

**Szczepan Opach**

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

## PROSUMPCJA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W DOMU WIELORODZINNYM W ŚWIETLE MOŻLIWOŚCI TECHNICZNYCH I PRAWNYCH

### PRODUCTION AND CONSUMPTION OF ELECTRICITY IN A MULTI-FAMILY HOUSE IN RELATION TO TECHNICAL AND LEGAL POSSIBILITIES

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano podstawowe informacje w temacie możliwości produkcji i konsumpcji energii elektrycznej w przydomowych elektrowniach słonecznych z panelami fotowoltaicznymi. Przedstawiono podstawowe parametry ogniw fotowoltaicznych a następnie scharakteryzowano warunki STC oraz NOCT. Porównano sprawności paneli fotowoltaicznych kilku wybranych producentów. Przedstawiono również nowe możliwości prawne, wynikające z nowelizacji polskiej ustawy o OZE.

**Abstract:** The article presents basic informations about possibilities of production and consumption of electricity in a home solar installation with solar panels. Basic parameters of solar panels as well as STC and NOCT conditions were presented and described. Solar panel efficiency of several selected manufacturers was compared. Legal possibilities resulting from the Polish Act of Renewable Energy Sources were presented.

**Słowa kluczowe:** *Odnawialne Źródła Energii OZE, fotowoltaika*

**Keywords:** *Renewable Energy Sources RES, photovoltaics*

#### 1. Wstęp

W świetle postępujących zmian klimatycznych na świecie, racjonalne wydaje się podjęcie szerokiej dyskusji w temacie zwiększenia udziału ilości energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych w ogólnej ilości produkowanej energii elektrycznej. W narzuconych przez Unię Europejską na kraje członkowskie planach na rok 2020, ilość wyprodukowanej energii elektrycznej pochodzącej z OZE ma stanowić 20% całkowitej ilości wyprodukowanej energii elektrycznej. Plany zakładają stopniowe odchodzenie od szkodliwej klimatycznie energetyki węglowej, zwiększając przy okazji poziom bezpieczeństwa energetycznego kraju i stopień odporności finansowej budżetów gospodarstw domowych na zmieniające się ceny dostaw energii elektrycznej dla odbiorców końcowych. W ostatnich latach w Polsce obserwuje się wzrost zainteresowania energią elektryczną pozyskiwaną ze źródeł odnawialnych, co przekłada się na rosnącą ilość instalacji OZE, również w gospodarstwach domowych. Wątpliwości odnoszące się do ekonomiki ich stosowania mają najczęściej uzasadnienie w mylnym przekonaniu o niesprzyjających temu warunkach atmosferycznych panujących w strefie klimatu umiarkowanego. Badania nasłonecznienia dla

obszaru Polski, wypadają jednak stosunkowo korzystnie [1].

*Tab. 1. Wartość nasłonecznienia (insolacji) w Polsce dla poszczególnych województw w skali roku*

Województwo	Insolacja kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)
<b>Śląskie</b>	<b>1020</b>
Podlaskie	897
Kujawsko-pomorskie	857
Świętokrzyskie	982
Łódzkie	978
Pomorskie	886
Warmińsko-Mazurskie	883
Małopolskie	1046
Lubelskie	975
Zachodniopomorskie	863
Opolskie	1014
Wielkopolskie	961
Podkarpackie	1051
Mazowieckie	978
Lubuskie	830
Dolnośląskie	993

Uśredniona wartość energii słonecznej docierająca do powierzchni ziemi na terenie Polski wynosi 950-1200 kWh/m<sup>2</sup> w skali roku [2]. Największe wartości nasłonecznienia notuje się dla obszaru południowo-wschodniej i południowej Polski, jednak wartości uzyskane dla pozostałych obszarów również sugerują ich znaczny potencjał fotowoltaiczny [1].

