

Dominik WOJEWÓDKA*

Politechnika Śląska

ANALIZA SKUTECZNOŚCI KONWERSJI PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W OGNIWACH FOTOWOLTAICZNYCH ZINTEGROWANYCH Z BUDYNKIEM

Streszczenie. Przegląd stanu wiedzy wskazuje na często pojawiające się zagadnienie konwersji promieniowania słonecznego w ogniwach fotowoltaicznych zintegrowanych z przegrodami zewnętrznymi budynku oraz dążenia do zwiększenia wydajności systemów wykorzystujących odnawialne źródła energii.

W artykule przedstawiono wpływ geometrii przegrody i jej orientacji względem stron świata, na skuteczność konwersji promieniowania słonecznego w modułach na niej zainstalowanych. Dodatkowo ujęto wpływ okresowego zacienienia fasady na efektywność wytwarzania energii elektrycznej w systemie solarnym ogniw fotowoltaicznych zintegrowanych z rozważaną fasadą.

Wyniki badań znajdują zastosowanie przy wdrażaniu systemu certyfikacji energetycznej budynków. Praktyka pokazuje bowiem, że w celu osiągnięcia najwyższej klasy energetycznej przez budynek niezbędne będzie szersze wykorzystanie alternatywnych źródeł energii.

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF SOLAR RADIATION CONVERSION IN PHOTOVOLTAIC CELLS INTEGRATED WITH THE BUILDING

Summary. Professional literature analysis point that topic of effectiveness of solar radiation conversion in different kinds of solar systems is very important nowadays.

Research part of the thesis will include the determination of effectiveness of solar radiation conversion in external hybrid building façade with integrated photovoltaic (PV) modules, based on intensity of solar radiation in the local climate condition. Also the computer model of the façade with shading surface was made to find monthly average shading coefficients of the façade. This analysis shows how much electric energy is possible to get from PV with and without shading surface.

Results of analysis would be helpful for designers of those kind of new building partitions and could be used to implement energy certificate system in Poland. It would be difficult to get highest energy class for building without using of renewable energy.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Ślusarek, prof. nzw. Politechniki Śląskiej.

1. Wprowadzenie

Zasoby energii możliwej do uzyskania z paliw kopalnych to potencjał jakim się dysponuje i to często w sposób bez troski. Tymczasem poziom konsumpcji energii na świecie wzrósł w ostatnich dekadach tak znacznie, że zasoby Ziemi w paliwa kopalne, takie jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa czy gaz ziemny, na których światowa energetyka nadal bazuje, uszczupliły się na tyle, że coraz częściej mówi się o potrzebie oszczędzania energii i wykorzystaniu zasobów odnawialnych [1].

Jak się jednak okazuje, wyczerpujące się zasoby paliw kopalnych, skutkujące wzrostem cen energii, to tylko jedna strona ogólnego dążenia do oszczędności energii. Drugim bardzo ważnym aspektem jest emisja CO₂ (dwutlenku węgla), który od lat jest synonimem szkodliwych zmian klimatycznych na świecie [2]. Komisja Europejska zamierza do 2020 roku obniżyć emisję dwutlenku węgla w krajach Unii Europejskiej o 20%. Polityka Komisji Europejskiej, zmierzająca do obniżenia emisji o 20%, będzie kosztowna zarówno dla unijnych przedsiębiorstw, jak i unijnych obywateli, tym bardziej działaniem priorytetowym powinno być wdrażanie czystych ekologicznie technologii energetycznych.

