

Kamila KULAWINEK, Piotr JADWISZCZAK*

WPLYW LOKALIZACJI BUDYNKU NF15 NA ROCZNE KOSZTY ZASILANIA W CIEPŁO Z OZE

W artykule określono zmienność kosztów zasilania w ciepło z odnawialnych źródeł energii (OZE) budynku wzniesionego w standardzie energetycznym NF15 w zależności od jego lokalizacji na terenie Polski. W kroku godzinowym przeanalizowano roczne koszty zasilania budynku w ciepło z systemów OZE wykorzystujących kolektory słoneczne, pompy ciepła typu powietrze/woda i buforę ciepła oraz porównano z systemem konwencjonalnym z kondensacyjnym kotłem gazowym.

1. WPROWADZENIE

Budynki energooszczędne charakteryzują się niskim zapotrzebowaniem energii i wysokim stopniem wykorzystania wewnętrznych i zewnętrznych zysków ciepła do ogrzewania. Małe wymagane moce cieplne umożliwiają zasilanie takich budynków w ciepło z niskotemperaturowych systemów opartych na odnawialnych źródłach energii (OZE). Wykorzystywanie zysków ciepła oraz OZE sprawia, że zróżnicowane warunki klimatyczne na terenie Polski zmieniają zarówno zapotrzebowanie ciepła jak i udział oraz koszty wykorzystania OZE do ogrzewania budynków. Przykładowo lokalizacje cechujące się dużym nasłonecznieniem w miesiącach zimowych preferują wykorzystanie energii solarnej, a te o niskich temperaturach zewnętrznych obniżają efektywność wykorzystania pomp ciepła typu powietrze/woda.

W celu określenia i zobrazowania wpływu warunków klimatycznych w różnych rejonach Polski na efektywność i koszty zasilania w ciepło z OZE budynków energooszczędnych dokonano wariantowej analizy porównawczej dla wybranych lokalizacji w Polsce.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, ul. C.K. Norwida 4/6 50-373 Wrocław, kamila.kulawinek@pwr.edu.pl, piotr.jadwiszczak@pwr.edu.pl.

2. DANE I ZAŁOŻENIA

Jako obiekt badawczy przyjęto parterowy, energooszczędny budynek jednorodzinny o powierzchni 82 m², spełniający wymagania programu NFOŚiGW w standardzie NF15 [2]. W budynku zastosowano ogrzewanie powietrzne, oparte na wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła i nagrzewnicami wodnymi, zasilanymi z bufora ciepła, wspólnego na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla 4 osobowej rodziny. Jako źródło ciepła przyjęto wariantowo trzy rozwiązania: 1) system OZE z kolektorami słonecznymi wspierany grzałką elektryczną, 2) system OZE z pompą ciepła typu powietrze/woda wspierany grzałką elektryczną oraz 3) system konwencjonalny z gazowym kotłem kondensacyjnym (rys. 1). Wielkość układów pozyskujących energię słoneczną we wszystkich wariantach jest taka sama, narzucona architekturą budynku, ponieważ kolektory słoneczne służą jednocześnie jako stałe osłony przeciw-słoneczne.

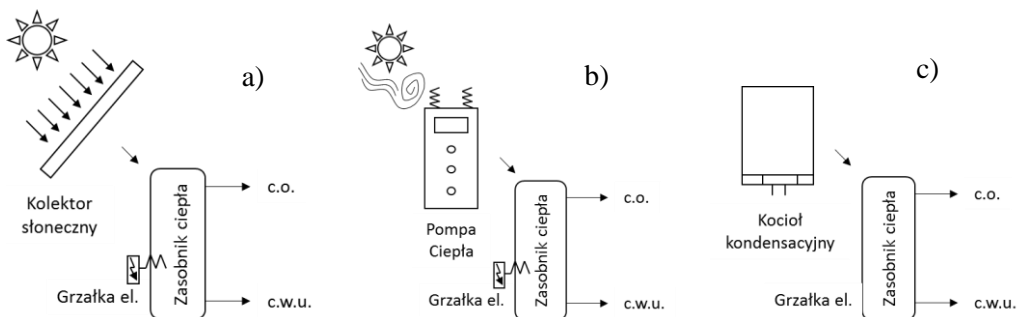
Do analizy wybrano 7 lokalizacji na terenie Polski, których warunki klimatyczne cechują najniższe i najwyższe nasłonecznienie oraz temperatury zewnętrzne godzinowe w miesiącach zimowych czyli w sezonie grzewczym według [4] (tabela 1).

