

# Analiza poprawności montażu paneli słonecznych dla systemów IoT

Marcin Słota

Główny Instytut Górnictwa, plac Gwarków 1, 40-166 Katowice

**Streszczenie:** W artykule rozważono wpływ usytuowania budynku i konstrukcji dachowych na skuteczność uzyskania energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych. Podczas analizy uwzględniono również dane meteorologiczne oraz astronomiczne. Wynik analizy, na podstawie instalacji w domach jednorodzinnych, został użyty jako baza dla instalacji w systemach IoT. Ponadto zostanie rozważony mechaniczny montaż paneli fotowoltaicznych dla systemów pomiarowych w konfiguracji wyspowej. Artykuł został przygotowany w ramach Pracy Statutowej 11155038-173.

**Słowa kluczowe:** panele fotowoltaiczne, energia odnawialna, źródła energii odnawialnej, energia słoneczna

## 1. Wprowadzenie

Obecnie coraz częściej spotyka się instalacje fotowoltaiczne zamontowane na dachach domów mieszkalnych. Instalacje takie nie tylko są stosowane w domach jednorodzinnych, ale również na blokach czy zakładach pracy. Możliwości rozliczania się z Zakładem Energetyki za wytworzoną energię jeszcze bardziej podkreśla sensowność takich instalacji.

Duże instalacje paneli fotowoltaicznych o mocach rzędu 2–20 kWh, nadające się dla pojedynczych gospodarstw domowych nie mogą być stosowane w systemach IoT [1, 2]. Internet of Things to przede wszystkim urządzenia komunikujące się przez Internet, najczęściej bezprzewodowo – ze środowiskiem bazodanowym, z innymi urządzeniami oraz użytkownikami. Zapotrzebowanie na energię urządzeń stosowanych jako IoT jest o wiele mniejsze niż gospodarstwa domowego, dodatkowo urządzenia te najczęściej nie pracują bez przerwy, tylko w trybach praca-sen, minimalizując tym samym zużycie energii elektrycznej. Ponieważ takie urządzenia nie są zasilane ze źródeł publicznych, konieczne jest stosowanie innego sposobu projektowania systemów zasilania, bazującego na źródłach odnawialnych.

Temat instalacji fotowoltaicznych [3, 4] jest znany już od wielu lat, powstały liczne opracowania na ten temat. W pracy



Rys. 1. Różnorodność nachyleń dachów  
Fig. 1. Variety of roof pitches

[5] stwierdzono, że niemożliwe jest wyznaczenie jednej wartości kąta pochylenia panelu fotowoltaicznego, przy którym uzyskuje się maksymalną energię, dla każdej miejscowości w warunkach polskich. Na podstawie analiz i badań [6] wykazano, że dla warunków pogodowych większy wpływ na osiąganą moc paneli fotowoltaicznych ma zmiana kąta azymutalnego niż kąta pochylenia względem poziomu. Moc efektywna modułu fotowoltaicznego jest liniowo zależna od temperatury, a wraz ze wzrostem temperatury panelu spada jego sprawność [7]. W publikacjach naukowych oraz w literaturze branżowej sugeruje się stosowanie układów regulujących położenie paneli za pomocą układów nadążnych za Słońcem. Sugeruje się stosowanie układów regulacji jednoosiowej [5], a także układów dwuosiowych [8].

Coraz częściej można spotkać oferty na instalacje fotowoltaiczne dla domów jednorodzinnych, przy okazji wskazując możliwość otrzymania dofinansowania. Dla podkreślenia ich atrakcyjności pokazuje się, że każdy dach nadaje się do wykorzystania pod instalację fotowoltaiczną. Ale czy tak rzeczywiście jest?

**Autor korespondujący:**

Marcin Słota, mslota@gig.eu

**Artykuł recenzowany**

nadesłany 15.09.2020 r., przyjęty do druku 11.12.2020 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 2. Zróżnicowanie położenie domków względem stron świata  
 Fig. 2. Differentiation of the location of the houses in relation to the cardinal directions

Instalacje fotowoltaiczne montowane są na dachach o różnym nachyleniu (rys. 1). Również usytuowanie domów względem kierunków stron świata może być bardzo różne (rys. 2). Nasuwają się kolejne pytania:

1. Czy każdy z tych dachów nadaje się pod instalację fotowoltaiczną?
2. Czy nachylenie dachu ma wpływ na sprawność instalacji?
3. Czy ma znaczenie, jak zostanie wybudowany dom?

Na pierwsze pytanie można szybko odpowiedzieć: TAK, na każdym z tych dachów można zainstalować panele fotowoltaiczne. Teraz można postawić pytanie pomocnicze: Czy każda instalacja będzie opłacalna? Odpowiedź na to pytanie wiąże się z odpowiedziami na kolejne pytania, które zostały wcześniej zadane, o wpływ nachylenia i położenia na ilość otrzymanej energii elektrycznej. Wcześniej jednak warto przedstawić zasadę działania paneli fotowoltaicznych.

W uproszczeniu panel fotowoltaiczny przekształca promieniowanie słoneczne w energię elektryczną [9]. Na energię elektryczną zamieniane jest promieniowanie padające bezpośrednio ze słońca, promieniowanie światła rozproszonego, którego udział jest różny w zależności od pory roku, oraz promieniowanie odbite, którego wpływ jest tak mały, że można go w dalszych rozważaniach pominąć [10, 11]. Promieniowanie rozproszone powstaje na skutek przejścia fotonów przez atmosferę, tym samym następuje ich rozproszenie w chmurach. Taki strumień fotonów ma mniejszą energię, a kierunek ich padania na powierzchnię płaską jest przypadkowy, dlatego w niniejszym artykule zostanie pominięte [12]. Przyjmuje się, że na terenie Polski wartość energia promieniowania słonecznego przyjmuje wartości 0–5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dzień, natomiast średnie napromienowanie słoneczne wynosi 1000 kWh/m<sup>2</sup>/rok [13].

