

Kinga Nogaj

Politechnika Częstochowska
e-mail: k.nogaj@is.pcz.pl

MOŻLIWOŚCI ROZPROSZONEGO MAGAZYNOWANIA CIEPŁA W SYSTEMIE CIEPŁOWNICZYM POPRZEZ WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII DOMÓW SŁONECZNYCH*

POSSIBILITIES OF DISTRACTED HEAT STORAGE IN HEATING SYSTEM, THROUGH THE USE OF TECHNOLOGY OF SOLAR HOUSES

DOI: 10.15611/pn.2016.461.15

Streszczenie: Przeprowadzona analiza dotyczyła możliwości i ekonomicznej opłacalności podłączenia domów słonecznych do sieci ciepłowniczej, jako rozproszonych magazynów ciepła. Dom słoneczny to budynek, w którym zapotrzebowanie na ciepło jest pokrywane w przynajmniej 50% przez promieniowanie słoneczne. Na podstawie wykonanych badań stwierdza się, że bardziej opłacalnym rozwiązaniem byłoby podłączenie domu słonecznego do sieci ciepłowniczej. Przedsiębiorstwo ciepłownicze również może oczekiwać pozytywnych efektów takiego zabiegu, np. ograniczenie ciepła nieodebranego. Magazyn ciepła, który jest zlokalizowany w domu słonecznym, daje możliwość zmagazynowania nieodebranego ciepła w 100%, eliminując tym samym ponoszone z tego tytułu straty. Na przykładzie badanego przypadku można uzyskać oszczędności finansowe na poziomie 20%.

Słowa kluczowe: dom słoneczny, rozproszony magazyn ciepła, kolektory słoneczne.

Summary: The analysis concerned the possibilities and economic viability of connection of a solar house to the district heating network as a distributed storage of heat, by using economic indicators. Solar house is a building where heat demand is covered by solar radiation at least in 50%. On the basis of research it is stated that more cost-effective solution would be to connect a solar house to the heating network. A heating company can also expect positive effects of this operation, such as reduction of heat loss. Heat accumulator, which is located in the solar house, gives the possibility to store 100% heat from heating district network, which is missed by users. In this particular case, a user can get the financial savings of at level 20%.

Keywords: solar house, distracted heat accumulator, solar collectors.

* Materiał został przygotowany w ramach badań statutowych Politechniki Częstochowskiej dotyczących Magazynowania ciepła w systemie ciepłowniczym BS/MN-407-301/16.

1. Wstęp

Potrzeba racjonalnego gospodarowania energią przyczynia się do rozwoju nowych rozwiązań w systemie ciepłowniczym. Dlatego też nieustannie poszukuje się sposobów zwiększenia wydajności systemów ciepłowniczych przy jednoczesnym obniżeniu kosztów produkcji i przesyłu [Turski, Sekret 2015]. Jedną z metod racjonalnego gospodarowania energią jest stosowanie rozproszonych magazynów ciepła. Jednak rozwiązanie takie związane jest z brakiem wiedzy oraz doświadczeń m.in. w zakresie możliwości przyłączenia rozproszonych magazynów ciepła do sieci ciepłowniczej [Feliński i in. 2013]. Dlatego też szuka się rozwiązań pozwalających na zintegrowanie rozproszonych zasobników ciepła z siecią ciepłowniczą. Proponowanym rozwiązaniem w tym zakresie jest wykorzystanie koncepcji domów słonecznych podłączonych do sieci ciepłowniczej.

Dom słoneczny zdefiniowany przez [Sonnenhaus-Institut] pokrywa zapotrzebowanie na ciepło do ogrzania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej w 50% z energii słonecznej. Niezbędnym elementem składowym domu słonecznego jest magazyn ciepła, którego zadaniem jest długoterminowe magazynowanie ciepła pochodzące z kolektorów słonecznych na potrzeby budynku.

W literaturze nie są dostępne informacje na temat wymagań dla systemu magazynowania ciepła. Podobnie brak jest wiedzy na temat objętości, mocy cieplnej, ilości dostarczanego ciepła, poziomu temperatury dla ładowania i rozładowania [Zwierzchowski, Kwestarz 2004]. Potrzebna jest również znajomość takich parametrów, jak czas magazynowania oraz liczba cykli ładowania i rozładowania [Orzechowski, Stokowiec 2013]. Ocenia się, że system magazynowania ciepła ma duży potencjał zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii, zwiększenia efektywności systemu oraz zmniejszenia emisji zanieczyszczeń.