Tabela 1. Analizowane lokalizacje i ich cechy charakterystyczne klimatu

Lokalizacja	Nasłonecznienie w miesiącach zimowych, (kWh/m ²)	Minimalna godzinowa temperatura zewnętrzna, (°C)
1. Hel	112,8 niskie	-7,6 najwyższa
2. Łeba	102,6 najmniejsze	-13,8 niska
3. Nowy Sącz	193,9 wysokie	-11,7 wysoka
4. Rzeszów	186,5 wysokie	-18,1 niska
5. Suwałki	106,7 niskie	-26,2 najniższa
6. Tarnów	171,9 średnie	-10,4 / -20*
7. Zakopane	208,7 największe	-16,6 niska

*największa różnica między temperaturą godzinową wg [4] i projektową zewnętrzną wg [3]

Analiza objęła więc 21 wariantów obliczeniowych: trzy rodzaje źródła ciepła w 7 lokalizacjach. Dla każdego z wariantów przeprowadzono roczną analizę zmienności zapotrzebowania na ciepło oraz analizę pracy instalacji i źródeł ciepła w kroku godzinowym w warunkach klimatycznych wytypowanych miejscowości.

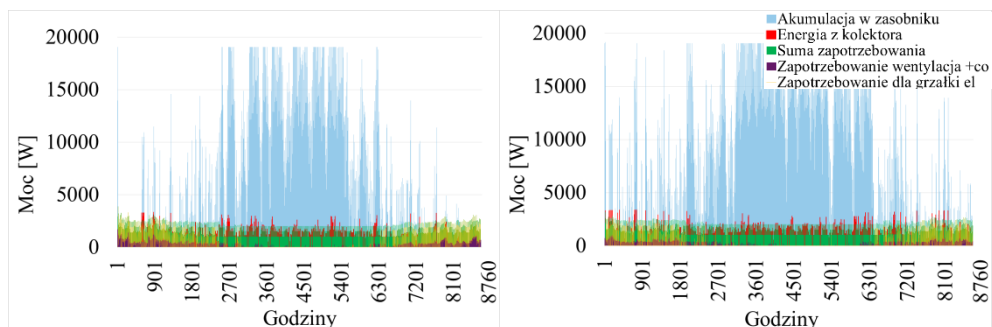


Rys. 1. Schematy technologiczne analizowanych systemów zaopatrzenia w ciepło. a) system OZE z kolektorami słonecznymi, b) układ OZE z pompą ciepła, c) układ z kotłem kondensacyjnym

3. PREZENTACJA WYBRANYCH WYNIKÓW ANALIZY

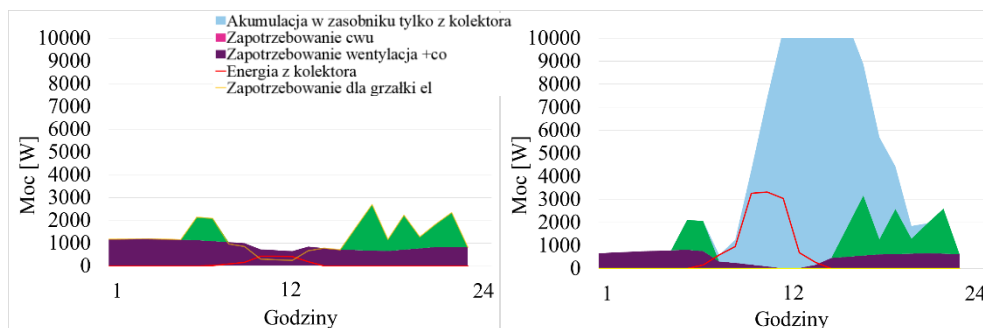
Pierwszym etapem analizy było sprawdzenie możliwości, udziału oraz kosztów zasilania budynku NF15 w ciepło wyłącznie z systemu OZE wykorzystującego kolektory słoneczne i wspomaganego grzałką elektryczną. Analizę przeprowadzono dla wszystkich wytypowanych miejscowości. Ze względu na obszerność materiału szczegółowe wyniki analizy godzinowej zaprezentowano jedynie dla trzech lokalizacji: Słupska, Nowego Sącza i Zakopanego. Analogicznie opracowano wszystkie pozostałe warianty.

