiększona. Dla mocy jednego panela o wartości nominalnej: 310 Wp, instalacja musiałaby składać się z 45 paneli. Otrzymane wyniki poszczególnych ustawień paneli zawiera tabela nr 2.

Tab. 2. Wpływ ustawienia i pochylenia modułu na moc instalacji
 Tab. 2. Effect of module orientation and tilt on installation power

Dane		%		Porównanie
Ustawienie modułu	Suma rocznej energii [kW]	procent z wartości max	strata %	różnica w zapotrzebowaniu
S_30	14266,41	99,917	0,08	1266,41
N_0	13230,54	92,666	7,34	230,54
N_30	11254,99	78,822	21,17	-1745,01
NE_30	11783,99	82,532	17,47	-1216,01
E_30	12939,92	90,622	9,37	-60,08
SE_30	13950,93	97,711	2,29	950,93
SW_30	13712,61	96,049	3,96	712,61
W_30	12613,97	88,343	11,65	-386,03
NW_30	11564,55	80,993	19,00	-1435,45
SE_30	13950,93	97,7101	2,29	950,93
SW_30	13712,61	96,0409	3,96	712,61
W_30	12613,97	88,3463	11,65	-386,03
NW_30	11564,55	80,9963	19,00	-1435,45
N_45	10325,91	72,3211	27,68	-2674,09
NE_45	11091,71	77,6846	22,32	-1908,29
E_45	12612,74	88,3376	11,66	-387,26
SE_45	13905,52	97,3921	2,61	905,52
S_45	14277,88	100,0000	0,00	1277,88
SW_45	13583,86	95,1392	4,86	583,86
W_45	12201,98	85,4608	14,54	-798,02
NW_45	10824,21	75,8111	24,19	-2175,79
N_60	9596,30	67,2110	32,79	-3403,70
NE_60	10579,79	74,0992	25,90	-2420,21
E_60	12192,79	85,3964	14,60	-807,21
SE_60	13588,98	95,1751	4,82	588,98
S_60	13944,68	97,6664	2,33	944,68
SW_60	13217,89	92,5760	7,42	217,89
W_60	11754,11	82,3239	17,68	-1245,89
NW_60	10341,84	72,4326	27,57	-2658,16
N_90	9250,72	64,7906	35,21	-3749,28
NE_90	9909,69	69,4059	30,59	-3090,31
E_90	11130,29	77,9548	22,05	-1869,71
SE_90	12263,41	85,8910	14,11	-736,59
S_90	12413,11	86,9395	13,06	-586,89
SW_90	11911,84	83,4286	16,57	-1088,16
W_90	10799,35	75,6369	24,36	-2200,65
NW_90	9793,23	68,5903	31,41	-3206,77
MAX	14277,88			
zapotrzebowanie	13000			

Suma energii jaką wyprodukowano by w ciągu całego roku opiewa na wartość ponad 14 200 kW. Najkorzystniejszym ustawieniem jest kierunek południowy o kącie 45°. Z otrzymanych wyników można również zauważyć cykliczność zmiany wyników. Najkorzystniejszym jest ustawienie typowo południowe, następnie południowo-wschodnie i południowo-zachodnie, dalsze jest typowo wschodnie i zachodnie. Najgorszym ustawieniem jest ustawienie typowo północne. Jeżeliby zwrócić uwagę na kąt to 45° jest najkorzystniejszym, jednak tylko niewiele lepszym od 30°, bo o dokładnie 11,47kW. Najmniej korzystnym kątem jest kąt 90°.

Instalację fotowoltaiczną można montować na dachu jak i na gruncie. Instalacja gruntowa ma przewagę nad dachową możliwością dobrania idealnego kierunku jak i nachylenia. Przy montażu instalacji na dachu instalator ma niekiedy bardzo mało możliwości czy to z dobraniem wymaganej wielkości jak i z dopasowaniem kierunku i kąta oraz ustawienia paneli w taki sposób, aby uniknąć zacienień.. Dzięki otrzymanemu zestawieniu można zauważyć, że aż 10 wyników przewyższa dobre zapotrzebowanie. W celu optymalizacji kosztowej zmniejszono wielkość instalacji do 41 szt. paneli i otrzymano poniższy rezultat.