Działanie magazynu ciepła charakteryzuje się cyklicznością pracy, czyli następującymi po sobie fazami ładowania i rozładowania. Powszechnie znane magazynowanie ciepła odbywa się w cyklu dobowym lub kilkudniowym i nosi nazwę magazynowania krótkoterminowego [Kwestarz 2011]. Magazynowanie długoterminowe odnosi się natomiast do wyrównywania różnic w zapotrzebowaniu na ciepło w skali roku. Woda jest powszechnym i tanim nośnikiem energii cieplnej. Wodny magazyn ciepła wykorzystuje dużą pojemność cieplną wody oraz towarzyszący zmianie temperatury naturalny efekt wyporu wody. Woda o wyższej temperaturze (mniejsza gęstość) przepływa do górnej części magazynu ciepła, a woda o temperaturze niższej (wyższa gęstość) przemieszcza się ku dołowi. Pomiędzy strefą ciepłej i zimnej wody tworzy się warstwa termokliny (powierzchni nieużytecznej) [Zwierzchowski, Kwestarz 2004]. Dlatego też w magazynach ciepła dąży się do tworzenia stratyfikacji termicznej. Zjawisko to pozwala na zminimalizowanie grubości warstwy termokliny i wykorzystanie całej objętości magazynu ciepła. Ilość wody dostarczonej (ładowanie magazynu) i odebranej (rozładowanie magazynu) z magazynu ciepła jest sobie równa.

2. Dotychczas przeprowadzone badania dotyczące magazynowania ciepła w sieci ciepłowniczej

Pierwszy wodny centralny magazyn ciepła na rynku ciepłowniczym pojawił się w Dani. Jest to kraj, który ma najlepiej rozwinięty system ciepłowniczy. Ponad 63% [Swithenbank i in. 2013] duńskich domów zaopatrywanych jest w ciepło systemowe do ogrzewania budynków oraz do celów ciepłej wody użytkowej. Produkcja ciepła w Dani odbywa się w kilku centralnych źródłach oraz w kilkuset mniejszych zdecentralizowanych źródłach ciepła. Brak jest informacji na temat instalacji z rozproszonymi magazynami ciepła w systemie ciepłowniczym [Swithenbank i in. 2013]. Duński system ciepłowniczy skupia swą uwagę nie na rozwoju magazynów ciepła, ale na poszukiwaniu nowych źródeł ciepła przyjaznych dla środowiska. Stąd stosowanie na szeroką skalę ciepła odpadowego oraz ciepła pochodzącego ze spalarni odpadów [Swithenbank i in. 2013].

Podobna sytuacja ma miejsce na Ukrainie [Koliienko 2007]. Przedsiębiorstwa ciepłownicze tego kraju koncentrują się na ciągłym rozwoju źródeł ciepła, ich decentralizacji i zwiększonego udziału paliw ze źródeł konwencjonalnych. Stosowane są tutaj duże centralne zbiorniki magazynujące wodę, brak jest informacji na temat rozwoju magazynów zdecentralizowanych [Koliienko 2007]. Być może taki układ spowodowany jest zbyt małą ilością dostępnych informacji dotyczących stosowania zdecentralizowanych magazynów ciepła, ich zalet i możliwości wykorzystania. Stąd potrzeba precyzyjnej analizy oraz uzasadnień techniczno-ekonomicznych stosowania rozproszonych magazynów ciepła.

Belgijscy naukowcy przeprowadzili badania dotyczące centralnego źródła ciepła ze zdecentralizowanym magazynem ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej. Badania przeprowadzone zostały w ramach projektu Linear, flamandzkiego przełomowego projektu inteligentnych sieci ciepłowniczych [Nuytten i in. 2013]. W badaniu [Nuytten i in. 2013] centralny zbiornik magazynujący ciepło zastąpiony został przez kilka mniejszych zbiorników znajdujących się w reprezentatywnych mieszkaniach. Zainteresowanie takim rozwiązaniem wiązało się z tym, że małe zbiorniki magazynujące ciepło (bojlery) najczęściej były już obecne w budynkach oraz w łatwy sposób można było je wykorzystać do celu magazynowania ciepła w sposób zdecentralizowany.