Rysunek 1 przedstawia wyniki analizy godzinowej dla identycznego budynku NF15 zlokalizowanego w Suwałkach (niskie nasłonecznienie, niskie temperatury minimalne godzinowe) oraz w Nowym Sączu (wysokie nasłonecznienie i wysokie temperatury minimalne godzinowe w okresie grzewczym).



Rys. 2. Godzinowa analiza pracy systemu OZE zasilanego energią słoneczną w Suwałkach (strona lewa) i w Nowym Sączu (strona prawa)

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe 24 i 48-godzinne cykle pracy systemu OZE zasilającego budynek NF15 w ciepło z kolektorów słonecznych.

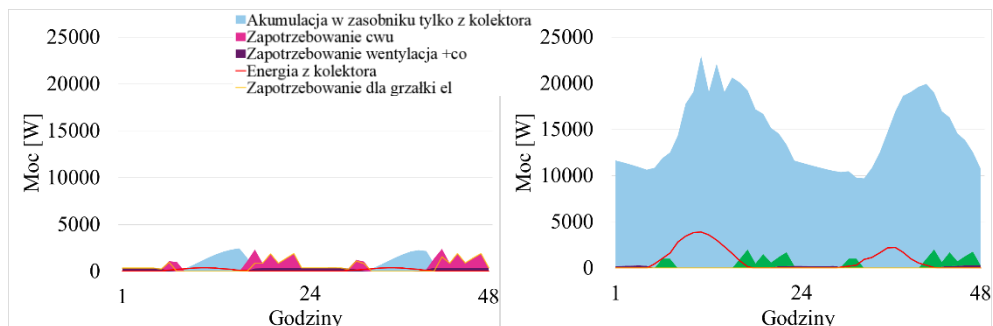


Rys. 3. Praca systemu OZE z kolektorami słonecznymi w Suwałkach (strona lewa) i Nowym Sączu (strona prawa) w dniu o najmniejszym nasłonecznieniu w ciągu sezonu grzewczego (2.01)

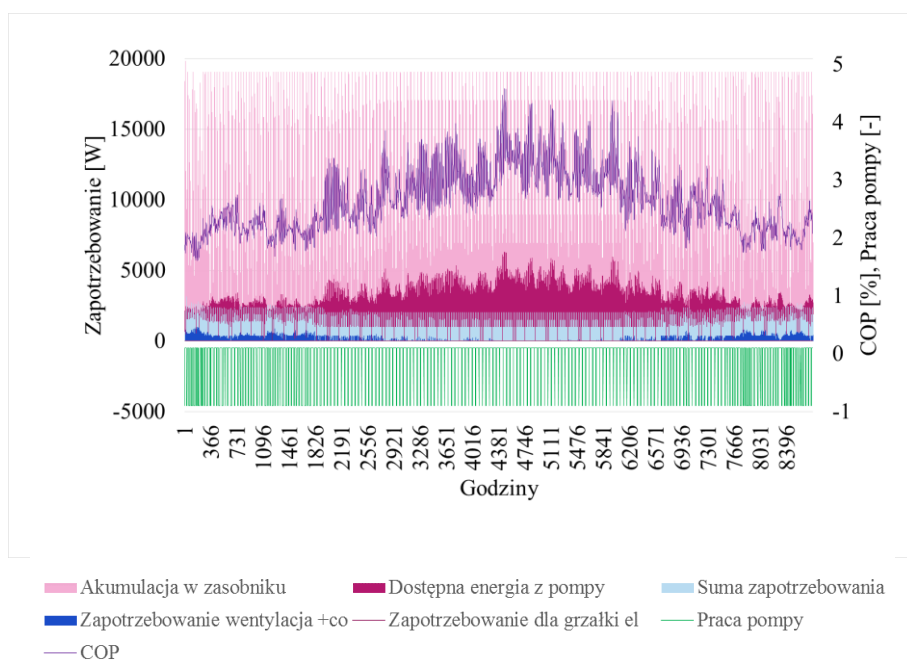
W dniu o najmniejszym nasłonecznieniu (2 stycznia), a więc najniekorzystniejszym z punktu widzenia zasilania budynku w ciepło z kolektorów słonecznych, w Suwałkach energii słonecznej brakuje nawet na zaspokojenie podstawowych potrzeb dobowych. Energia wyprodukowana przez kolektory słoneczne jest w stanie pokryć tylko 5% dobowego zapotrzebowania, co wymusza nieprzerwaną pracę wspomagającej grzałki elektrycznej. W Nowym Sączu ciepło z kolektorów pokrywa 48% zapotrzebowania dobowego, a grzałka elektryczna pracuje przez 11 godzin zużywając o 80% mniej energii elektrycznej niż w Suwałkach.