Tab. 3. Wpływ ustawienia i pochylenia modułu na moc instalacji- zoptymalizowane
Tab. 3. Effect of module orientation and tilt on plant power-optimized

Dane		%		Porównanie
Ustawienie	Suma rocznej energii	procent z wartości	strata	różnica w
S_30	12998,28	99,9197	0,08	-1,72
N_0	12054,49	92,6646	7,34	-945,51
N_30	10254,55	78,8282	21,17	-2745,45
NE_30	10736,52	82,5332	17,47	-2263,48
E_30	11789,70	90,6292	9,37	-1210,30
SE_30	12710,85	97,7101	2,29	-289,15
SW_30	12493,71	96,0409	3,96	-506,29
W_30	11492,73	88,3463	11,65	-1507,27
NW_30	10536,59	80,9963	19,00	-2463,41
N_45	9408,05	72,3211	27,68	-3591,95
NE_45	10105,78	77,6846	22,32	-2894,22
E_45	11491,61	88,3376	11,66	-1508,39
SE_45	12669,48	97,3921	2,61	-330,52
S_45	13008,73	100,0000	0,00	8,73
SW_45	12376,40	95,1392	4,86	-623,60
W_45	11117,36	85,4608	14,54	-1882,64
NW_45	9862,06	75,8111	24,19	-3137,94
N_60	8743,29	67,2110	32,79	-4256,71
NE_60	9639,36	74,0992	25,90	-3360,64

E_60	11108,99	85,3964	14,60	-1891,01
SE_60	12381,07	95,1751	4,82	-618,93
S_60	12705,15	97,6664	2,33	-294,85
SW_60	12042,96	92,5760	7,42	-957,04
W_60	10709,30	82,3239	17,68	-2290,70
NW_60	9422,57	72,4326	27,57	-3577,43
N_90	8428,43	64,7906	35,21	-4571,57
NE_90	9028,83	69,4059	30,59	-3971,17
E_90	10140,93	77,9548	22,05	-2859,07
SE_90	11173,33	85,8910	14,11	-1826,67
S_90	11309,72	86,9395	13,06	-1690,28
SW_90	10853,01	83,4286	16,57	-2146,99
W_90	9839,41	75,6369	24,36	-3160,59
NW_90	8922,72	68,5903	31,41	-4077,28
MAX:	13008,73			
zapotrzebowanie	13000			

Ponownie ustawienie typowo południowe o kącie nachylenia 45° wyszło najkorzystniejsze, gdzie suma rocznej energii wyniosłaby ok. 13000 kW. Koszt instalacji zmalał o około 1500zł.

Tab. 4. Koszty zoptymalizowanej instalacji opracowanie własne
Tab. 4. Costs of the optimized installation developed by the authors

Koszty				
opis pozycji	cena/szt.	ilość szt.	koszt całkowity	notatki
Panele fotowoltaiczne	392,09 zł	41	16 075,69 zł	
Inwerter trójfazowy	7 583,30 zł	1	7 583,30 zł	
System montażowy	2 892,63 zł	1	2 892,63 zł	
Okablowanie AC/DC	198,09 zł	2	396,18 zł	
Zabezpieczenia AC/DC	1 870,01 zł	1	1 870,01 zł	
Uziom	32,82 zł	1	32,82 zł	
Koszty dodatkowe	800,00 zł	1	800,00 zł	

opis pozycji	cena/kWp	ilość kWp	koszt całkowity	notatki
Montaż	1 000,00 zł	13,42	13 418,96 zł	
Razem netto		43 069,59 zł		
Vat 8%		3 445,57 zł		
Razem brutto		46 515,16 zł		
Koszt jednostkowy PLN/kWp		3 466,38 zł		

Całość inwestycji plasuje się na poziomie ok. 46,5 tys. zł. W dalszej części zostanie wyliczony koszt inwestycji i ekonomiczność takiego połączenia.