2. Potrzeby energetyczne budynku

W momencie gdy pojawił się problem ograniczonych zasobów naturalnych surowców energetycznych, zaczęto dokładniej przyglądać się strukturze ogólnego zużycia energii. Tym samym okazało się, że na budynki mieszkalne przypada około 35÷40% energii wyprodukowanej w Polsce, w tym ponad 70% energii zużywane jest na ogrzewanie i wentylację [3]. Stąd też w ostatnich latach wzrosło zainteresowanie przedsięwzięciami termomodernizacyjnymi. Fakt ten może być jeszcze spotęgowany wdrażaniem w Polsce postanowień dyrektywy europejskiej o charakterystyce energetycznej budynków [4]. W myśl tej dyrektywy [4], od 2009 roku w naszym kraju obowiązywać będzie system certyfikacji energetycznej budynków, klasyfikujący obiekty pod względem ich energochłonności. Jednocześnie system certyfikacji niejako wymusi wzrost wykorzystania w budownictwie odnawialnych źródeł energii. Bez ich zastosowania w budynku w praktyce będzie bardzo trudne lub wręcz niemożliwe osiągnięcie najwyższej klasy energetycznej. Jest to ściśle związane z rodzajem nośnika energii wykorzystywanej w budynku. Dla najmniej ekologicznych źródeł energii wprowadzone do metodyki obliczeniowej współczynniki korekcyjne w_i przyjmują

wartości najwyższe, co prowadzi do zwiększenia wartości sezonowego zapotrzebowania na energię w myśl równania [5]:

$$Q = \sum_i w_i Q_i \quad (1)$$

gdzie: Q_i – roczne zużycie energii na cele ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, oświetlenia bądź klimatyzacji dla ocenianego budynku, dostarczanej za pomocą i -tego nośnika energii, kWh/a.

Energia uzyskana ze źródeł odnawialnych pozwoli na znaczne obniżenie sezonowego zapotrzebowania na energię w budynku (patrz wartości współczynników korekcyjnych w_i w tabeli 1). Stąd już dziś ze strony inwestorów i inżynierów pojawia się wiele pytań dotyczących możliwości efektywnej poprawy jakości cieplnej budynku, z jednoczesnym wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii w warunkach klimatu lokalnego.

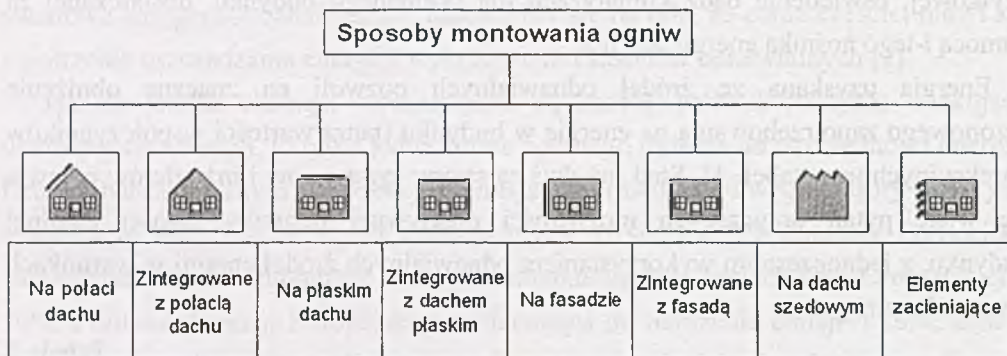
Tabela 1
Współczynniki korekcyjne w_i różnych nośników energii [5]

Lp.	Nośnik energii		Współczynnik korekcyjny – w_i
1	Paliwa	olej opałowy	1,1
2		gaz ziemny	1,1
3		propan-butan	1,1
4		węgiel kamienny	1,1
5		węgiel brunatny	1,2
6		biomasa	0,2
7	Ciepło	kolektory słoneczne	0,0
8	Ciepło zdalaczynne z kogeneracją	energia nieodnawialna	0,7
		energia odnawialna	0,0
9	Ciepło zdalaczynne z ciepłowni	energia nieodnawialna	1,3
		energia odnawialna	0,1
10	Energia elektryczna	energia nieodnawialna	3,0
		energia odnawialna	0,0
11	Ciepło technologiczno-produkcyjne	energia odpadowa	0,05

3. Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem

Jedną z najprężniej rozwijających się obecnie dziedzin energetyki odnawialnej jest bezpośrednia konwersja energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną za pomocą ogniw fotowoltaicznych (PV). Efektywne wykorzystanie ogniw PV w budownictwie jest związane z zagadnieniem BIPV (ang. Building Integrated Photovoltaics), czyli fotowoltaiki zintegrowanej z budynkiem. Ogólnym trendem jest

tu możliwie idealne zespolenie ogniw PV, łączonych w moduły, z elementami obudowy zewnętrznej budynku, tak aby osiągnąć maksymalną sprawność techniczną całego systemu, przy jednoczesnym uzyskaniu zadowalającego efektu architektonicznego. Podstawowe możliwości montażu ogniw PV na budynkach prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Sposoby montowania modułów fotowoltaicznych na budynkach [6]

Fig. 1. Way of mounting PV modules on buildings [6]

Jak każdy system, także ogniwa fotowoltaiczne mają swoje słabe strony. Głównym problemem jest znaczne nagrzewanie się ogniw pod wpływem promieniowania słonecznego, wskutek czego obniża się ich sprawność konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Istotnym więc zagadnieniem jest prawidłowa konstrukcja przegród budowlanych z zintegrowanymi modułami PV, umożliwiająca obniżenie temperatury modułów – konstrukcja fasady wentylowanej, lub ograniczająca wpływ nagrzewających się ogniw na mikroklimat wnętrz pomieszczeń.

4. Skuteczność konwersji promieniowania słonecznego w klimacie lokalnym

Prawidłowe zintegrowanie modułów PV z elementami obudowy zewnętrznej budynku nie jest możliwe bez znajomości lokalnego natężenia promieniowania słonecznego. Skuteczność konwersji promieniowania słonecznego zależy jest nie tylko od natężenia promieniowania słonecznego występującego na danym obszarze, ale także od usytuowania modułów na budynku. Na rysunku 2 przedstawiono roczny uzysk energii elektrycznej z modułów PV, zależny od ich orientacji i usytuowania na budynku. Rozważano ten sam zestaw modułów fotowoltaicznych o nominalnej mocy 1,1 kW, zamontowany na powierzchniach o kącie nachylenia 0°, 45°, 90° do poziomu

i różnie zorientowany względem stron świata. Wybrane lokalizacje to Gliwice i Zakopane – Kasprowy Wierch. Wartości energii elektrycznej możliwej do uzyskania z modułów w poszczególnych przypadkach wyznaczono przy użyciu programu RETScreen [7]. Program ma zaimplementowane dane meteorologiczne z okresu 30-letniego dla blisko 4600 stanowisk pomiarowych na całym świecie. Dla lokalizacji z niepełnymi danymi program automatycznie uzupełnia je wartościami bazującymi na 10-letnich obserwacjach prowadzonych przez NASA. Natężenie promieniowania słonecznego, podane na powierzchnię poziomą i w zależności od wybranego kąta nachylenia, zostaje w programie przeliczone zgodnie z wprowadzonym modelem bazującym na metodyce opisanej przez Duffiego i Beckmana w 1991 r. [7]. Na podstawie uzyskanych wyników przedstawiono dla każdego przypadku, procentową skuteczność usytuowania modułów, gdzie wartość 100% przedstawia lokalizację na budynku o największym możliwym uzysku energii elektrycznej z modułów.



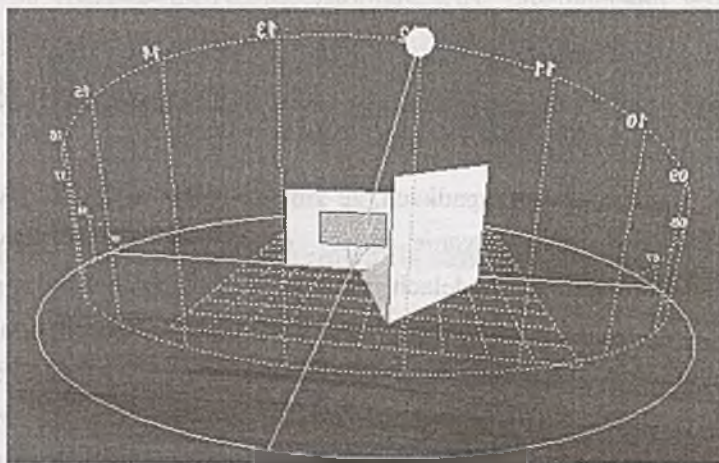
Rys. 2. Skuteczność ogniw PV na przelomie roku, w zależności od usytuowania na budynku
 Fig. 2. Effectiveness of PV cells during whole year depend on location on the building

