

Fotowoltaika

Domowa instalacja fotowoltaiczna - analiza efektywności ekonomicznej

Opracował: mgr inż. Wiesław Olasek

Olsztyn 2018 rok

© Copyright by Wiesław Olasek, Operator Doradztwo Techniczno-Finansowe
Olsztyn 2017

Domowa instalacja fotowoltaiczna - analiza efektywności ekonomicznej

Popularność odnawialnych źródeł energii nie wynika głównie z ich efektywności lub przydatności dla inwestorów ale między innymi z polityki państwa. Jeszcze nie tak dawno, ze środków unijnych, masowo dofinansowywane były wodne kolektory słoneczne. Ceny jednostkowe kolektorów w szybkim tempie malały. Powstawały nowe fabryki i zakłady instalacyjne. Wystarczyło jednak nieznacznie skorygować politykę dotacyjną żeby kolektory wodne stały się *dèmodè*. Cały system zaczął się sypać.

Na miejsce wodnych kolektorów słonecznych wkroczyła fotowoltaika i cała zabawa rozkręca się według tych samych zasad – wsparcie dotacjami dla inwestorów, rozwój zakładów produkcyjnych (importerów) i instalacyjnych, szybkie obniżanie kosztów jednostkowych paneli fotowoltaicznych.

Wielu inwestorów ulega rządzy posiadania własnej elektrowni. Ten klimat euforii podtrzymywany jest przez wielu przedstawicieli handlowych lub „doradców energetycznych” (o czym pisałem na blogu). Wspólnym mianownikiem jest brak rzetelnej informacji o efektywności instalacji fotowoltaicznych i specyfice jej wykorzystania.

Trzeba jednak zadać sobie podstawowe pytanie – czy inwestorzy są zainteresowani taką rzetelną analizą efektywności?

Uważam, że bardzo często o decyzji wykonania instalacji fotowoltaicznej decyduje pragnienie uzyskania dotacji, która może wynosić nawet od 30% do 85% kosztów kwalifikowanych. W ostatecznym rozrachunku dotacje nie wspierają rzeczywistych efektywnych instalacji lecz są formą rozdawnictwa unijnej i budżetowej kasy.

Żeby móc w sposób obiektywny ocenić przydatność oraz śledzić efektywność ekonomiczną instalacji fotowoltaicznej wykonałem na potrzeby własne instalację o mocy 4,5 kW_p.

Opis instalacji

Instalacja powstała w Olsztynie w 2016 roku i 9 marca została opomiarowana przez Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) i przekazana do użytkowania.

Instalacja o mocy elektrycznej **4,5 kW_p** składa się z 18 polikrystalicznych krzemowych modułów fotowoltaicznych ND-R250A5 klasy A.

Zastosowano inwerter SMA Sunny Boy 4000TL.

Koszt netto instalacji wyniósł **23.700,00 zł** i **nie korzystałem z żadnego dofinansowania**.

Cena jednostkowa netto instalacji PV wynosiła **5.267 zł/kW_p**.

Dodatkowo instalacja została wyposażona w router, Sunny Home Manager i Sunny Portal (koszt nie uwzględniany w koszcie instalacji, gdyż nie jest on normalnie niezbędnym). System do rejestracji wytwarzania i zużycia energii elektrycznej pozwala określić:

- łączne zużycie prądu;
- pobór energii na potrzeby własne;
- pobór mocy z sieci;
- produkcję energii fotowoltaicznej;
- energię oddawaną do sieci;
- zużycie energii na potrzeby własne.

Zrezygnowałem ze sterowanych radiowo gniazd elektrycznych i wydzielonych urządzeń.

Panele zamontowane zostały na górnej części dachu mansardowego, którego kąt pochylenia wynosi ok 16°, przy odchyleniu osi paneli ok 10° w kierunku zachodnim. Z symulacji programu PV*Sol wynika, że nie jest to posadowienie optymalne, ale alternatywą dla płaskiego montażu nad dachówkami ceramicznymi było budowanie dodatkowej konstrukcji wsporczej.