Strumień promieniowania słonecznego docierający do zewnętrznych warstw ziemskiej atmosfery jest nazywany stałą słoneczną i wynosi 1367 W/m<sup>2</sup>. Oznacza to, że przy idealnie czystym powietrzu teoretycznie taką moc można uzyskać

przez panel fotowoltaiczny o sprawności 100 %. Jednak dla określenia parametrów paneli stosuje się pomiary według STC (ang. *Standard Test Conditions*), dla których przyjmuje się nasłonecznienie o mocy 1000 W/m<sup>2</sup>, temperaturę 25 °C oraz widmie promieniowania AM = 1,5. Bardziej wiarygodne i mogące wystąpić w rzeczywistych warunkach pracy są parametry podawane wg NOTC (ang. *Normal Operating Cell Temperature*), gdzie przyjmuje się nasłonecznienie o mocy 800 W/m<sup>2</sup>, przy temperaturze powietrza 20 °C oraz wietrze o prędkości 1 m/s i AM = 1,5 [14, 15]. Dla Polski średnie roczne nasłonecznienie waha się w granicach 850–1200 kWh/m<sup>2</sup> [16].

Istnieją powszechnie dostępne dwa rodzaje paneli fotowoltaicznych (rys. 3): monokrystaliczne i polikrystaliczne [17]. Ogniwa w kolorze czarnym to ogniwa monokrystaliczne, które są najbardziej zaawansowane



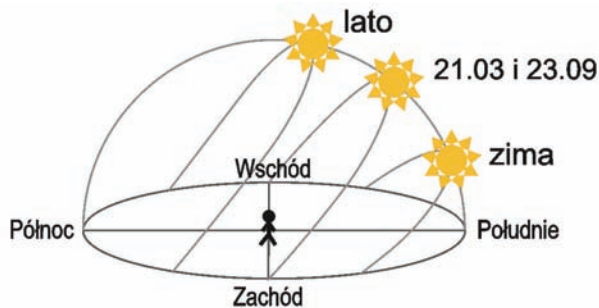
Rys. 3. Panel polikrystaliczny i monokrystaliczny  
 Fig. 3. Polycrystalline and monocrystalline panels

i nowoczesne. Charakteryzują się największą efektywnością. Ich sprawność to około 15–19 %. Ogniwa w kolorze niebieskim to ogniwa polikrystaliczne, stosowane są już od wielu lat. Jest to starsza technologia o mniejszej sprawności, wynoszącej około 14–16 %.

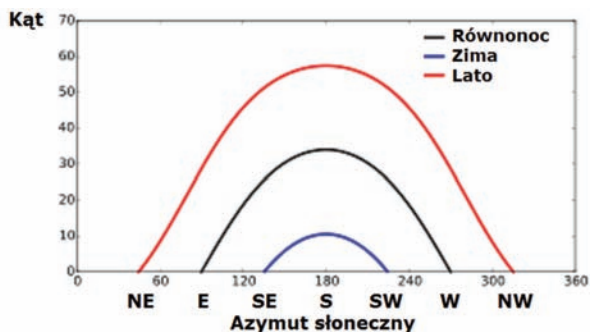
Pełną sprawność panelu fotowoltaicznego uzyskujemy, gdy promieniowanie słoneczne pada prostopadle na niego. Gdy promienie padają na panel pod kątem  $\alpha$ , to spada sprawność wprost proporcjonalnie do cosinusa kąta padania promieni [5].

$$P = P_{\max} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

Najczęściej panele fotowoltaiczne instalowane są na sztywno, bez możliwości zmiany ich położenia. Jak łatwo można się domyślić, ruch słońca po niebie (rys. 4) będzie miał znaczący wpływ na ilość energii elektrycznej otrzymanej z instalacji. Do analizy wpływu położenia słońca na sprawność instalacji będą potrzebne informacje o ruchu słońca po niebie.



Rys. 4. Ruch słońca po niebie  
Fig. 4. The motion of the Sun in the sky



Rys. 5. Ruch słońca po niebie – azymut i kąt  
Fig. 5. Sun movement in the sky – azimuth and angle

Obserwując w pogodny dzień przemieszczanie się słońca po niebie można zauważyć, że w południe latem słońce jest najwyżej nad horyzontem, a zimą najniżej. Zaobserwować można również, że pozycja słońca o wschodzie jak i zachód też jest inna. Przy instalacji paneli fotowoltaicznych bardzo ważne jest odpowiednie ich ułożenie, aby uzyskać jak największą ilość energii. Aby określić kąt padania promieni słonecznych na panele należy znać azymut słońca (rys. 5) oraz wysokość słońca nad horyzontem.

Łatwo zauważyć, że położenie obserwatora słońca będzie miało wpływ na kąt słońca nad horyzontem – inaczej będzie na północy Europy, a inaczej na południu. Aby przeprowadzić dokładną analizę zostanie użyta lokalizacja (współrzędne geograficzne) stolicy Śląska, Katowic:

- długość geograficzna: 19°01' E,
- szerokość geograficzna: 50°16' N.

Znając współrzędne geograficzne miejsca można określić wpływ położenia słońca na skuteczność instalacji fotowoltaicznej. W tym celu potrzebne są jeszcze dane z zakresu astronomii [18]. Dla każdego dnia w roku niezbędne będą następujące dane:

- czas wschodu słońca,
- czas zachodu słońca,
- czas górowania słońca w południe.

Określenie godzin, kiedy wschodzi i zachodzi słońce nie stanowi problemu, gdyż te dane są ogólnie dostępne dla każdego miejsca na świecie. Określenie górowania słońca w południe jest trudniejsze, gdyż najczęściej spotyka się te wartości dla okresu równonocy i przesilen. Aby dokładnie określić tę pozycję dla każdego dnia, należy skorzystać z tabeli deklinacji słońca [19], zawierającej korekty pozycji słońca dla dowolnego dnia w roku. Internet, jako praktycznie nieograniczone źródło wiedzy, przychodzi z pomocą. Istnieją serwisy pozwalające na dokładne obliczenie położenia słońca na niebie dla dowolnego miejsca na świecie, dla dowolnego dnia w roku oraz dla dowolnej godziny w ciągu dnia (np. <https://darekk.com/sun/solar-position-calculator>).