W literaturze polskiej pojawia się zagadnienie rozproszonych magazynów ciepła. Jednak analizując prace [Zwierzchowski, Kwęstarcz 2004; Kwęstarcz 2011], zauważyć można, że nie zostały wyjaśnione kwestie związane z możliwością podpięcia magazynów ciepła do sieci ciepłowniczej. Główną uwagę zwrócono na magazyn centralny. Została także przeprowadzona symulacja, która dotyczyła opóźnienia transportowego i wychłodzenia wody magazynowanej. W celu uwiarygodnienia przedstawionych wyników należałoby szerzej zbadać magazyn rozproszony, który w pracy został opisany bardzo powierzchownie.

Na podstawie przeprowadzonych badań [Papillon, Paulus 2013], które miały dowiedzieć, który magazyn charakteryzuje się najwyższą elastycznością [Nuytten i in. 2013], stwierdzono, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zdecentralizowanie źródła ciepła z zastosowaniem centralnego magazynu ciepła. Również niemieccy naukowcy twierdzą, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zdecentralizowanie produkcji energii z lokalnych odnawialnych źródeł energii oraz ulepszenie technologii dystrybucji ciepła oraz magazynowania ciepła w zbiornikach zlokalizowanych przy źródle ciepła [Dong i in. 2012].

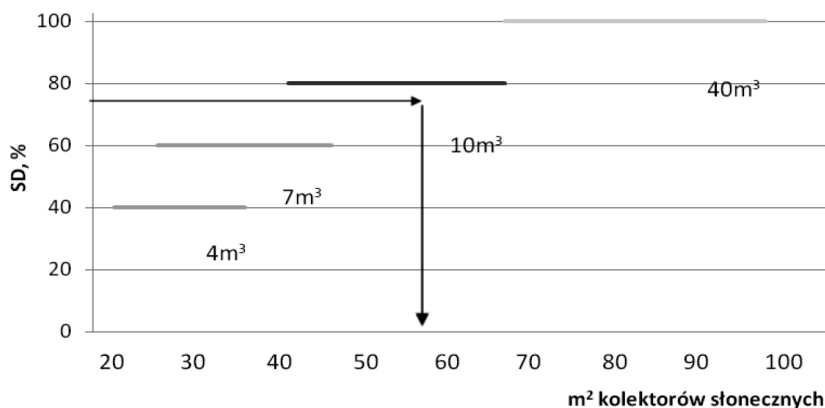
Być może wyniki te wyglądałyby nieco inaczej, gdyby uwzględniono w nich straty ciepła w wyniku magazynowania. Dotychczas stwierdzono, że magazyn centralny uwalnia ciepło do środowiska, przez co jest ono całkowicie tracone. Natomiast straty ciepła z magazynu zdecentralizowanego zlokalizowanego w budynku mieszkalnym mogłyby obniżyć zapotrzebowanie na ciepło budynku poprzez ciepło tracone przez magazyn i pochłanianie przez pomieszczenia [Nuytten i in. 2013]. Straty ciepła są zagadnieniem, na które należałoby zwrócić szczególną uwagę i przeprowadzić konieczne badania eksperymentalne w celu porównania systemów magazynowania ciepła w magazynie centralnym i rozproszonym w obrębie sieci.

Dlatego podjęto się zbadania możliwości zastosowania magazynowania ciepła w systemie ciepłowniczym w sposób rozproszony poprzez wykorzystanie technologii domów słonecznych.

2.1. Obiekt badań

Badaniu poddano tradycyjną sieć ciepłowniczą, do której podłączono 150 domów słonecznych. Analizowana sieć ciepłownicza dostarcza ciepło do celów ogrzewania pomieszczeń i wytwarzania ciepłej wody użytkowej. Analizowany system ciepłowniczy ma charakterystyczne parametry: moc źródła 10 MW, parametry temperaturowe dobrane na podstawie tabeli regulacyjnej 80/60°C, strumień masy sieci 36,63 kg/s.

Elementami składowymi domów słonecznych są kolektory słoneczne zlokalizowane na dachu budynku, o nachyleniu 30-60° względem promieni słonecznych. W celu przeprowadzenia badania każdy dom słoneczny wyposażono w płaskie kolektory słoneczne o powierzchni około 54m². Oszacowano, że zapotrzebowanie budynku na ciepło pokrywane jest w 80% z kolektorów słonecznych, a zapotrzebowanie cieplne budynku nie przekracza 50 kWh/m² × rok. Stratyfikacyjny magazyn ciepła o objętości 10 m³ zlokalizowany został w bryle budynku. Objętość zastosowanego magazynu dobrana została na podstawie zależności powierzchni kolektorów do uzysku energii z promieniowania słonecznego, na podstawie rysunku 1. Magazyn ten jest w stanie magazynować ciepło przez kilka miesięcy w roku. Uzyskanie maksymalnej stratyfikacji termicznej przez magazyn ciepła następuje, kiedy zależność wysokości do średnicy osiąga optymalną smukłość między 3 a 4. W domach słonecznych stosuje się niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe. Dodatkowym źródłem ciepła w domu słonecznym najczęściej jest kominek opalany biomasą.