## 2. Parametry ogniw fotowoltaicznych

Nominalna moc maksymalna modułu fotowoltaicznego  $P_{max}$ , podawana w kartach katalogowych producentów, jest mocą mierzoną w warunkach STC. Warunki STC są przyjętym standardem w badaniach ogniw fotowoltaicznych, umożliwiającym porównywalność uzyskiwanych wyników. Warunki STC, przedstawiają się następująco:

Tab. 2. Zestawienie warunków STC, do badania ogniw fotowoltaicznych

Insolacja	1000 W/m <sup>2</sup>
Temperatura modułu fotowoltaicznego	25 [°C]
Współczynnik masy powietrza AM	1,5

Powyższe wartości są niemal niemożliwe do osiągnięcia w rzeczywistych warunkach eksploatacji ogniw fotowoltaicznych. W warunkach długotrwałego nasłonecznienia rzędu 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura ogniw najczęściej znacznie przekracza 25 °C. Są to więc warunki czysto teoretyczne, możliwe jednak do spełnienia w rzeczywistości laboratoryjnej. Z tego powodu bardzo często w kartach katalogowych producentów ogniw fotowoltaicznych, wyszczególnia się wartości mocy, napięć i prądów zmierzonych

w warunkach NOCT, bardziej oddających rzeczywiste warunki pracy ogniwa. Warunki NOCT, przedstawiają się następująco:

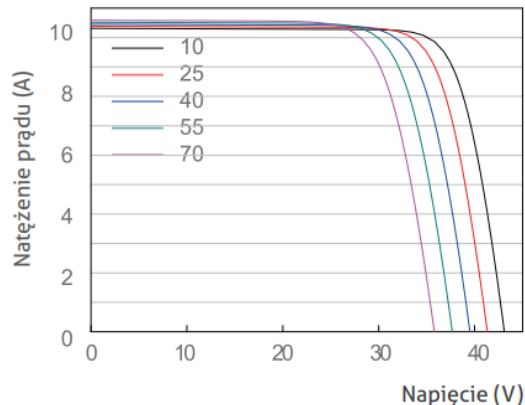
Tab. 3. Zestawienie warunków NOCT, do badania ogniw fotowoltaicznych

Insolacja	800 W/m <sup>2</sup>
Temperatura otoczenia	20 °C
Współczynnik masy powietrza AM	1,5
Prędkość wiatru	1 m/s

Nominalnej mocy maksymalnej modułu fotowoltaicznego  $P_{max}$ , mierzonej w warunkach STC, odpowiada wartość napięcia  $U_{mpp}$  oraz prądu  $I_{mpp}$  w charakterystycznym dla danych

warunków pracy punkcie mocy maksymalnej MPP. Dodatkowo podaje się najczęściej wartości napięcia obwodu otwartego  $U_{oc}$  oraz prądu zwarcia  $I_{sc}$ . W warunkach STC, czyli przy nasłonecznieniu rzędu 1000 W/m<sup>2</sup>, z 1 m<sup>2</sup> ogniwa o czysto teoretycznej sprawności 100%, można uzyskać 1000 Wh energii elektrycznej w ciągu godziny i nominalną moc ogniwa rzędu 1000 W. Zakładając sprawność ogniwa na poziomie 20%, ilość uzyskanej w ciągu godziny energii elektrycznej wynosić będzie 200 Wh, przy nominalnej mocy ogniwa rzędu 200 W.

Moc wyjściowa ogniwa w sposób oczywisty zależy od warunków atmosferycznych i stopnia nasłonecznienia. Procentowy spadek wartości prądu zwarcia  $I_{sc}$ , napięcia obwodu otwartego  $U_{oc}$ , oraz nominalnej mocy maksymalnej  $P_{max}$ , względem wzrostu temperatury ogniwa o 1°C, określają współczynniki temperaturowe, charakteryzujące dane ogniwo. Współczynnik temperaturowy napięcia obwodu otwartego ma wartość ujemną. Oznacza to, że wzrost temperatury ogniwa, powoduje spadek wartości napięcia obwodu otwartego  $U_{oc}$  a co za tym idzie również mocy ogniwa. Pokazane to zostało na rysunku 1 [1].