W wypadku dni o największym średnim nasłonecznieniu (4 i 5 kwietnia) sytuacja jest analogiczna (rys. 3). W Suwałkach energii pozyskanej z kolektorów nie wystarcza do zaspokojenia potrzeb cieplnych budynku (deficyt 47%). W Zakopanym natomiast potrzeby cieplne budynku zostaną zaspokojone przez OZE, nawet z nadatkiem 57% energii pozyskanej. W skali roku wspomagająca grzałka elektryczna pracuje w Nowym Sączu przez 2352 godziny w roku, a w Suwałkach aż 3360 godzin w skali roku.

Analogicznej analizie dokonano dla systemu OZE wykorzystującego pompę ciepła (PC) typu powietrze/woda. Efektywność pracy PC, a tym samym koszt jej pracy, uzależnione są od chwilowej temperatury powietrza zewnętrznego. W znacznej części roku ilość dostępnej energii zaspokaja lub przewyższa zapotrzebowanie na ciepło budynku (rys.4). Pozwala to na wprowadzenie działań dodatkowo obniżających koszty eksploatacji np. zaprogramowanie pracy PC w okresach tańszej taryfy energii elektrycznej.



Rys. 4. Praca systemu OZE zasilanego energią słoneczną w dwóch kolejnych dniach o największym nasłonecznieniu w ciągu roku (4–5.04) w Suwałkach (strona lewa) i Zakopanym (strona prawa)



Rys. 5. Godzinowa analiza pracy systemu zasilanego PC w Nowym Sączu

Dla porównania dokonano również godzinowej analizy pracy konwencjonalnego systemu zaopatrzenia w ciepło budynku NF15 z kondensacyjnym kotłem gazowym. Kocioł w 100% zaspokaja potrzeby cieplne budynku w skali całego roku, a podczas pracy zużywa gaz i pomocniczą energię elektryczną.

Wyniki analizy zestawiono w tabeli 2 jako zapotrzebowanie ciepła budynku NF15 w wybranych lokalizacjach oraz procentowy udział ciepła z OZC i z energii konwencjonalnej w zaspokajaniu potrzeb (OZC%/en. konw.%).

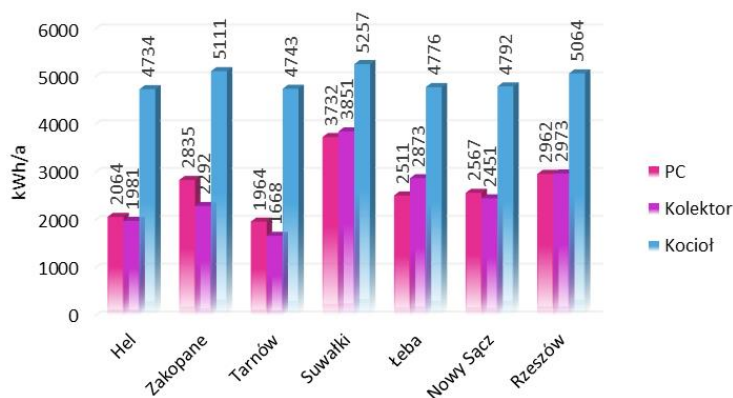
Tabela 2. Sezonowe zapotrzebowanie ciepła budynku NF15, procentowy udział OZE oraz koszty zaopatrzenia budynku w ciepło w zależności od systemu i lokalizacji