Pozycję słońca nad horyzontem dla półkuli północnej można obliczyć z następującego wzoru:

$$\begin{aligned} 21 \text{ marca i } 23 \text{ września} & \quad h = 90^\circ - \varphi \\ 22 \text{ czerwca} & \quad h = 90^\circ - \varphi + 23^\circ 27' \\ 22 \text{ grudnia} & \quad h = 90^\circ - \varphi - 23^\circ 27' \end{aligned}$$

gdzie:  $\varphi$  – szerokość geograficzna.

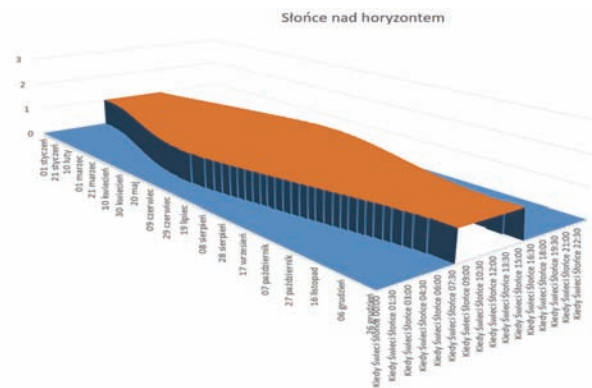
Na podstawie informacji o położeniu słońca na niebie, można w pierwszym kroku zobrazować, kiedy słońce jest nad horyzontem (rys. 6). Znając godziny, kiedy wstaje i zachodzi słońce, można dokładnie określić azymut słońca dla dowolnej pory dnia. Znając wartość górowania słońca w południe można określić kąt między pozycją słońca a horyzontem dla dowolnej godziny.

Z tak przygotowanymi danymi można przejść do analizy kąta padania promieni słonecznych na powierzchnię panelu fotowoltaicznego. Najpierw zobrazujemy, jak wygląda ruch słońca po niebie w każdym dniu (rys. 7).

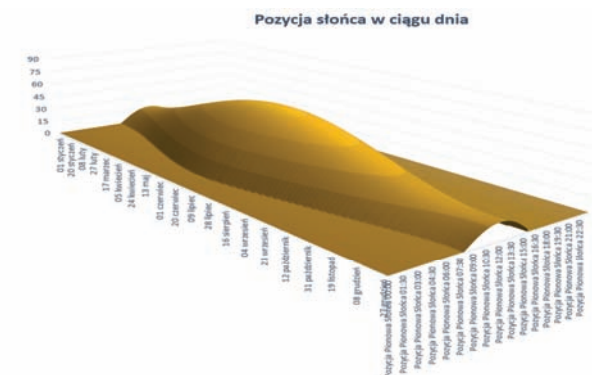
Najlogiczniejsze, co również jest potwierdzone w literaturze naukowej [8], wydaje się ustawienie paneli fotowoltaicznych prostopadle do słońca, które świeci o 12:00 w dniu 21 marca lub 23 września. W dalszej części artykułu ta teza zostanie potwierdzona lub zaprzeczona.

Znając już dokładne położenie słońca w dowolnym momencie roku możemy dla każdego chwili określić kąt padania promieni słonecznych na panel fotowoltaiczny. Możemy ten kąt określić dla dowolnego kąta nachylenia panelu oraz dla dowolnego jego odchylenia od kierunku południowego.

W dalszej części artykułu zajmiemy się analizą wyprodukowanej energii w ciągu roku kalendarzowego. Aby znormalizować wyniki, do obliczenia zostanie wykorzystany panel fotowoltaiczny o mocy znamionowej 100 W, jest to jego maksymalna moc przy całkowitym nasłonecznieniu promieniami padającymi prostopadle do jego powierzchni.



Rys. 6. Zobrazowanie, kiedy świeci słońce w ciągu doby  
Fig. 6. Image of when the Sun is shining during the day



Rys. 7. Ruch słońca po niebie  
Fig. 7. The motion of the Sun in the sky

Jednym z najważniejszych czynników, jeżeli nie najważniejszym, wpływającym na ilość wytworzonej energii elektrycznej ma usłonecznienie. Jest to wskaźnik określający, ile czasu w ciągu dnia świeci słońce. Dostęp do takich danych jest powszechny, jednak najczęściej są to dane uśrednione w ciągu miesiąca. Ten problem można rozwiązać inaczej. Mając informację o średnim zachmurzeniu w danym dniu, można statystycznie obliczyć, ile światła dotarło do ziemi. Wielkość zachmurzenia podaje się w skali oktantowej, gdzie 8 oznacza całkowite zachmurzenie, natomiast 0 oznacza brak chmur. Idąc tym tokiem rozumowania usłonecznienie, liczbę słonecznych godzin w ciągu dnia można określić za pomocą wzoru:

$$U_s = (1 - NT/8) \cdot D_d \tag{2}$$

gdzie:  $U_s$  – usłonecznienie,  $NT$  – średnie zachmurzenie,  $D_d$  – długość dnia.

Z dużą dokładnością można założyć, że wielkość zachmurzenia wpływa liniowo na ilość wygenerowanej energii [20].

## 2. Analizy

W pierwszym etapie należy określić, jaki jest wpływ kąta pochylenia w pionie panelu fotowoltaicznego na energię, jaką może wytworzyć. Referencyjnym panelem będzie taki, którego maksymalna moc wynosi 100 W.

Wykresy na rys. 1 przedstawiają, jaki wpływ ma nachylenie panelu na wielkość wytworzonej energii w funkcji kolejnych dni w roku. Największe wahania występują w przypadku ułożenia poziomego a najmniejsze, gdy kąt nachylenia jest w przedziale 50–60°.

Dla lepszego zobrazowania wyników zsumowano wytworzoną energię w ciągu roku (rys. 9). Potwierdza to hipotezę, że gdy nachylenie panelu jest takie, że promień słońca w południe w dniach równonocy pada prostopadłe do jego powierzchni, to ustawienie takie jest poprawne. Oczywiście takie rozumowanie jest słuszne w przypadku, gdy całą nadwyżkę wyprodukowanej energii w okresie letnim można zmagazynować lub odsprzedać, a okresie zimowym braki dokupić, podobnie w okresach dzień/noc.