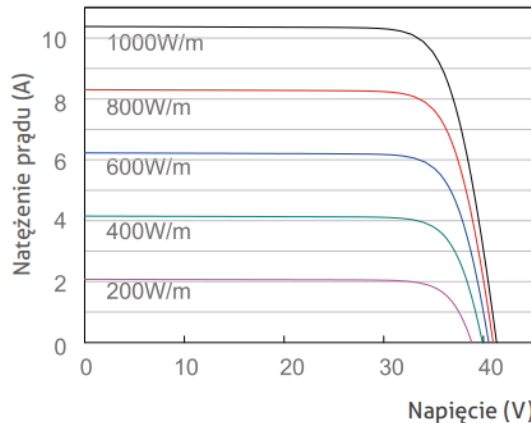


Rys. 1. Krzywe funkcji  $I=f(U)$  zależne od temperatury ogniwa

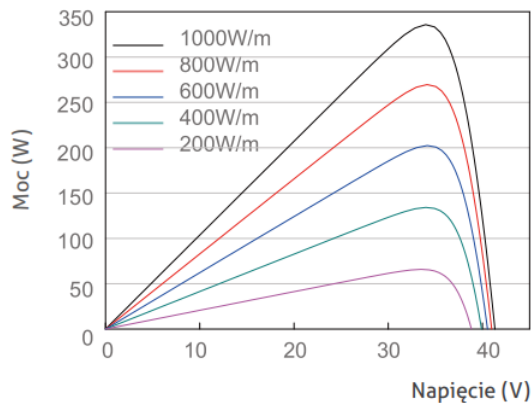
Moc wyjściowa ogniwa zależy również od chwilowego stopnia nasłonecznienia. Wzrost chwilowego stopnia nasłonecznienia, przekłada się na wzrost chwilowego prądu ogniwa a tym samym jego mocy wyjściowej. Pokazane to zostało na rysunku 2 i 3 [1].

Zależność mocy wyjściowej panelu od stopnia nasłonecznienia i temperatury ogniwa, tłumaczy rozbieżności w wynikach badań dla warunków STC oraz NOCT. Z kart katalogowych producentów ogniw wynika, że dla warunków NOCT, wartość nominalnej mocy maksymalnej

ogniwa stanowi około 75% wartości mocy uzyskanej w warunkach STC.



Rys. 2. Krzywe funkcji  $I=f(U)$  zależne od stopnia nasłonecznienia



Rys. 3. Krzywe funkcji  $P=f(U)$  zależne od stopnia nasłonecznienia

Istotnym parametrem charakteryzującym ogniwa jest również, wyrażona w watach tolerancja mocy ogniwa, która może być dodatnia lub ujemna.

### 3. Nowe możliwości dla prosumenta wynikające z nowelizacji ustawy o OZE w 2019 roku

W Ustawie z dnia 19 lipca 2019 roku o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw, zdefiniowano prosumenta energii odnawialnej jako odbiorcę końcowego wytwarzającego energię elektryczną wyłącznie z odnawialnych źródeł energii na własne potrzeby w mikroinstalacji, pod warunkiem, że w przypadku odbiorcy końcowego niebędącego odbiorcą energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, nie stanowi to przedmiotu przeważającej działalności gospodarczej określonej zgodnie z przepisami ustanowionymi w odrębnej ustawie [4].

W rozumieniu zapisów ustawy, sprzedawca dokonuje rozliczenia ilości energii elektrycznej wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej wobec ilości energii elektrycznej pobranej z tej sieci w celu jej zużycia na potrzeby własne przez prosumenta energii odnawialnej wytwarzającego energię elektryczną w mikroinstalacji o łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej nie przekraczającej 10 kW w stosunku 1:0,8, powyżej zaś 10 kW w stosunku 1:0,7 [4]. Oznacza to, że za każdą oddaną do sieci 1 kWh energii elektrycznej, prosumentowi dysponującemu mikroinstalacją o mocy zainstalowanej nie przekraczającej 10 kW, przysługuje w zamian 0,8 kWh energii elektrycznej.