Lokalizacja	Zapotrzebowanie ciepła, kWh/a	Udział OZE/energii konwencjonalnej, %		
		OZE kolektory słoneczne	OZE PC powietrze/woda	Kocioł kondensacyjny
Hel	4809	59/41	57/43	-/98
Łeba	5121	44/56	51/49	-/93
Nowy Sącz	5076	52/48	49/51	-/94
Rzeszów	5390	45/55	45/55	-/94
Suwałki	5717	33/67	35/65	-/92
Tarnów	4645	64/36	58/42	-/100
Zakopane	5384	57/43	47/53	-/95

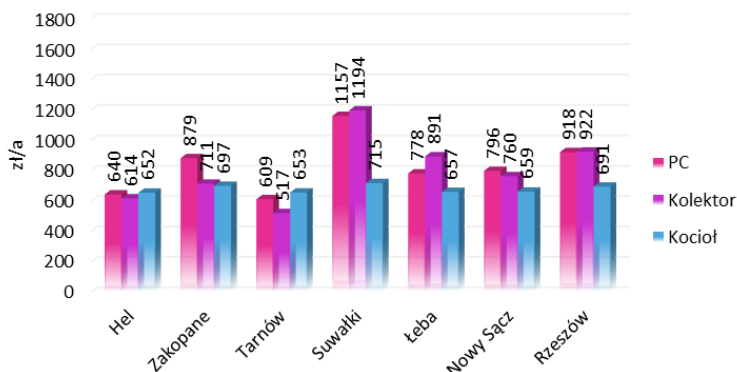
4. KOSZTY EKSPLOATACYJNE

Odnawialna energia cieplna pozyskiwana przez OZE jest całkowicie darmowa. Jednak pracy każdego z analizowanych systemów OZE towarzyszy również zużycie konwencjonalnej energii elektrycznej (energia pomocnicza oraz wspomagająca grzałka elektryczna), a w wypadku kotła kondensacyjnego energii elektrycznej (pomocniczej) i gazu. Różne warunki klimatyczne analizowanych lokalizacji zmieniają zapotrzebowanie na ciepło budynku oraz udział OZE w zaspokajaniu tego zapotrzebowania (tabela 2). Deficyt ciepła w systemach OZE uzupełniany jest energią cieplną z grzałki elektrycznej. Zapotrzebowanie budynku na ciepło, udział OZE, zapotrzebowanie konwencjonalnej energii elektrycznej oraz gazu (rys. 5) określają roczne koszty zasilania w ciepło budynku NF15, które przedstawiono na wykresie 6. W zależności od lokalizacji i systemu zasilania w ciepło zmieniają się one od 517 do 1 194 zł/rok, a więc ponad dwukrotnie. „Najtańszym” miastem okazuje się Tarnów.

Ciepło ze spalania gazu jest tańsze (wg taryfy PGNiG 12,5 gr/kWh) od energii elektrycznej pomocniczej i wspomagającej OZE (wg taryfy ENEA 31gr/kWh). Sprawa to, że mimo wyższego zapotrzebowania energii konwencjonalnej (rys. 5), to kocioł kondensacyjny w większości przypadków okazuje się rozwiązaniem najkorzystniejszym pod kątem sezonowych kosztów eksploatacyjnych.



Rys. 6. Porównanie sezonowego zapotrzebowania na energię konwencjonalną w analizowanych wariantach