Do tej pory analiza dotyczyła tylko strony teoretycznej bazującej na bezchmurnej pogodzie. Do analizy zachmurzenia wzięto dane obserwacyjne z lat 2012–2015 dla miasta Katowice. Dla każdego dnia obliczono usłonecznienie zgodnie ze wzorem (2).

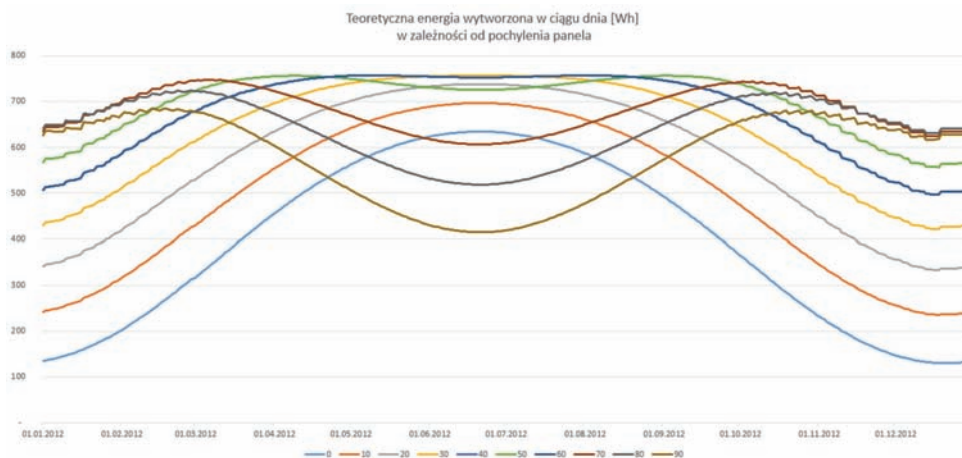
Wykres w rys. 10. przedstawia statystyczną liczbę godzin słonecznych w każdym dniu na przestrzeni czterech lat. Widoczne osiągnięte maksima są ograniczane przez długość dnia. Jako wartość średnią wzięto średnią arytmetyczną wartości w analogicznych dniach roku z badanych lat. Analogiczne wykresy pokazujące wytworzoną energię w ciągu dnia i roku z uwzględnieniem zachmurzenia przedstawiają kolejne wykresy.

Wykresy na rys. 11 wskazują na wpływ zachmurzenia na ilość generowanej energii przez panel w ciągu dnia. Natomiast rys. 12 pokazuje, że podczas realnie występującego zachmurzenia nieba, ilość wytworzonej energii spada do około 33 % w stosunku do wartości teoretycznej, gdy nie ma chmur.

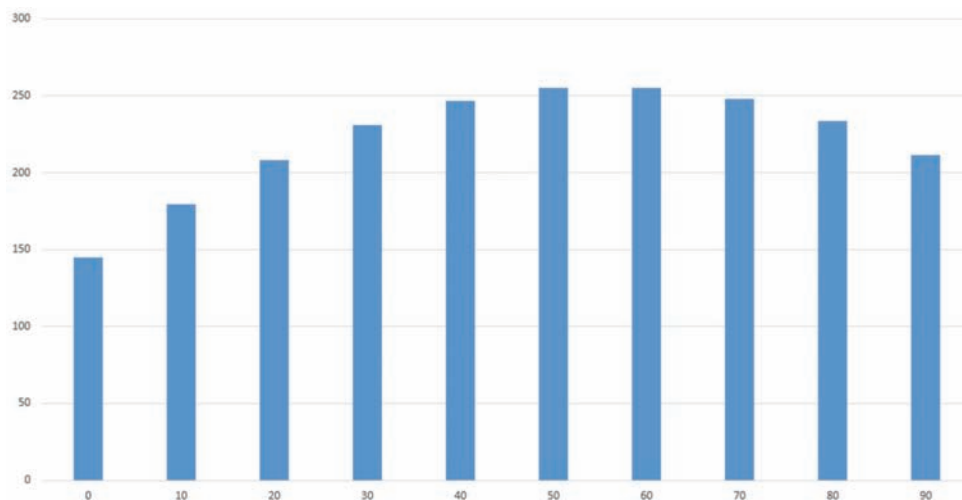
Taka regularność oczywiście występuje bez względu na nachylenie panelu.

Przedstawione rozważania pokazują wielkość produkowanej energii elektrycznej, gdy analizowane są warunki klimatyczne [21]. Takie rozważania wpływu kąta nachylenia są słuszne dla instalacji w gospodarstwach domowych, domach mieszkalnych, do których również podłączona jest sieć energetyczna umożliwiającą zarówno zakup jak i sprzedaż energii elektrycznej.

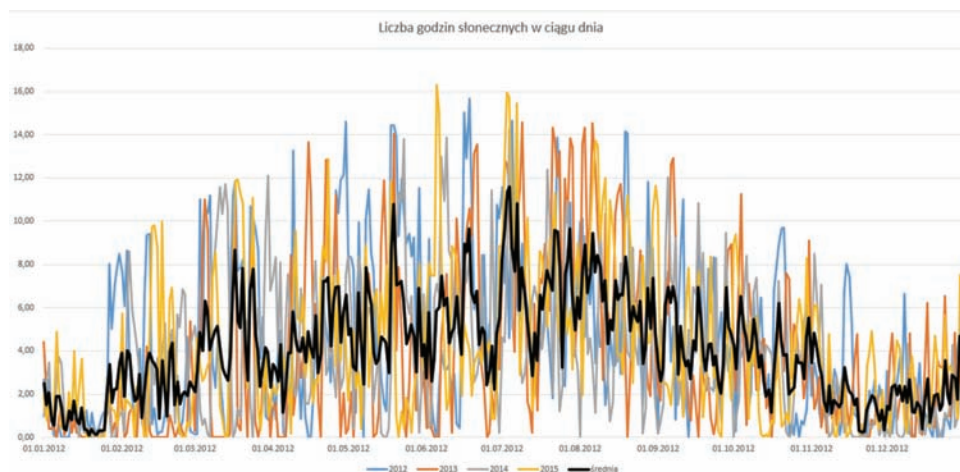
Zupełnie inne podejście należy przyjąć dla systemów wyspowych, które muszą być samowystarczalne przez cały rok. Do takich systemów można zaliczyć urządzenia pomiarowe, czy jakiegokolwiek inne urządzenia kontrolno-sterujące w sytuacjach, gdy nie ma możliwości podłączenia zewnętrznego źródła zasilania. Ułożenie paneli fotowoltaicznych systemów IoT będzie zdecydowanie różnić się od wcześniej rozważanych systemów podłączonych do publicznej sieci energetycznej. W ramach budowy takich systemów