Rozliczenie ilości energii elektrycznej z prosumentem, dokonuje sprzedawca na podstawie danych pomiarowych, dostarczonych przez operatora elektroenergetycznego systemu dystrybucyjnego. Sprzedawca w świetle zapisów ustawy informuje prosumenta energii odnawialnej o ilości rozliczonej energii, zgodnie z okresami rozliczeniowymi przyjętymi w umowie kompleksowej. Nadwyżką ilości energii elektrycznej wprowadzonej przez prosumenta energii odnawialnej do sieci wobec ilości energii pobranej przez niego z tej sieci dysponuje sprzedawca. Oznacza to, że z każdej 1 kWh energii elektrycznej, oddanej przez prosumenta energii odnawialnej do sieci elektroenergetycznej, sprzedawcy przysługuje 0,2 kWh energii elektrycznej w celu pokrycia kosztów rozliczenia w tym opłat.

### 4. Wybrane oferty producentów paneli fotowoltaicznych

Do porównania wybrano oferty czterech producentów monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych o maksymalnej mocy znamionowej, mierzonej w warunkach STC, wynoszącej 340 Wp. Uwagę skupiono głównie na mocy maksymalnej, uzyskiwanej w warunkach STC z 1 m<sup>2</sup> panelu, czyli na jego sprawności.

Na tym etapie pominięto ceny zakupu panelu, długości okresu gwarancji niezmienności mocy, długości okresu gwarancji ogólnotechnicznej instalacji, odporności panelu na warunki atmosferyczne itd. Do dalszych rozważań wybrano ofertę producenta 2, wykazującą najwyższą sprawność panelu fotowoltaicznego. Wartość podanej w tabeli 4 sprawności ogniwa (20,2%), uzyskiwana jest w czasie pomiarów przeprowadzonych w warunkach STC.

Tab. 4. Porównanie ofert kilku producentów paneli fotowoltaicznych

Producent panelu	Pow. panelu $m^2$	STC Moc MPP $W_p$	STC $U_{mpp}$ V	STC $I_{mpp}$ A	STC $U_{oc}$ V	STC $I_{sc}$ A	STC Sprawność %	Tolerancja mocy	Masa kg
Producent 1	1,687	340	34,20	9,95	41,70	10,82	20,10	+3%	19
<b>Producent 2</b>	<b>1,682</b>	<b>340</b>	<b>34,73</b>	<b>9,79</b>	<b>41,55</b>	<b>10,46</b>	<b>20,20</b>	<b>+5Wp</b>	<b>19</b>
Producent 3	1,944	340	37,40	9,10	44,65	9,70	17,49	+5Wp	21,3
Producent 4	1,713	340	34,50	9,86	41,10	10,53	19,80	+3%	18

Tab. 5. Moce i sprawności panelu w zależności od doboru warunków badań

Pow. panelu $m^2$	STC: Insolacja $W/m^2$	STC: Moc przy sprawności 100% W	STC: Sprawność rzeczywista $\eta\%$	STC: Moc W	NOCT: Insolacja $W/m^2$	NOCT: Moc przy sprawności 100% W	NOCT: Moc W	NOCT: Sprawność rzeczywista $\eta\%$
1,682	1000	1682	20,2	340	800	1345,6	257	<b>19,1</b>