Rozważałem celowość zastosowania podgrzewania paneli w okresie zimowym po intensywnych opadach śniegu. Przy tak małym pochyleniu mokry śnieg nie zsuwa się z paneli. Było to spostrzeżenie z pierwszej zimy 2016/2017 r. Rozwiązaniem było zainstalowanie np. elektrycznych przewodów grzewczych lub mat. Z uzyskanych niemieckich wyników badań okazało się, że straty wynikające z zalegania śniegu na panelach wynoszą ok 2% w skali roku. Uznałem, że koszt podgrzewania paneli oraz koszt prądu do podgrzewania przekraczają ewentualne zyski.

W początkowym okresie przygotowywania inwestycji rozważałem możliwość instalacji paneli typu NoFrost. Jak już po miesiącu otrzymałem ofertę to cena paneli NoFrost była wyższa o prawie 100% od paneli w standardowym wykonaniu.

Wstępna analiza instalacji PV przy użyciu programu PV*Sol

Bardzo często (zbyt często) wielkość instalacji PV wynika z dostępnej powierzchni dachu lub terenu. Doradca inwestora zabudowuje całą dostępną powierzchnię panelami. Uzgodnia z inwestorem standard urządzeń (głównie moc jednostkową kW_p) i posługując się dostępnymi w internecie programami określa prognozowany uzysk energii w ciągu roku.

Porównując zużycie prądu w ciągu roku bazowego z uzyskiem energii z PV określa się stopień pokrycia zapotrzebowania. Na podstawie kosztu prądu kupowanego z sieci oraz prądu z PV określa się przewidywane oszczędności i wylicza prosty okres zwrotu.

Postanowiłem sprawdzić na ile taka metodologia jest wiarygodna.

Dla lepszego zrozumienia zagadnień związanych z fotowoltaiką odsyłam do książki Bogdana Szymańskiego Instalacje fotowoltaiczne.

Kolejne zasadnicze etapy analizy instalacji przy użyciu programu:

- określenie lokalizacji;
- wskazanie miejsca montażu paneli;
- określenie producenta i modelu paneli;
- rozmieszczenie paneli na dostępnej powierzchni;
- dobór elementów instalacji elektrycznej;
- wprowadzenie podstawowych informacji kosztowych;
- symulacja pracy instalacji PV.

Osobiście nie korzystam z modułu kosztowego bo uważam, że nie przystaje on do naszych realiów. Program PV*Sol nie zawiera (przynajmniej ja nie znalazłem) modułu, który uwzględniałby rzeczywiste zużycie prądu przez obiekt.

Dla mojej instalacji uzyskałem:

Energia wyprodukowana przez system PV	4 222 kWh
Spec. uzysk roczny	938,14 kWh/ kW_p
Moc generatora PV	4,5 kW_p
Powierzchnia generatora PV	29,6 m^2
Globalne nasłonecznienie na moduł (Olsztyn)	1081,9 kWh/ m^2

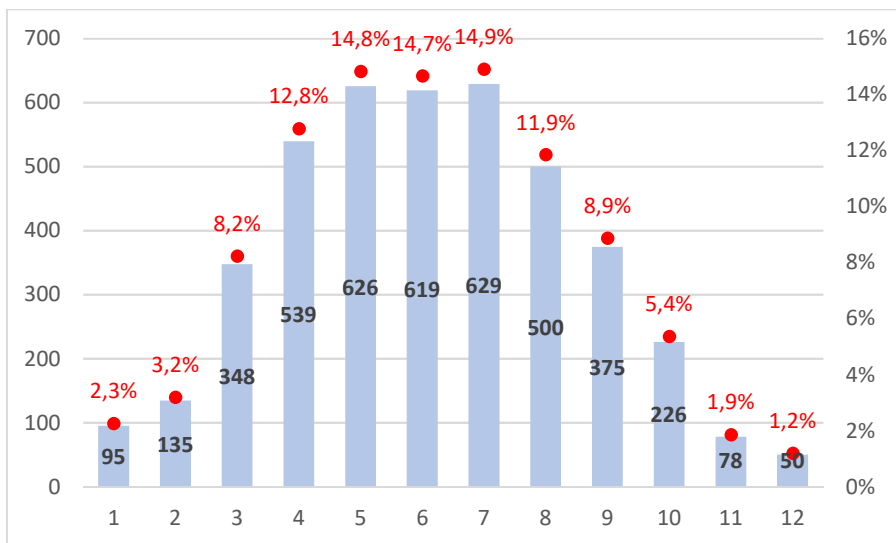
Pomijam analizowanie takich parametrów instalacji jak:

- moc znamionowa DC
- moc znamionowa AC
- maksymalna moc prądu DC
- maksymalna moc prądu AC

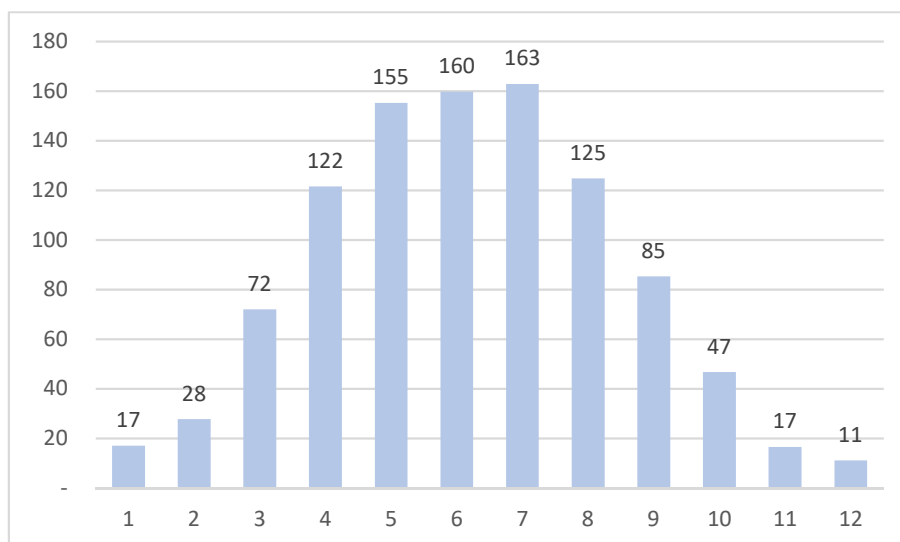
i odsyłam do wspomnianego podręcznika pana Szymańskiego.

Z punktu widzenia Operatora Systemu Dystrybucyjnego moc źródła określana jest przez moc inwertera a nie sumaryczną moc paneli fotowoltaicznych.

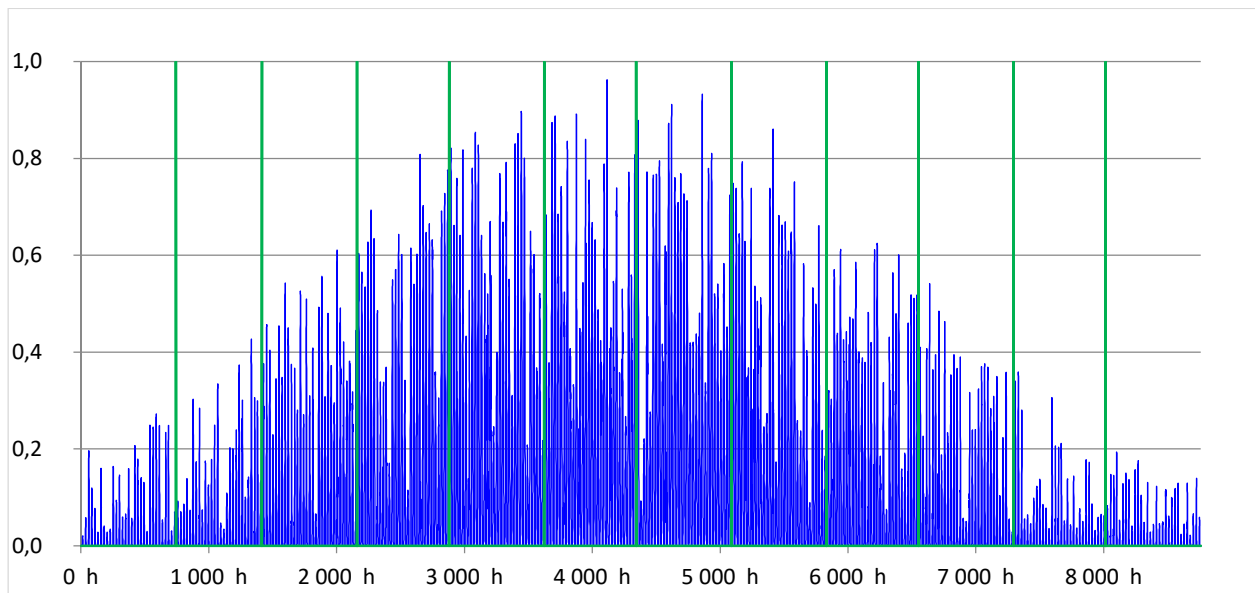
Dodatkowe informacje uzyskane w programie PV*Sol pokazane zostały na poniższych wykresach (są to wykresy wykonane na podstawie generowanych w programie danych liczbowych):