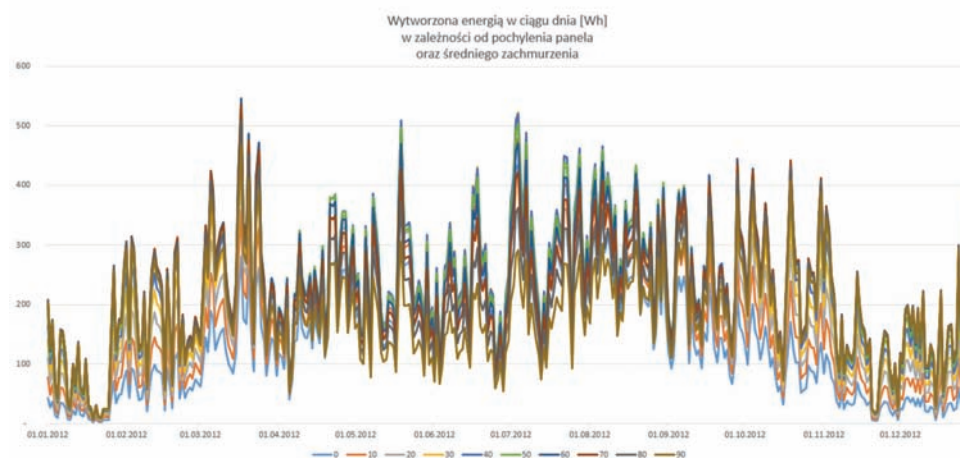
Rys. 8. Teoretyczna energia wytworzona w ciągu dnia w zależności od nachylenia panelu  
Fig. 8. Theoretical energy generated during the day depending on the slope of the panel



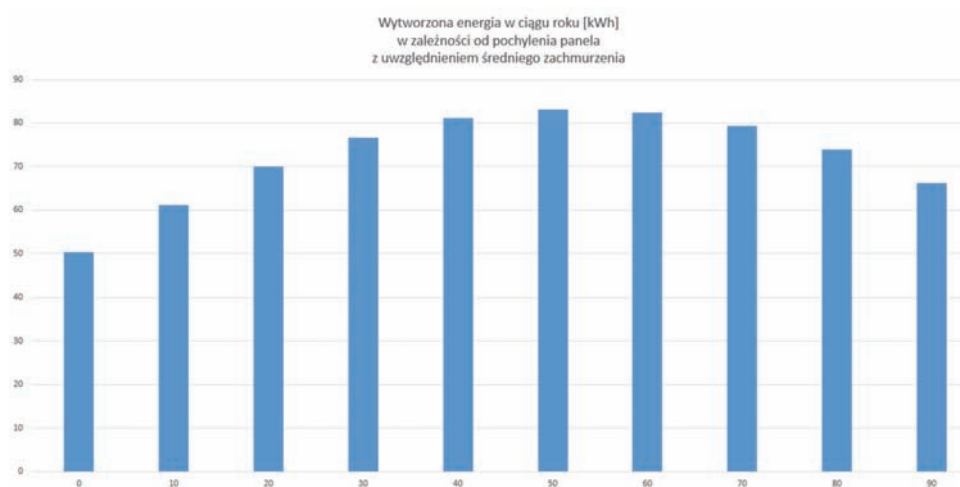
Rys. 9. Teoretyczna energia wytworzona w ciągu roku w zależności od nachylenia panelu  
Fig. 9. Theoretical energy generated during the year depending on the panel slope



Rys. 10. Usłonecznienie w ciągu dnia  
Fig. 10. Sunshine during the day



Rys. 11. Realna energia wytworzona w ciągu dnia w zależności od nachylenia panelu  
Fig. 11. Real energy generated during the day depending on the slope of the panel



Rys. 12. Realna energia wytworzona w ciągu roku w zależności od nachylenia panelu  
Fig. 12. Real energy generated during the year depending on the slope of the panel

należy dobrze zaplanować stronę zasilania, pozyskiwania energii odnawialnej. Systemy takie powinny być z założenia tworzone jako energooszczędne. Takimi urządzeniami są szeroko rozumiane systemy IoT.

### 3. Fotowoltaika a systemy IoT

Konstruowanie systemu zasilania powinno zacząć się od dokładnej analizy poboru mocy przez urządzenie, które ma

być zasilane. W kolejnym kroku należy przeanalizować najgorszy scenariusz usłonecznienia w terenie, w którym ma być wykonana instalacja. Kolejne kroki to dobranie odpowiedniego ogniwa słonecznego oraz akumulatora do magazynowania energii. Z rysunku 11 wynika, że najmniej energii uzyskuje się w miesiącach zimowych grudzień–styczeń.

Aby dokładnie wyznaczyć, pod jakim kątem należy montować panel, zostanie wykonana kolejna seria obliczeń, tym razem dla kątów 73–85°.