Rys. 1. Wskaźnik pokrycia zapotrzebowania na promieniowanie słoneczne w zależności od zainstalowanej powierzchni kolektorów słonecznych i użytej objętości magazynu ciepła

Źródło: opracowanie własne na podstawie Sonnenhaus-Institut.

2.2. Metodyka badań

Analizę przeprowadzono w czterech etapach. Pierwszy etap dotyczył określenia przyszłych wydatków i przepływów finansowych, co daje możliwość dokładniejszej oceny opłacalności inwestycji. Określono wydatki konieczne do realizacji projektu inwestycyjnego oraz okres życia inwestycji, wyrażony przedziałem czasu od chwili poniesienia pierwszych nakładów pieniężnych do chwili uzyskania ostatnich korzyści finansowych po zakończeniu inwestycji. W drugim etapie przewidywano przyszłe koszty i korzyści finansowe potrzebne do określenia efektywności inwestycji. W trzecim etapie dokonano oceny opłacalności ekonomicznej inwestycji, wykorzystując wskaźniki ekonomiczne, takie jak: SPBT, NPV, IRR.

SPBT – prosty czas zwrotu nakładów; określa okres niezbędny do odzyskania nakładów początkowych, poniesionych na realizację przedsięwzięcia, wyrażony zależnością (1):

$$\text{SPBT} = \frac{\Delta I}{\Delta Z}, \text{ lata}, \quad (1)$$

gdzie: ΔI – koszt inwestycyjny, ΔZ – roczne zyski eksploatacyjne.

NPV – kryterium decyzyjne, które stanowi wartość bieżącą netto; charakteryzuje rozpatrywane przedsięwzięcie, wyrażając bieżącą wartość poniesionych wydatków i wpływów pieniężnych, określone zależnością (2). Jest to suma przepływów pieniężnych zdyskontowanych oddzielnie dla każdego roku. Stanowi różnicę pomiędzy przychodami P i wydatkami w całym okresie funkcjonowania przedsięwzięcia, przy stałym poziomie stopy dyskontowej. W analizie przyjęto 20-letni okres amortyzacji i stopę dyskonta 2,86%.

$$NPV = \sum_{t=0}^n NCF_t \times CO_t, \text{ zł}, \quad (2)$$

gdzie: NCF_t – przepływy pieniężne netto w kolejnych latach okresu obliczeniowego z uwzględnieniem znaku +/- (wydatki/zyski), t – kolejny rok okresu obliczeniowego ($n = 15$ lat, $t = 0$), CO_t – współczynnik dyskontowy dla kolejnych lat okresu obliczeniowego liczony ze wzoru: $CO_t = \frac{1}{(1+r)^t}$ (gdzie r – stopa dyskonta, $i = 0,065$).

IRR – wewnętrzna stopa zwrotu: wartość stopy dyskontowej i , przy której wartość bieżąca efektów jest równa wartości bieżącej nakładów. IRR wskazuje rzeczywistą stopę procentową całego nakładu inwestycyjnego. Należy pamiętać, że każda stopa dyskontowa większa od IRR daje ujemną wartość NPV. Wewnętrzna stopa zwrotu obliczona została za pomocą zależności (3).

$$\Delta I = \Delta Z \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+IRR)^t}, \% \quad \text{lub} \quad \Delta Z \sum_{t=0}^n \frac{1}{(1+IRR)^t} = 0, \%. \quad (3)$$

Czwarty etap dotyczył określenia korzyści pieniężnych dla ciepłowni, wynikających z zastosowania rozproszonych magazynów ciepła w postaci magazynu zlokalizowanego w domu słonecznym.