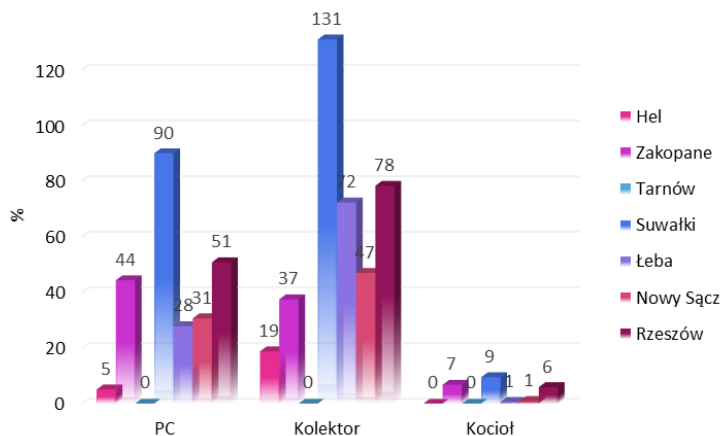


Rys. 7. Porównanie kosztów energii konwencjonalnej w analizowanych wariantach

Analizując jedynie systemy OZE widać, że w różnych miejscowościach najtańsze eksploatacyjnie okazują się inne rozwiązania. Wynika to z różnych warunków meteorologicznych panujących w omawianych lokalizacjach. Na przykład w Helu najniższe koszty osiąga się w systemie OZE zasilanym przez kolektory słoneczne, a w Rzeszowie czy Łebie jest on najdroższy eksploatacyjnie.

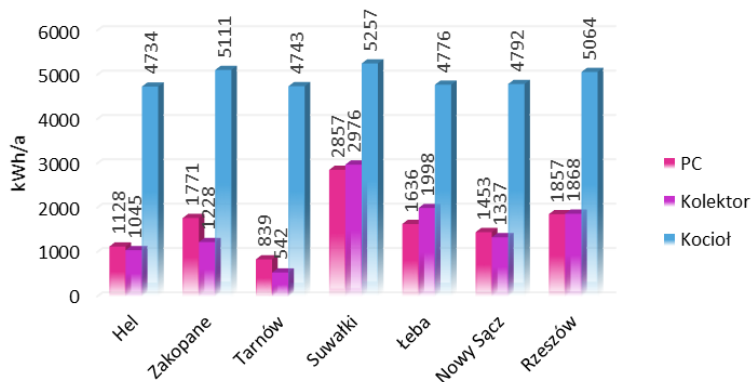
Na rysunku 7 przedstawiono procentowe rozbieżności pomiędzy kosztami eksploatacyjnymi układów w zależności od lokalizacji budynku. Jako bazową lokalizację przyjęto Tarnów – lokalizację o najniższych kosztach eksploatacyjnych w Polsce. W przypadku pompy ciepła np. na Helu koszty eksploatacyjne wzrastają tylko o 5% w porównaniu z Tarnowem, a w Suwałkach już o blisko 90%. System OZE wykorzystujący kolektory słoneczne w Suwałkach jest aż o 131% droższy eksploatacyjnie niż taki sam zastosowany w Tarnowie. Rysunek 7 pokazuje również, iż układ z kotłem

kondensacyjnym charakteryzuje się najmniejszą zmiennością kosztów w poszczególnych lokalizacjach.



Rys. 8. Procentowe porównanie rozbieżności kosztów eksploatacyjnych źródeł ciepła w wybranych miejscowościach

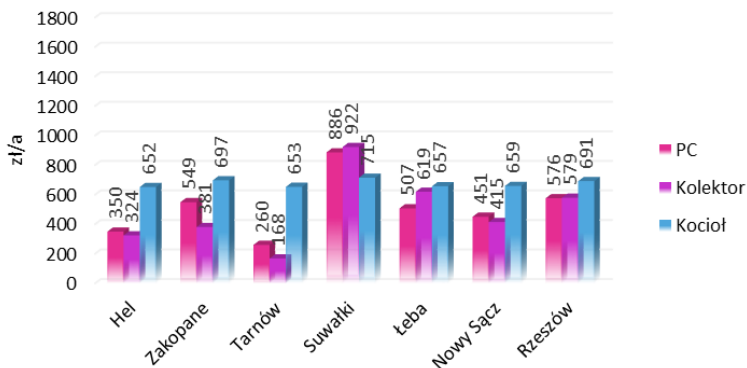
Powyższe zestawienia wykazują, że systemy OZE w większości przypadków okazują się droższe pod kątem eksploatacji od systemów zasilanych energią konwencjonalną. Aby obniżyć koszty eksploatacyjne systemów opartych na OZE przeanalizowano wszystkie 21 wariantów z wykorzystaniem ogniw fotowoltaiczno-termicznych PV/T (rys. 8 i 9).