Jak już wcześniej wspomniano, warunki STC są trudne do osiągnięcia w cyklu ciągłym, rzeczywistej eksploatacji ogniwa, m.in. z uwagi na określoną nimi stałą wartość nasłonecznienia, wynoszącą  $1000 W/m^2$ . Nawet jeśli chwilowe nasłonecznienie w okresie letnim może osiągnąć wartość  $1000 W/m^2$ , trudno ją uznawać za wartość średnią w skali całego roku. Ponadto wzrost temperatury ogniwa wywołany nasłonecznieniem, wpływa na obniżenie jego sprawności. Rzeczywiste warunki eksploatacji ogniwa, lepiej opisuje standard NOCT. Producent panelu wybranego do analizy zadeklarował, że w warunkach NOCT (nasłonecznienie  $800 W/m^2$ , temperatura otoczenia  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ , prędkość wiatru  $2\text{ m/s}$ , współczynnik masy powietrza AM 1,5), uzyskiwana moc maksymalna ogniwa wynosi  $257\text{ W}$ . Jeśli wartość nasłonecznienia w warunkach NOCT, stanowi 80% wartości nasłonecznienia w warunkach STC, to stosunek wartości możliwych do uzyskania mocy maksymalnych w warunkach NOCT i STC przy teoretycznej sprawności panelu 100%, również wynosi  $0,8$ . Podawana w karcie katalogowej producenta maksymalna moc ogniwa uzyskiwana w warunkach NOCT wynosząca  $257\text{ W}$ , stanowi  $19,1\%$  mocy możliwej do uzyskania przy teoretycznie 100% sprawności. Rzeczywista sprawność ogniwa w warunkach NOCT, wynosi więc  $19,1\%$ .

Warto jeszcze zauważyć, że maksymalna moc uzyskana w warunkach NOCT, stanowi jedynie 75% maksymalnej mocy uzyskanej w warunkach STC. Moce nominalne podawane w kartach katalogowych producentów ogniwa, wyznaczone w warunkach STC, są zatem wartościami bardzo optymistycznymi i raczej niemożliwymi do osiągnięcia w realnej eksploatacji panelu fotowoltaicznego.

## 5. Projekt instalacji dla gospodarstwa domowego

Aktualnie w domu wielorodzinnym obowiązuje taryfa całodobowa G11, atrakcyjna dla gospodarstw domowych korzystających z energii elektrycznej głównie w dzień. Cena energii elektrycznej oraz stawki dystrybucyjne są stałe w ciągu całej doby. Taryfa taka jest prosta w domowych rozliczeniach, układaniu rocznego budżetu wydatków i planowaniu inwestycji energetycznych w gospodarstwach domowych. Poniżej zestawiono cennik dostaw energii brutto wg oferty dostawcy na rok 2020 [5].

Tab. 6. Ceny brutto dostaw energii elektrycznej wg oferty przykładowego dostawcy

Cena sprzedaży	0,3606 zł/kWh
Opłaty zmienne <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ składnik zmienny stawki sieciowej</li> <li>▪ stawka jakościowa</li> <li>▪ opłata OZE</li> <li>▪ opłata kogeneracyjna</li> </ul>	0,2375 zł/kWh
Opłaty stałe ~1f <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ składnik stały</li> <li>▪ opłata przejściowa</li> </ul>	4,33 zł/mc
Opłaty stałe ~3f <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ składnik stały</li> <li>▪ opłata przejściowa</li> </ul>	7,28 zł/mc
Abonament (cykl 1 mc)	5,61 zł/mc

Pomijając opłaty stałe, można zauważyć, że koszty energii elektrycznej, zależne od jej zużycia, zbliżają się do 0,6 zł/kWh. Taki też, średni koszt brutto energii elektrycznej, przyjęto w obliczeniach. Koszt energii elektrycznej w gospodarstwie domowym w roku 2019, sporządzony na podstawie analizy rachunków, to 1680 zł brutto. W ciągu ostatnich lat, roczne zapotrzebowanie na energię wynosiło od 2800 kWh/rok do 3100 kWh/rok. Skoro insolacja dla Województwa Śląskiego wynosi 1020 kWh/(m<sup>2</sup>·rok), to z 1 m<sup>2</sup> powierzchni panelu fotowoltaicznego o teoretycznej sprawności 100% można uzyskać 1020 kWh energii elektrycznej w ciągu roku. Uwzględniając przyjętą do obliczeń sprawność ogniwa 19,1% (odpowiadającą warunkom NOCT), łatwo można obliczyć rzeczywistą, możliwą do pozyskania ilość energii elektrycznej w ciągu roku:

$$E_{NOCT} = 0,191 \cdot 1020 \text{ kWh} = 194,82 \text{ kWh}$$

Z wyprodukowanej i przekazanej do sieci elektroenergetycznej energii elektrycznej, w myśl zapisom ustawy o OZE, postumentowi należy się nieodpłatnie 80% jej ilości.

$$\begin{aligned} 80\% E_{NOCT} &= 0,8 \cdot 0,191 \cdot 1020 \text{ kWh} \\ &= 0,8 \cdot 194,82 \text{ kWh} \\ &= 155,96 \text{ kWh} \end{aligned}$$

W obliczeniach przyjęto roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną w ilości 2800 kWh (jak to miało miejsce w 2019 roku). Łatwo można więc obliczyć powierzchnię paneli fotowoltaicznych wystarczającą i niezbędną do pokrycia tego zapotrzebowania.

$$\begin{aligned} \text{powierzchnia paneli} &= \frac{2800 \text{ kWh}}{155,96 \text{ kWh}} \\ &\approx 18 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Przyjmując powierzchnię jednego panelu fotowoltaicznego zgodnie z kartą katalogową producenta, można obliczyć ilość paneli, które należy zainstalować.

$$\text{ilość paneli} = \frac{18 \text{ m}^2}{1,682 \text{ m}^2} \approx 11$$

## 6. Podsumowanie i wnioski, również w aspekcie elektromobilności

Pełny koszt instalacji fotowoltaicznej, opartej o monokrystaliczne panele słoneczne wysokiej sprawności dla domu wielorodzinnego, zależy od wielu czynników. W chwili obecnej istnieją możliwości dofinansowania tego typu inwestycji m.in. ze środków programu „Mój Prąd”, realizowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Realna kwota dofinansowania może wynieść nawet do 5 tys. zł. Analizując oferty dostawców instalacji fotowoltaicznych można stwierdzić, że realne koszty takiej inwestycji nie powinny przekroczyć kilkunastu tysięcy złotych dla domu jednorodzinnego. Uwzględniając przy tym kwotę możliwej do uzyskania dotacji, można już dostrzec nie tylko ekologiczne ale również ekonomiczne aspekty tego typu inwestycji. Zakładając bowiem, że koszty instalacji z uwzględnieniem dotacji wyniosą ok. 10 tys. zł. to realny czas zwrotu inwestycji dla wyżej opisanego przypadku wyniesie 6 lat.

Codziennie na trasie dom – miejsce pracy – dom, autor artykułu pokonuje 120 km. Przemierzając się samochodem elektrycznym segmentu A o mocy silnika 45 kW i pojemności baterii 15 kWh, zużywa ok. 18 kWh energii elektrycznej, czyli 120% baterii. W ciągu roku, autor pokonuje tę trasę ok. 200 razy. Zapotrzebowanie roczne na energię elektryczną wynosi zatem 3600 kWh. Odnosząc się do opisanego przykładu, łatwo można obliczyć, że 23 m<sup>2</sup> paneli fotowoltaicznych, zainstalowanych w gospodarstwie domowym, powinno wystarczyć do pokrycia rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną wynikającą z elektromobilności gospodarza.

## 7. Literatura

- [1]. [www.hewalex.pl](http://www.hewalex.pl)
- [2]. [www.elve.pl](http://www.elve.pl)

[3]. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej.

[4]. Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw, Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej.

[5]. [www.tauron.pl](http://www.tauron.pl).

## **8. Autorzy**

mgr inż. Szczepan Opach

[sz.opach@komel.com.pl](mailto:sz.opach@komel.com.pl)

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL

40-203 Katowice

al. Roździeńskiego 188