3.3. Przedmiot i zakres badań

W badaniu przyjęto 36,9-procentowe dofinansowanie na kolektory słoneczne oraz 36,9-procentowy rabat na ciepło zakupione z ciepłowni dla właścicieli domów słonecznych, co było bonifikatą za udostępnienie magazynów ciepła dla potrzeb ciepłowni. Przedmiotem badań (wariant 1-4) były wybrane budynki mieszkalne ogrzewane ciepłem systemowym oraz domy słoneczne z przystosowaniem do podłączenia do sieci ciepłowniczej:

- wariant 1 – dom standardowy podłączony do sieci ciepłowniczej porównany z domem słonecznym z dodatkowym źródłem ciepła w postaci kominka na biomasę,
- wariant 2 – dom standardowy podłączony do sieci ciepłowniczej porównany z domem słonecznym, który uzyskał dofinansowanie na instalację kolektorów słonecznych – 36,9%; dodatkowe źródło ciepła – kominek na biomasę,
- wariant 3 – dom standardowy podłączony do sieci ciepłowniczej porównany z domem słonecznym, który nie został wyposażony w kolektory słoneczne, a został podłączony do sieci ciepłowniczej,
- wariant 4 – dom standardowy podłączony do sieci ciepłowniczej porównany z domem słonecznym, który nie został wyposażony w kolektory słoneczne, a został podłączony do sieci ciepłowniczej i otrzymał rabat na ciepło 36,9%.

Tabela 1. Wskaźniki i szacunkowe koszty poszczególnych wariantów analizy

Lp.	Wariant	Wskaźniki						
		liczba domowników	powierzchnia budynku	obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło budynku	zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.w.u.	zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.o.	powierzchnia kolektorów	objętość magazynu ciepła
		–	m ²	kWh/m ² /rok	kWh/rok	kWh/rok	m ²	m ³
0	Standardowy dom podłączony do sieci ciepłowniczej	4	150,4	120	5 400	18 048	0	0
1	Dom słoneczny	4	150,4	50	4 200	7 520	54	10
2	Dom słoneczny + dofinansowanie	4	150,4	50	4 200	7 520	54	10
3	Dom słoneczny bez kolektorów podłączony do sieci	4	150,4	50	4 200	7 520	0	10
4	Dom słoneczny podłączony do sieci + rabat	4	150,4	50	4 200	7 520	0	10

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Wskaźniki i szacunkowe koszty poszczególnych wariantów analizy – koszty inwestycyjne

Lp.	Wariant	Koszty inwestycyjne				
		koszt kolektorów	koszt magazynu ciepła	koszt kotła	koszt węzła cieplnego	koszt przyłącza ciepłowniczego
		zł/m ²	zł/m ³	zł	zł	zł
0	Standardowy dom podłączony do sieci ciepłowniczej	0	0	0	10 500	1 845
1	Dom słoneczny	889	5 000	2 500	0	0
2	Dom słoneczny + dofinansowanie	560,96	5 000	2 500	0	0
3	Dom słoneczny bez kolektorów podłączony do sieci	0	5 000	0	10 500	1 845
4	Dom słoneczny podłączony do sieci + rabat	0	5 000	0	10 500	1 845

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Wskaźniki i szacunkowe koszty poszczególnych wariantów analizy – koszty eksploatacyjne

Lp.	Wariant	Koszty eksploatacyjne			
		koszt serwisów	koszt energii elektrycznej na obsługę urządzeń	koszt paliwa	
				ciepło systemowe	ciepło ze spalania biomasy
				zł/rok	zł/rok
0	Standardowy dom podłączony do sieci ciepłowniczej	0	300	0,17	0
1	Dom słoneczny	370	300	0	0,18
2	Dom słoneczny + dofinansowanie	370	300	0	0,18
3	Dom słoneczny bez kolektorów podłączony do sieci	0	300	0,17	0
4	Dom słoneczny podłączony do sieci + rabat	0	300	0,11	0

Źródło: opracowanie własne.

O wyborze źródła ciepła decydują zarówno koszty inwestycyjne, jak i roczne koszty eksploatacyjne. Koszty te zależą głównie od cen nośników energii. Podstawowe znaczenie przy wyborze źródła ciepła ma wielkość opłat za nośnik energii, który porównywany jest do innych dostępnych źródeł energii na rynku. Dane dotyczące wskaźników i kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych poszczególnych wariantów zostały przedstawione w tab. 1. Rachunek ekonomiczny inwestycji poszczególnych wariantów został graficznie przedstawiony na rys. 2-3.