Analizę systemu zasilającego najlepiej zacząć od miesiąca września, wtedy to akumulator z bardzo dużym prawdopodobieństwem będzie naładowany w 100 % po słonecznym okresie letnim. Rozważmy przykład rzeczywistego systemu pomiarowego:

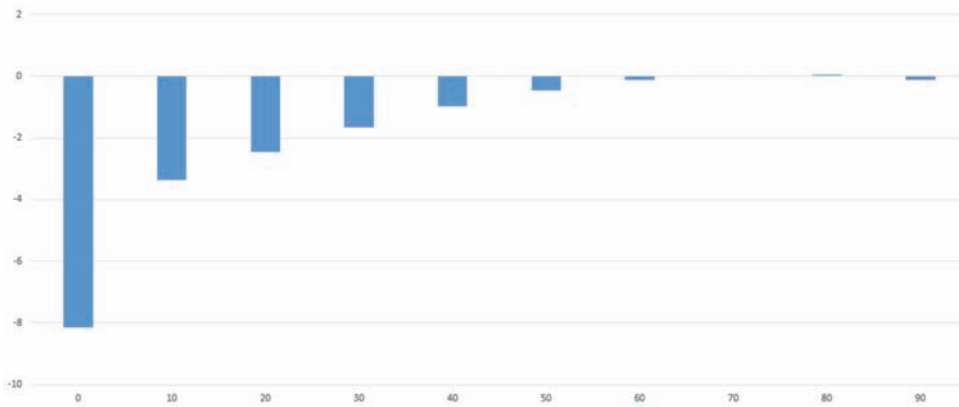
- zasilanie układu 3,3 V,
- średni pobór prądu 10 mA,
- panel słoneczny o mocy 3 W,
- akumulator litowo-polimerowy 560 mAh/3,7 V,
- ładowarka akumulatora o sprawności 90 %,
- przetwornica impulsowa step-down 3,3 V o sprawności 90 %.

W trakcie analizy należy wziąć pod uwagę następujące dane:

- długość dnia,
- średnie zachmurzenie,
- położenie słońca na niebie,
- parametry systemu pomiarowego.

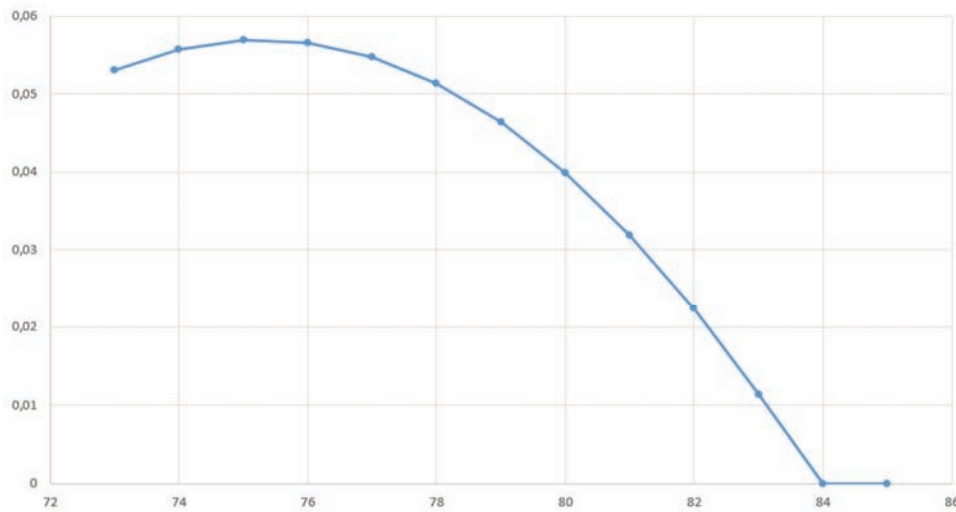
Podstawowym parametrem określającym jakość układu zasilania będzie zapas – minimalna wartość energii w akumulatorze. Jeżeli wartość spadnie do 0, będzie to oznaczać, że urządzenie na 100 % przestanie działać.

Z rysunku 13 wynika, że dla kątów 70–80° w akumulatorze w najtrudniejszym okresie pozostanie jeszcze energia, umożliwia-



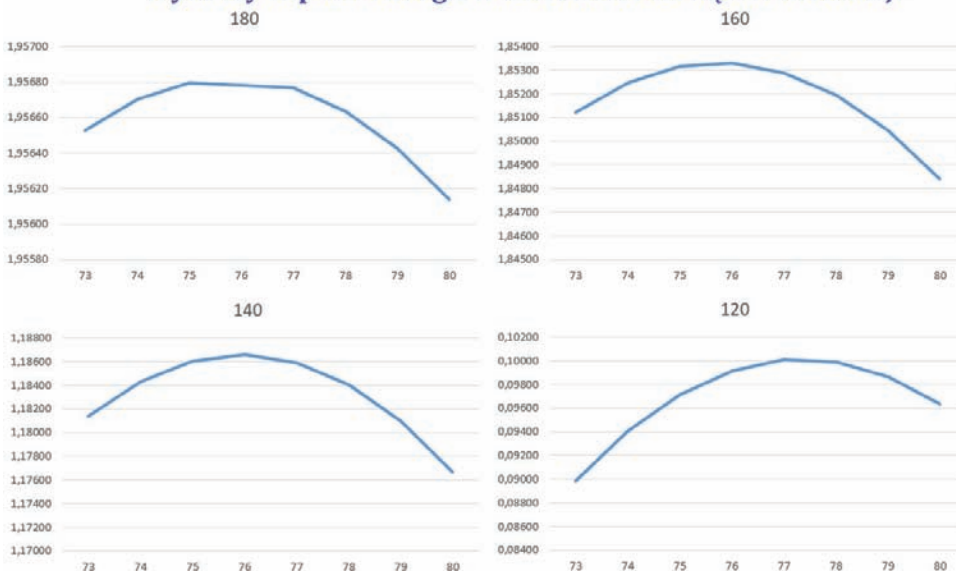
Rys. 13. Zapas zgromadzonej energii dla kątów 0–90°  
Fig. 13. Storage of accumulated energy for angles 0–90°

Zapaz zgromadzonej energii w akumulatorze [Wh]  
w zależności od kąta pochylenia



Rys. 14. Zapaz zgromadzonej energii dla kątów 73–85°  
Fig. 14. Storage of accumulated energy for angles 73–85°

Wykresy zapasu energii w zależności od kątów instalacji



Rys. 15. Wykres zapasu energii w zależności od zmian kątów instalacji paneli  
Fig. 15. Chart of energy storage depending on the changes in panel installation angles