7. KOSZT INWESTYCJI W INSTALACJĘ FOTOWOLTAICZNĄ ORAZ EKONOMICZNOŚĆ POŁĄCZENIA

W celu dokonania jak najdokładniejszej analizy opłacalności przedstawionego rozwiązania ustalono pewne warunki brzegowe. Okres zwrotu z inwestycji powinien wynosić nie więcej niż 10 lat, aby inwestycja była rentowna. Zakładana trwałość systemu to co najmniej 15 lat. Roczny wzrost cen prądu ustalono na poziomie 2,58%. Taki wskaźnik wzrostu ustalono na podstawie ceny za 1kWh dla gospodarstw domowych w okresie 2001-2018, natomiast warto nadmienić, że ceny prądu będą nieproporcjonalnie rosnąć w najbliższych latach. Według ekspertów spodziewany wzrost będzie oscylował w zakresie 20-70% Takie prognozy niewątpliwie zwiększą rentowność inwestycji. Do wyliczenia rentowności inwestycji posłużono się uniwersalnym ekonomicznym wskaźnikiem NPV. Kwota inwestycji wynosi 46 515,16 zł, którą inwestor ponosi w roku zerowym. Dochodem jest kwota za energię powiększoną o wskaźnik wzrostu ceny energii wyliczony na podstawie średnich cen w okresie 17 lat.

Tab. 5. Dane ogólne do inwestycji w instalację PV
 Tab. 5. General data for investment in PV installation

1. Dane ogólne	
Dotacja (UE, Gmina lub inna)	0,000%
Akceptowalna stopa od kapitału własnego	2,00%
Stopa kredytu bankowego	8,00%
Przyrost kosztów zmiany energii elektrycznej	2,580%
Roczna stała rata kredytu bankowego przy kredycie na wartość instalacji pv i zakładanej stopie procentowej na 10 lat	6 932,13 zł
Jednostkowy koszt systemu PV	3 466 PLN/KWp brutto
Koszt energii elektrycznej wg. Taryfy G11 Tauron	0,60 zł
Zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną [kW]	10997
Roczny koszt energii elektrycznej	6 598,20 zł
koszt instalacji fotowoltaicznej	46 515,16 zł
Koszt inwestycji w pompę ciepła	47 932,00 zł

W tabeli nr 5 zostały zaprezentowane wszystkie dane potrzebne do wyliczenia wskaźnika NPV dla okresu 10 lat. Akceptowalną stopą od kapitału własnego powinna być na poziomie aktualnej inflacji tj. 2%. Inwestor realizuje inwestycje na dwa sposoby. Pierwszym jest realizacja z własnych środków, natomiast drugim jest wzięcie kredytu bankowego. Wyniki są w tabeli nr 6.

Tab. 6. Przepływy gotówkowe w okresie 10 lat przy inwestycji własnej i po zaciągnięciu kredytu
 Tab. 6. cash flow over 10 years with own investment and after borrowing

Rok	Koszty i zyski z instalacji fotowoltaicznej - inwestycja ze środków własnych - przy założeniu średniej zmiany ceny prądu	Koszty i zyski z instalacji fotowoltaicznej - inwestycja przy udziale kredytu bankowego
0	-46 515,16 zł	0,00 zł
1	6 598,20 zł	-333,93 zł
2	6 768,43 zł	-163,70 zł
3	6 943,06 zł	10,93 zł
4	7 122,19 zł	190,06 zł
5	7 305,94 zł	373,81 zł
6	7 494,44 zł	562,31 zł
7	7 687,79 zł	755,66 zł
8	7 886,14 zł	954,01 zł
9	8 089,60 zł	1 157,47 zł
10	8 298,31 zł	1 366,18 zł
Razem	27 678,95 zł	4 872,80 zł
NPV	19 464,40 zł	4 020,00 zł

W jednym jak i w drugim przypadku wskaźnik wyszedł dodatni, co świadczy o rentowności inwestycji. Dla założenia, że inwestycja pochodzi ze środków własnych, zwraca się ona w przeciągu 6 lat, natomiast dla inwestycji ze środków przy udziale kredytu bankowego, inwestycja zwraca się w 9 roku. Powyższe wyliczenia nie zakładają żadnego dofinansowania ze źródeł zewnętrznych. Najbardziej powszechnym jest dofinansowanie

„Mój Prąd” prowadzony przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, którego celem jest zwiększenie produkcji energii elektrycznej z mikro instalacji fotowoltaicznych na terenie Rzeczypospolitej Polskiej. Drugim jest ulga termomodernizacyjna. Uwzględniając je w kosztach instalacji, wskaźnik NPV wygląda następująco:

Tab. 7. Przepływy gotówkowe w okresie 10 lat przy skorzystaniu z dotacji „Mój Prąd”.

Tab. 7. cash flow over 10 years with the use of the "My Current" grant.