W celu sporządzenia tabeli zbiorczej (tab. 1-4) i przeprowadzenia analizy przyjęto szacunkowe zryczałtowane koszty poszczególnych usług. Koszt serwisów wyniósł 370 zł, na co składały się: coroczny przegląd instalacji – 120 zł, szacunkowy koszt energii elektrycznej do napędu pomp – 150 zł/rok, koszt konserwacji i drobnych napraw – 100 zł/rok (szacunkowo, instalacje kolektorów powinny być niezawodne w okresie eksploatacji). Koszt energii elektrycznej na obsługę urządzeń wyniósł 300 zł – obsługa pompy ładującej i/lub pompy cyrkulacyjnej i/lub aparatury regulacyjnej przy średnim zużyciu energii elektrycznej poszczególnych urządzeń 15 kWh/miesiąc przy cenie 56 groszy za 1 kWh.

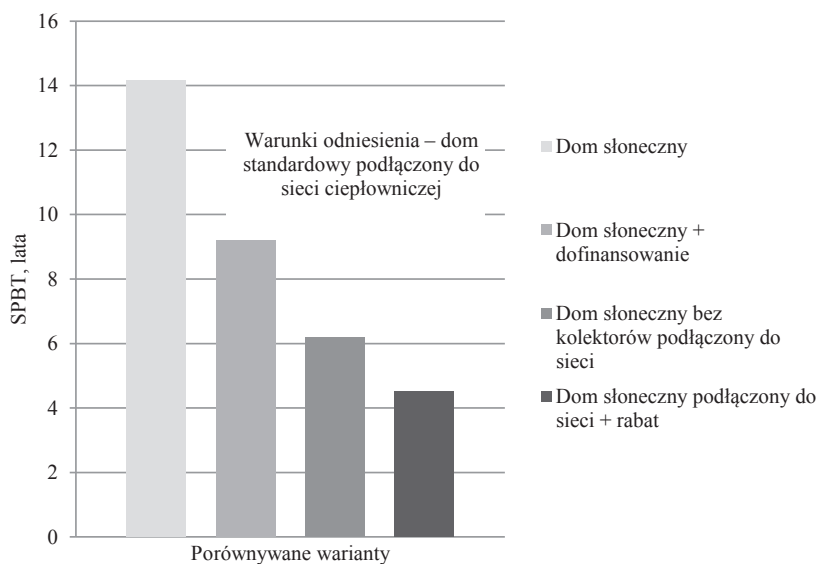
Tabela 4. Wskaźniki i szacunkowe koszty poszczególnych wariantów analizy – rachunek ekonomiczny

Lp.	Wariant	Rachunek ekonomiczny		
		SPBT	NPV	IRR
		lata	zł	%
0	Standardowy dom podłączony do sieci ciepłowniczej			
1	Dom słoneczny	14	-6 762,38	-1
2	Dom słoneczny + dofinansowanie	9	10 951,84	3
3	Dom słoneczny bez kolektorów podłączony do sieci	6	13 254,53	9
4	Dom słoneczny podłączony do sieci + rabat	5	24 366,3	16

Źródło: opracowanie własne.