Rys. 9. Zapotrzebowanie na energię konwencjonalną w wypadku wspomaganie przez ogniwa PV/T

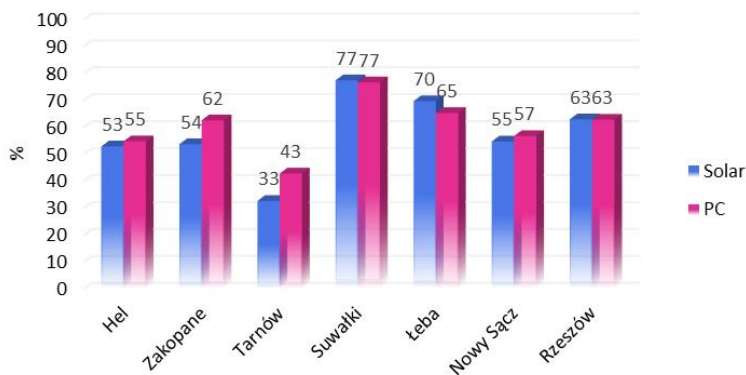
Wprowadzenie PV/T zmienia zestawienie kosztów zasilania budynku NF15 w ciepło na korzyść OZE. Zapotrzebowanie na dodatkową energię konwencjonalną w ukła-

dzie wykorzystującym OZE zmalało. Zmieniło to zestawienie kosztów eksploatacyjnych na korzyść OZE. Jedynie w Suwałkach kocioł kondensacyjny pozostał najtańszy w eksploatacji (rys. 9).



Rys. 10. Koszty energii konwencjonalnej dla układu wspomaganego przez ogniwa PV/T

Na rysunku 10 przedstawiono udział energii elektrycznej wytwarzanej w PV/T w całkowitym zapotrzebowaniu na pomocniczą energię elektryczną dla systemu zasilanego z kolektorów słonecznych i PC. Warunki klimatyczne danej lokalizacji mają wyraźny wpływ na udział PV, który waha się od 33 do 77%, co bezpośrednio obniża koszty eksploatacyjne.



Rys. 11. Procentowy udział pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną przez źródła niekonwencjonalne

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Lokalizacja budynku w standardzie NF15 ma istotny wpływ na kształtowanie rocznych kosztów zaopatrzenia go w ciepło na cele ogrzewania i przygotowania c.w.u. Warunki klimatyczne panujące w poszczególnych lokalizacjach zmieniają koszty eksploatacyjne (od 1194 do 517 zł/a) i wpływają na wybór najtańszego źródła ciepła. Najkorzystniejsze ekonomicznie wyniki uzyskuje się po zastosowaniu systemów OZE łączących pozyskiwanie energii cieplnej i elektrycznej, co obniża koszty eksploatacyjne do poziomu od 922 zł/a do 168 zł/a.

Najtańszym miastem jest Tarnów, najdroższym miastem są Suwałki.

Analizowanie pracy systemów OZE i akumulacyjnych wymaga zastosowania kroku godzinowego. Obliczenia w preferowanych w przepisach polskich warunkach projektowych lub opieranie się na wartościach średniomiesięcznych prowadzi do pomyłek i niewłaściwych wniosków, szczególnie dotyczących możliwości zaspokojenia potrzeb energetycznych z OZE. Najdokładniejszym sposobem wykonania tego typu badań okazuje się analiza godzinowa. Sposób ten jest jednak bardzo pracochłonny, lecz daje wyniki dalece lepsze niż np. metody miesięczne.

LITERATURA

- [1] DZ.U. 2002 NR 75 POZ. 690 - *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* wraz z Dz.U. 2013 poz. 926 - *Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.*
- [2] Dz.U. 2013 poz. 45 - *Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 3 stycznia 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.*
- [3] <http://www.enea.pl/>
- [4] <http://www.pgnig.pl/>
- [5] Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju - *Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków.*
- [6] PN-EN 12831:2006 - *Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*
- [7] *Program dopłat do kredytów na budowę domów energooszczędnych - wymagania techniczne określone w załączniku nr 3 do programu.*

THE IMPACT OF BUILDING LOCATION IN NF15 STANDARD ON ANNUAL COST
OF SOLUTIONS BASED ON RENEWABLE ENERGY

The article sets out the volatility of energy costs in the heat of Renewable Energy Sources (RES), a building built in NF15 energy standard depending on its location on Polish territory. Analyzed the annual power supply costs of the building in the heat of renewable energy systems using solar panels, heat pumps and heat buffers, and compared with a conventional system with a condensing gas boiler in hourly step.