Można zauważyć w obu przypadkach, że zintegrowanie modułów PV z pionową fasadą budynku jest zdecydowanie mniej efektywne niż z powierzchniami nachylonymi. Rozważane w modelach nachylenie powierzchni w granicach 45° okazuje się o 22÷25% skuteczniejsze dla solarnych instalacji ogniw PV niż powierzchnie pionowe. Przyjęta wartość nachylenia nie jest optymalna i zależy ściśle od lokalizacji na terenie Polski. Dla potrzeb szczegółowych analiz powinien zostać wyznaczony optymalny kąt nachylenia dla reprezentatywnych regionów Polski. Niejednokrotnie zamontowanie konstrukcji z modułami fotowoltaicznymi pod odpowiednim kątem jest w praktyce utrudnione, bowiem powierzchnie dachowe, w szczególności w budynkach użyteczności publicznej, są w większości zajęte przez urządzenia instalacji klimatyzujących. Pozostaje więc do dyspozycji tylko fasada

pionowa budynku. W tej sytuacji należałoby rozważyć zainstalowanie na niej ogniw o większej sprawności.

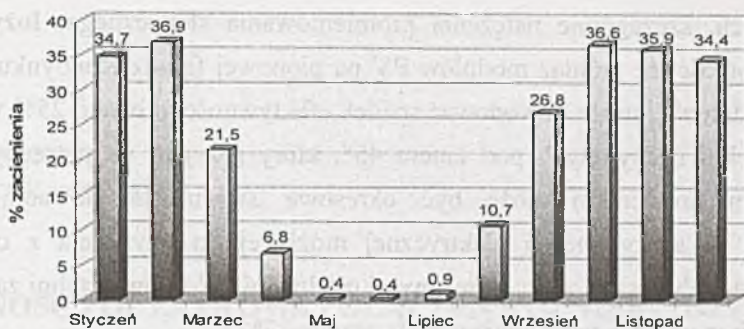
4.1. Wpływ zacienienia fasady z modułami PV na skuteczność ich pracy

Coraz częściej przy wznoszeniu bądź modernizacji budynków istniejących rozważa się zintegrowanie modułów fotowoltaicznych z powierzchnią fasady. Poza faktem, że tak usytuowane moduły wykazują obniżoną efektywność pracy w stosunku do optymalnego nachylenia i orientacji, dodatkowo pojawia się problem, szczególnie w gęstej zabudowie miejskiej, okresowego zacienienia fasady przez budynki istniejące. Nasuwa się więc pytanie, jaki może być wpływ zacienienia na obniżenie skuteczności pracy modułów PV? Aby na nie odpowiedzieć, rozważono instalację o nominalnej mocy 1,1 kW, zamontowaną na fasadzie o orientacji południowej. Za pomocą programu RETScreen [7] wyznaczono możliwe do uzyskania miesięczne wartości energii elektrycznej z modułów w sytuacji bez zacienienia. Następnie, w celu określenia stopnia zacienienia elewacji w poszczególnych miesiącach roku, zbudowano prosty model fasady wraz z powierzchnią zacieniającą w programie Solar Tool [8]. Wysokość fasady z modułami PV przyjęto na poziomie 2,8 m. Powierzchnia zacieniająca ustawiona została pod dowolnie wybranym kątem w odległości 5 m, a jej wysokość wynosi 4 m.