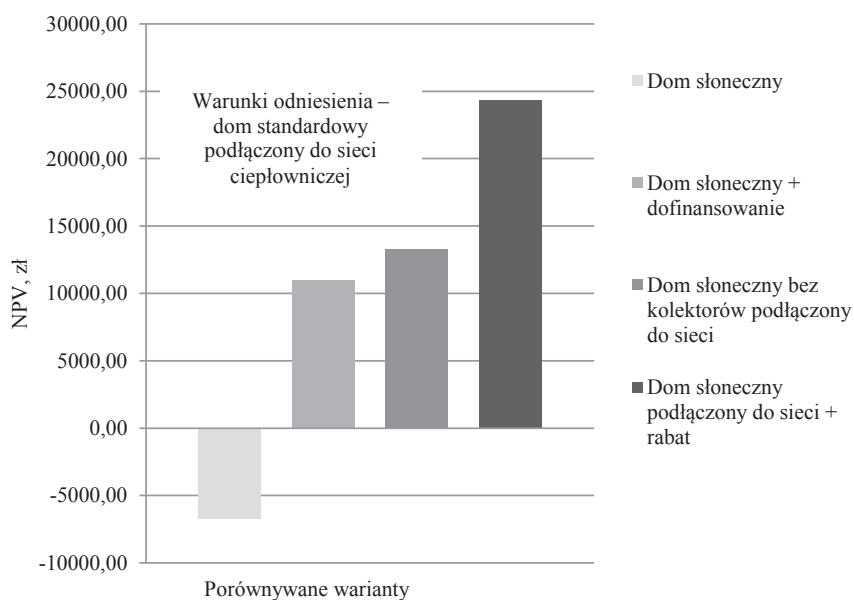
2.4. Omówienie wyników badań

Analizowana ciepłownia produkuje ciepło w ilości 37233,62 GJ/rok. Potrzeby własne ciepłowni pokrywane są w ilości 427,63 GJ/rok. Odbiorcy indywidualni odbierają łącznie 22158,36 GJ/rok. Szacuje się, że straty na przesyle wynoszą 5585,043 GJ/rok. Ilość ciepła nieodebranego wynosi więc 9062,587 GJ/rok. Koszt wytworzenia ciepła szacuje się na 40,17 zł/GJ, stąd strata ponoszona przez ciepłownię wynosi 364 044,12 zł/rok. Dane te przedstawiono w tab. 5.



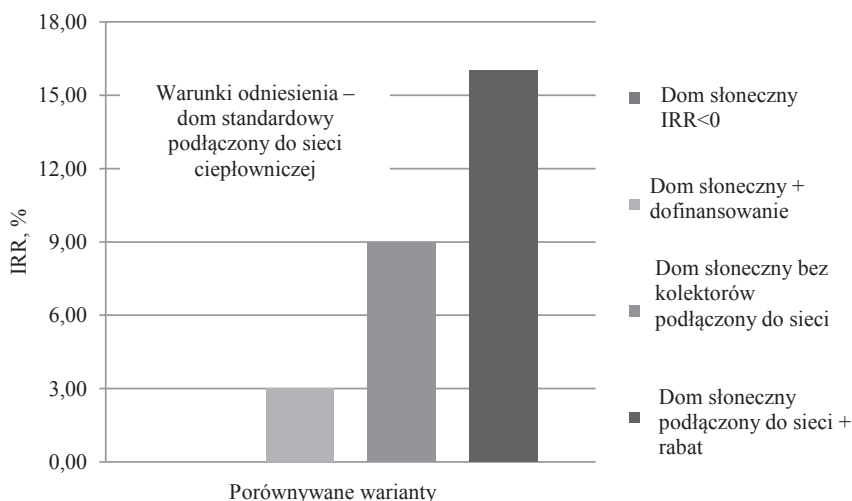
Rys. 2. Uzyskane wyniki analizy dotyczące wskaźnika SPBT

Źródło: opracowanie własne, arkusz kalkulacyjny Excel.



Rys. 3. Uzyskane wyniki w przeprowadzonej analizie dotyczące NPV

Źródło: opracowanie własne, arkusz kalkulacyjny Excel.



Rys. 4. Uzyskane wyniki analizy dotyczące wskaźnika IRR

Źródło: opracowanie własne, arkusz kalkulacyjny Excel.

Postępując zgodnie z metodyką przyjętą do analizy, uwzględniono 4 warianty. Porównane warianty (w tab. 1-4) wskazują, że:

- wariant 1 okazał się inwestycją nieopłacalną, o czym świadczy wskaźnik $IRR < 0$,
- względnie opłacalny okazał się wariant 2, w którym porównane zostały ze sobą dom standardowy podłączony do sieci ciepłowniczej i dom słoneczny korzystający z dofinansowania na kolektory słoneczne; IRR wyniósł 3%,
- warianty 3 i 4 w przeprowadzonej analizie otrzymały obiecujące wyniki, SPBT między 5 a 6 lat, IRR w granicach 9-16%.

Zestawienie zbiorcze efektów inwestycji możliwych do uzyskania w poszczególnych przypadkach wskazuje na zróżnicowanie wskaźników:

- wewnętrzna stopa zysku IRR – kształtuje się na poziomie między 3 a 16% w wariantach przyłączenia domów słonecznych do sieci ciepłowniczej, co wskazuje, że tego rodzaju inwestycje przyniosą w przyjętym do obliczeń okresie 20-letniej eksploatacji zyski większe niż lokata bankowa dla kwoty równej poniesionym nakładom. Średnio IRR dla domów słonecznych podłączonych do sieci ciepłowniczej kształtuje się na poziomie około 10%;
- prosty czas zwrotu SPBT mieści się w przedziałach 5-14 lat, ze średnią w granicach 8,5 roku. Jest to okres możliwy do zaakceptowania;
- wartość bieżąca netto NPV – wskaźnik NPV przyjmuje w trzech wariantach wartości dodatnie, świadczy to o zadawalającej opłacalności inwestycji dla tych obiektów.