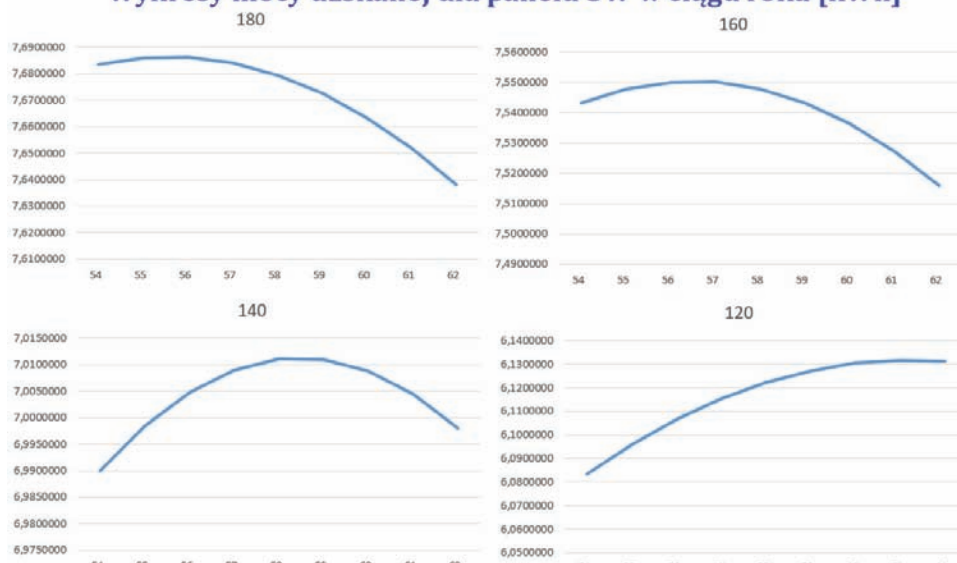
Optymalnym kątem (rys. 14) montowania paneli słonecznych dla systemów wyspowych jest około 75°. Obliczenia potwierdzają słuszność tezy, że kąt nachylenia paneli słonecznych w systemach IoT będzie zdecydowanie inny niż w przypadku instalacji dla domów mieszkalnych podłączonych do sieci energetycznej.

Kolejnym problemem, jaki napotykamy przy instalacji paneli, jest brak możliwości skierowania ich dokładnie na południe. Ustawienie paneli w kierunku innym niż południowy, będzie wymagać ustawienia ich pod innym kątem nachylenia, aby osiągnąć maksymalną ilość uzyskanej energii.

Dalej zostaną przeanalizowane efekty wytwarzania energii elektrycznej przez instalację fotowoltaiczną, gdy panele są skierowane w innym kierunku niż południe. Z dużym prawdopodobieństwem można założyć, że dla kątów azymutalnych innych niż 180°, w celu uzyskania największej sprawności, kąt nachylenia paneli słonecznych będzie trzeba skorygować do innych wartości. W układzie pomiarowym, zasilanym z analizowanej instalacji panelem fotowoltaicznym o mocy 3 W wprowadzimy modyfikację, polegającą na zmianie średniego poboru prądu z 10 mA na 4,2 mA.

Można zaobserwować (rys. 15), że wraz ze zmianą kąta azymutalnego, zmienia się też optymalny kąt nachylenia instalowania paneli fotowoltaicznych. Dla ustawienia paneli w kierunku południowym, panele należy ustawić pod kątem 75° w stosunku do pionu, a im bardziej kąt azymutalny zmienia się, tym kąt nachylenia należy zwiększać. Dla kąta azymutalnego 140–160°, nachylenie wynosi 76°, a dla kąta 120° odpowiednio 77°. Zmiana kąta nachylenia dla różnych kątów azymutalnych ma związek z tym, że położenie paneli należy dostosować do ruchu słońca

## Wykresy mocy uzyskanej dla panelu 3W w ciągu roku [kWh]



Rys. 16. Wykres mocy uzyskanej w ciągu roku dla różnych kątów instalacji  
 Fig. 16. Chart of the power generated during the year for different installation angles

po niebie. Analogiczny wniosek jest dla instalacji przyłączonej do sieci energetycznej.

Dla instalacji podłączonej do sieci energetycznej wraz ze zmianą kąta azymutalnego instalacji należy zmienić kąt nachylenia paneli. Analizując panel o mocy 3 W podłączony do systemu pomiarowego, kąt nachylenia z 56° od pionu dla kierunku południowego, należy zwiększać wraz ze zmianą kąta azymutalnego. Dla kąta 160° nachylenie powinno wynieść 57°, dla 140° odpowiedni 58°, a dla 120° aż 61°. W obu przypadkach instalacji zmiany uzyskiwanej energii w zależności od kątów instalacji nie są zbyt duże, ale dla systemów IoT każdy mW jest ważny.

## 4. Podsumowanie

Systemy zasilania wykorzystujące panele słoneczne stają się coraz bardziej powszechne. Jest wiele poradników, a także publikacji naukowych mówiących, jak takie instalacje wykonywać, pod jakimi kątami montować, jakiej mocy panele można stosować. Kąt nachylenia oraz kąt azymutalny instalacji paneli jest parametrem bardzo ważnym dla wszystkich instalacji, gdyż to od niego zależy, jaką skuteczność osiągnie system.

Podobną analizę przeprowadzili też inni autorzy [5]. W obu przypadkach osiągnięto dla systemów zasilania domów mieszkalnych bardzo podobne wyniki. Dla Katowic odchylenie panelu od pionu powinno wynosić ok 50°. Biorąc pod uwagę warunki meteorologiczne, kąt nachylenia paneli dla systemów podłączonych do sieci energetycznych powinien wynosić około 56°.

Dla systemów IoT, po dokładnej analizie ruchu słońca po niebie oraz zachmurzenia dla każdego dnia, kąt nachylenia panelu dla tej samej lokalizacji powinien wynosić około 75°. Przy braku możliwości skierowania instalacji fotowoltaicznej dokładnie na południe, należy skorygować kąt jej nachylenia. Przy kącie azymutalnym 120° lub 240° dla instalacji podłączonych do sieci energetycznych nachylenie powinno wynieść 61°, a dla systemów IoT 77°.