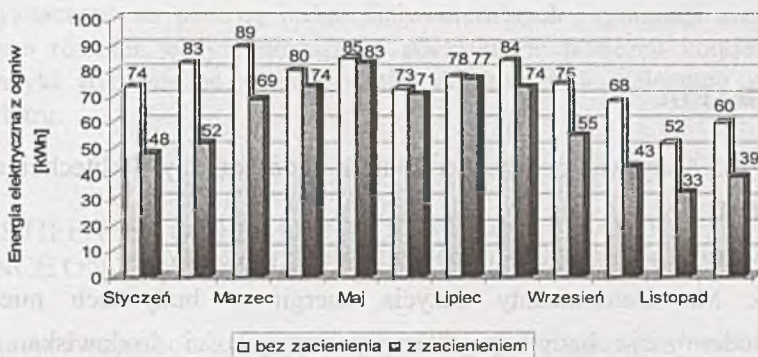
Rys. 3. Model komputerowy z zacienioną częścią fasady budynku, wykonany w programie Solar Tool
Fig. 3. The computer model of the shaded part of the façade made in Solar Tool

Na podstawie analizy w programie Solar Tool uzyskano średniomiesięczne, procentowe zacienienie rozpatrywanej fasady z zintegrowanymi modułami PV. Stopień zacienienia elewacji na przestrzeni roku przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Średnie miesięczne zacielenie powierzchni
 Fig. 4. Monthly average shading coefficients of the surface

Uzyskane wyniki pozwoliły na oszacowanie miesięcznych zmian czynnej powierzchni modułów fotowoltaicznych, a tym samym na określenie miesięcznych uzysków energii elektrycznej z modułów, w sytuacji gdy występuje okresowe zacielenie fasady (rys. 5).



Rys. 5. Energia elektryczna uzyskana z ogniw bez zacielenia i z zacieleniem powierzchni
 Fig. 5. Electric energy got from PV with and without shading of the surface

Jak można zauważyć na wykresie, okresowo występujące zacielenie elewacji może znacząco wpływać na obniżenie skuteczności instalacji fotowoltaicznej na niej zamontowanej. W rozważanym przypadku szczególnie jest to widoczne w okresie jesienno-zimowym, w którym straty energii w wyniku zacielenia sięgają prawie 37%. Jest to związane z wybraną orientacją powierzchni zacieniającej i ruchem słońca na nieboskłonie.

5. Podsumowanie

Prawidłowe zintegrowanie systemów solarnych z elementami obudowy zewnętrznej budynku nie jest możliwe bez znajomości lokalnych warunków

klimatycznych, szczególnie natężenia promieniowania słonecznego. Inżynier musi mieć świadomość, że montaż modułów PV na pionowej fasadzie budynku, nawet po stronie południowej, może powodować spadek efektywności o blisko 25% w stosunku do powierzchni nachylonych pod kątem 45° , który przyjęto na potrzeby obliczeń. Dodatkowym problemem może być okresowe zacienienie elewacji, znacząco wpływające na straty energii elektrycznej możliwej do uzyskania z ogniw. Dla przyjętego modelu fasady z zintegrowanymi modułami PV i powierzchni zacinającej straty energii w wyniku zacienienia sięgają prawie 37%.

Dalszym analizom poddana zostanie hybrydowa przegroda budowlana z zintegrowanymi panelami PV, w celu określenia wpływu zmian parametrów klimatu lokalnego na skuteczność konwersji promieniowania słonecznego. Ponadto, podjęta zostanie próba rozpoznania zjawisk fizycznych zachodzących w projektowanej przegrodzie pod wpływem zmieniającego się natężenia promieniowania słonecznego.

BIBLIOGRAFIA

1. Ulbrich R.: Audyt energetyczny a dom energooszczędny. Politechnika Opolska, Opole 2001.
2. World Energy Outlook 2007. International Energy Agency.
3. Popiołek M.: Determinanty zużycia energii w budynkach mieszkalnych. Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska. Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Gliwice 2004.
4. Dyrektywa Europejska 2002/91/WE – charakterystyka energetyczna budynków.
5. Projekt rozporządzenia Ministra Infrastruktury 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. Warszawa, czerwiec 2008.
6. Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem. Materiały seminaryjne, Warszawa 2007.
7. Program: RETScreen – Clean Energy Project Analysis – Version 4, 2008 r., www.etscreen.net
8. Program: Solar Tool – Version 200, 2005 r., www.squ1.com