Tabela 5. Charakterystyczne wielkości dotyczące funkcjonowania analizowanej ciepłowni

	Ilość ciepła wyprodukowanego, GJ/rok	Ciepło odebrane przez użytkowników, GJ/rok	Pokrycie potrzeb własnych oraz straty na przesył ciepła, GJ/rok	Ilość ciepła nieodebranego, GJ/rok	Koszt wytworzenia ciepła, zł/GJ	Ilość ciepła zmagazynowanego, GJ	Teoretyczne straty finansowe, zł/rok
Sieć bez magazynowania ciepła	37 233,62	22 158,36	6 012,673	9 062,587	40,17	0	364 044,12
Sieć wykorzystująca magazyn ciepła w 20%	37 233,62	22 158,36	6 012,673	9 062,587	40,17	1 812,5174	291 235,3
Sieć z magazynem ciepła w technologii domów słonecznych	37 233,62	22 158,36	6 012,673	9 062,587	40,17	9 062,587	0

Źródło: opracowanie własne.

3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonego badania stwierdza się, że istnieje możliwość wykorzystania technologii domów słonecznych do celów magazynowania ciepła w systemie ciepłowniczym w sposób rozproszony. Magazyn ciepła zlokalizowany w domu słonecznym daje możliwość zmagazynowania nadmiaru ciepła i wykorzystania w momencie zwiększonego zapotrzebowania na ciepło. W domach słonecznych podstawowym źródłem ciepła są kolektory słoneczne. Dlatego też nieodebrane ciepło z ciepłowni może być zmagazynowane jedynie w 20%. Mimo to zaobserwowano możliwość ograniczenia kosztów strat z 364 044,12 zł/rok do 291 235,3 zł/rok. Jednak gdyby wykorzystać technologię domów słonecznych i po upływie 20-letniej żywotności systemu podłączyć je do sieci ciepłowniczej, zamiast ponownie ponosić wysokie koszty zakupu kolektorów słonecznych, można byłoby uzyskać pozytywny efekt ekonomiczny. W wyniku takiego rozwiązania ciepło nieodebrane mogłoby być magazynowane w 100%, eliminując tym samym straty pochodzące z ciepła nieodebranego.

Literatura

- Dong M., He F., Wei H., 2012, *Energy supply network design optimization for distributed energy systems*, Computers & Industrial Engineering, 63, s. 546-552.
- Feliński P., Turski M., Sekret R., 2013, *Magazynowanie ciepła niskotemperaturowego powstałego w wyniku konwersji fototermicznej*, Część I, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 10, s. 416-421.
- <http://www.sonnenhaus-institut.de/wp-content/uploads/4-Heizkonzept-Sonnenhaus-Hilz-2014.pdf> [dostępne 03.11.2016].
- Kolienko A., 2007, *Analiza optymalnych kierunków rozwoju ciepłownictwa na Ukrainie*, Rocznik Ochrona Środowiska, tom 9, s. 77-93.
- Kwestarż M., 2011, *Analiza wpływu zasobnika ciepła na parametry pracy sieci ciepłowniczej*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska.
- Nuytten T., Claessens B., Paredis K., Van Bael J., Six D., 2013, *Flexibility of a combined heat and power system with thermal energy storage for district heating*, Applied Energy, vol. 104, issue C, s. 583-591.
- Orzechowski T., Stokowiec K., 2013, *Wybrane zagadnienia magazynowania ciepła – przegląd stosowanych materiałów*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 44/1, s. 3-7.
- Papillon P., Paulus C., 2013, *Design and recommendations for decentralizes solar district heating systems in France*, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28.
- Swithenbank J., Finney K.N., Chen Q., Bin Yang Y., Nolan A., Sharifi V.N., 2013, *Waste heat usage*, Applied Thermal Engineering, 60, s. 430-440.
- Turski M., Sekret R., 2015, *Konieczność reorganizacji systemów ciepłowniczych w świetle zmian zachodzących w sektorze budowlano-instalacyjnym*, Rynek Energii 4, s. 27-34.
- Zwierzchowski R., Kwestarż M., 2004, *Rola centralnych zasobników ciepła w miejskich systemach ciepłowniczych*, VIII Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje, 13-15 września 2004, s. 226-231.