W celu podniesienia skuteczności systemów zasilania słonecznego można wykorzystać układy do śledzenia słońca, aby kąt horyzontalny i nachylenia paneli był identyczny z kątem położeniem słońca na niebie. Istnieją dwa rozwiązania takich urządzeń: – jednoosiowy system nadążny za słońcem [5], – dwuosiowy system nadążny za słońcem [8].

Można jeszcze rozważyć, pod jakim kątem należy instalować panele słoneczne dla systemów zasilania domów mieszkalnych oraz dla zastosowań IoT w przypadku użycia jednoosiowego systemu nadążnego za słońcem.

Dla systemów nadążnych dwuosiowych z założenia promień słońca padają zawsze na panel pod optymalnym kątem. Podczas projektowania takich systemów należy dokładnie przeanalizować, czy dodanie układu nadążnego nie spowoduje zbyt dużego obciążenia energetycznego dla układu zasilania fotowoltaicznego, w taki sposób, że będzie trzeba zwiększyć znacznie moc paneli.

## Bibliografia

1. Chrzan M., Pietruszczak D., Wiktorowski M., *Wybrane zagadnienia projektowania instalacji elektrycznej typu OZE na przykładzie domowej elektrowni fotowoltaicznej*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, T. 19, Nr 12, 2018, 66–74, DOI: 10.24136/atest.2018.357.
2. Noszczyk T., Wolny Ł., Dyjakon A., *System awaryjnego zasilania domu jednorodzinnego z autonomicznym systemem fotowoltaicznym*, „Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym”, Vol. 7, Nr 2, 2018, 91–98.
3. Teneta J., *Fotowoltaiczne systemy zasilania*, Zielone prądy w Edukacji, Kraków 2005.
4. Sarniak M., *Zastosowanie mikroinstalacji fotowoltaicznych współpracujących z siecią elektroenergetyczną w układach zasilania budynków*, „elektro.info”, Vol. 2, Nr 12, 2017.
5. Baran K., Leško M., Wachta H., *Badania pozycjonowania paneli fotowoltaicznych na terytorium Polski*, „Pomiary Automatyka Kontrola”, R. 59, Nr 10, 2013, 1097–1100.
6. Sarniak M.T., *Podstawy fotowoltaiki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
7. Mazur M., Partyka J., Marcewicz T., *Wpływ temperatury na sprawność baterii słonecznych*, „Przegląd Elektrotechniczny”, Vol. 92, Nr 8, 2016, 109–112, DOI: 10.15199/48.2016.08.30.
8. Trzasko W., *Analiza wydajności dwuosiowego solarnego układu nadążnego*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 22, Nr 1, 2018, 11–17, DOI: 10.14313/PAR\_227/11.
9. Martin H.L., Yogi Goswami D., *Solar Energy Pocket Reference*, New York 2005.
10. Figura R., Zientarski W., *Analiza parametrów pracy modułu fotowoltaicznego*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, T. 17, Nr 12, 2016, 602–611.
11. Nęcka K., Knaga J., Maciejewski D., *Charakterystyka jakości energii elektrycznej w zakładzie usług komunalnych współpracującym z mikroinstalacją fotowoltaiczną*, „Przegląd Elektrotechniczny”, Vol. 96, Nr 2, 2020, 56–59, DOI: 10.15199/48.2020.02.12.
12. Mertens K., *Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice*, Munich: John Wiley & Sons Ltd, 2019.
13. Jabłoński W., Wnuk J., *Zarządzanie odnawialnymi źródłami energii. Aspekty ekonomiczno-techniczne*, Oficyna Wydawnicza HUMANITAS, Sosnowiec 2009.

14. Chwieduk B., *Ogniwa fotowoltaiczne – budowa, działanie, rodzaje*, „Polska Energetyka Słoneczna”, Nr 1–4, 2015, 15–20.
15. Duffie J.A., Beckman W.A., Blair N., *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2020.
16. Buriak J., *Ocena warunków nasłonecznienia i projektowanie elektrowni słonecznych z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania oraz baz danych*, „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej”, Nr 40, 2014, 29–32.
17. Nayak P.K., Mahesh S., Snaith H.J., Cahen D., *Photovoltaic solar cell technologies: analysing the state of the art*. “Nature Reviews Materials”, No. 4, 2019, DOI: 10.1038/s41578-019-0097-0.
18. Borkowski K., *Astronomiczne obliczenia nie tylko dla geografów*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1991.
19. Wszolek B., Kuźmich A., *Elementy astronomii dla geografów*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2009.
20. Matuszko D., *Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2009.
21. Gong J., Li C., Wasielewski M.R., *Advances in solar energy conversion*, “Chemical Society Review”, Vol. 48, No. 7, 2019, 1862–1864.

## Analysis of the Correct Installation of Solar Panels for IoT Systems

**Abstract:** The article considers the impact of the building and roof structures on the efficiency of obtaining electricity from photovoltaic panels. Meteorological and astronomical data were also taken into account. The result of the analysis on the basis of installations in single-family houses was used as a base for installations in IoT systems. In addition, mechanical installation of photovoltaic panels for measuring systems in island configuration will be considered. The article was written as a part of Statutory Work 1115538-173.

**Keywords:** photovoltaic panels, renewable energy, renewable energy sources, solar energy

**mgr inż. Marcin Słota**

mslota@gig.eu

ORCID: 0000-0001-8325-3270

Absolwent Wydziału Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach – 1995 r. Obecnie pracuje w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach. Współautor konstrukcji i opracowania pirometru dwubarwowego, autor publikacji „System Akwizycji Danych Samowystarczalny Energetycznie”, współautor kilku patentów oraz rozwiązań nagradzanych zarówno w Polsce jak i na świecie. Zainteresowania i kierunki prac to systemy sterowania, systemy pomiarowe wartości elektrycznych i nieelektrycznych, układy monitoringu systemów przemysłowych, systemy akwizycji danych, systemy nadzoru on-line, aplikacje monitoringu mobilnego, systemy bezpieczeństwa, systemy Safety-Critical.