Rok	Koszty i zyski z instalacji fotowoltaicznej - inwestycja ze środków własnych - przy założeniu średniej zmiany ceny prądu	Koszty i zyski z instalacji fotowoltaicznej - inwestycja przy udziale kredytu bankowego
0	-36 515,16 zł	0,00 zł
1	6 598,20 zł	1 156,37 zł
2	6 768,43 zł	1 326,60 zł
3	6 943,06 zł	1 501,22 zł
4	7 122,19 zł	1 680,36 zł
5	7 305,94 zł	1 864,11 zł
6	7 494,44 zł	2 052,60 zł
7	7 687,79 zł	2 245,96 zł
8	7 886,14 zł	2 444,30 zł
9	8 089,60 zł	2 647,76 zł
10	8 298,31 zł	2 856,48 zł
Razem	37 678,95 zł	19 775,75 zł
NPV	29 268,32 zł	17 144,21 zł

Inwestycja ze środków własnych zwraca się w okresie ok. 4 lat. Inwestycja przy udziale środków zewnętrznych w zasadzie po roku zaczyna przynosić zysk. Rata kredytu spłacana jest rachunkiem za prąd z nadmiarem.

8. PODSUMOWANIE

Dzięki otrzymanym wynikom, można stwierdzić, że inwestycja w system pompa ciepła z systemem fotowoltaicznym jest opłacalna, nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także ekologicznych. Pomimo zadowalających wyników, istnieje możliwość zwiększenia zysków płynących z instalacji PV. W tym przypadku należałoby zainwestować w odpowiednie ocieplenie budynku. Konsekwencjami będą mniejsze straty ciepła, zmniejszone zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła, w wymagana moc instalacji mogłaby wynieść mniej niż 10kW. Zgodnie z obowiązującym systemem opustowym stosunek energii oddanej do pobranej zwiększyłby się z 30:70 do 20:80 co w rezultacie wpłynęłoby na znaczne zmniejszenie wielkości i ceny instalacji. Inwestycja w dom zero-energetyczny nie tylko jest świetna pod względem ekonomicznym, ale także ekologicznym. Wpłynęłaby na ograniczenie zanieczyszczenia powietrza. Takie połączenie jest zero-emisyjne. Taka inwestycja jest pro-ekonomiczna, pro-zdrowotna i pro-ekologiczna.

LITERATURA:

- [1] <http://eco-sys.pl/> (dostęp: 25.05.2020 r.)
- [2] <http://portpc.pl> (dostęp: 25.05.2020 r.)
- [3] LEWANDOWSKI W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wydanie czwarte uaktualnione, Wydawnictwo WNT Warszawa 2001, 2012.
- [4] SZYMAŃSKI B., *Instalacje fotowoltaiczne*, GlobEnergia wydanie VI, Kraków, 2017
- [5] PN-EN 12831:2006, *Instalacje grzewcze w budynkach - Metoda obliczania obciążenia cieplnego*
- [6] JĘDRZEJEWSKI W., *Projekt hybrydowego systemu grzewczego z odnawialnymi źródłami energii*, Praca dyplomowa inżynierska, katedra technologii laserowych, automatyzacji i organizacji produkcji, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2018
- [7] JĘDRZEJEWSKI W., *Opracowanie projektu instalacji energooszczędnej dla domu wraz z analizą opłacalności ekonomicznej*, Praca dyplomowa magisterska, katedra technologii laserowych, automatyzacji i organizacji produkcji, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2020

PROJECT OF ENERGY-SAVING HOUSE INSTALLATION WITH AN ANALYSIS OF ECONOMIC PROFITABILITY

Key words: *heat pump, zero energy house, energy efficient house, COP, SCOP, design heat demand, photovoltaic, hybrid, Ten Step*

The paper presents and justifies the desirability of creating a zero-energy house focusing on renewable energy sources in the form of a heat pump and a photovoltaic installation. For the purposes of the study, actual results of a heat pump operation were obtained and compared with atmospheric conditions such as: temperature, humidity, and insolation. The size of the photovoltaic installation was selected, allowing the building to fully meet its energy needs. Furthermore, a program was created that allows people to select the appropriate pump power depending on the data provided by the investor or the selection company. On the basis of these data, the economic viability of the investment of this solution has been demonstrated.