Rys. 1 Progniza uzysku energii elektrycznej [kWh/mc] oraz udział procentowy



Rys. 2 Prognozowane nasłonecznienie [kWh/m²] w poszczególnych miesiącach



Rys. 3 Prognozowane nasłonecznienie [kWh/m^2] w poszczególnych godzinach roku

Na rysunku pionowe zielone linie określają kolejne miesiące w roku.

W roku bazowym 2017 zużycie prądu wynosiło **8.461 kWh/rok**, a koszt netto prądu **4.266 zł/rok**, co daje cenę jednostkową netto **0,50 zł/kWh**.

Przyjmując z prognozy PV*Sol, że z instalacji PV uzyskamy **4.222 kWh/rok**, co stanowi ok. **49,9%** zapotrzebowania, to przy powyższej cenie prądu oszczędność roczna wyniesie **2.111 zł/rok**.

Na tej podstawie możemy przyjąć, że okres zwrotu wyniesie ok. **11,23 lat**.

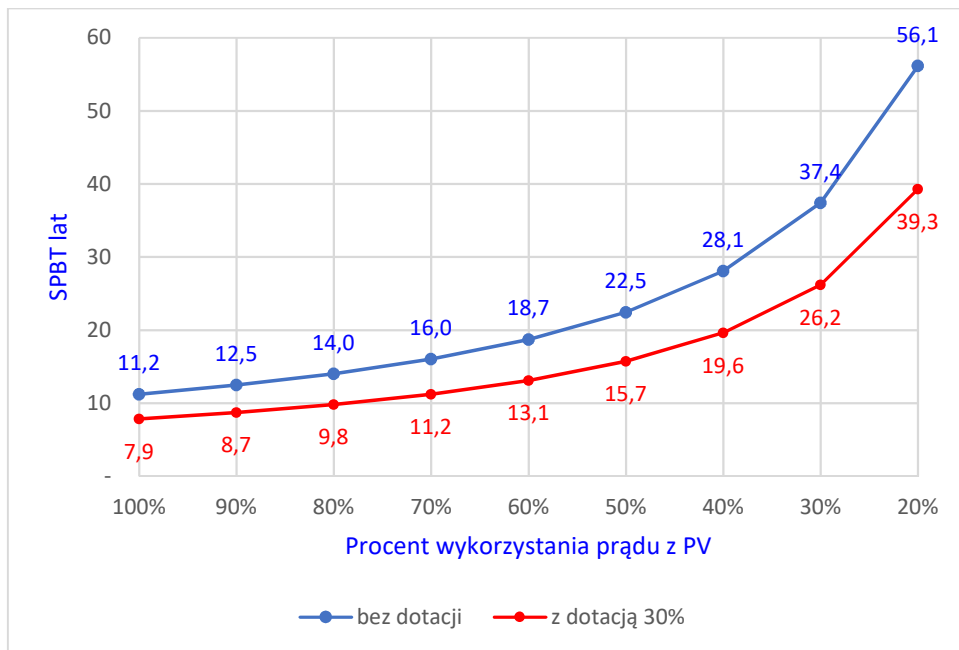
Uwaga:

Uzyskany okres zwrotu dotyczy sytuacji, w której wykorzystywane jest 100% prądu z PV na potrzeby własne. Im stopień wykorzystania prądu z PV jest mniejszy tym dłuższy robi się okres zwrotu poniesionych nakładów. Rzeczywisty okres zwrotu dla rzeczywistego stopnia wykorzystania prądu z PV na potrzeby własne podany został w dalszej części artykułu.

Gdyby przyjąć, że inwestycja jest opłacalna jeśli okres zwrotu jest nie większy niż 7 lat, to żeby instalacja PV była uznana za opłacalną musiałaby kosztować poniżej **14.800 zł. netto**, co dałoby cenę jednostkową ok. **3.300 zł/kW_p**. – oczywiście przy założeniu, że 100% prądu z PV wykorzystamy na potrzeby własne.

W mojej ocenie założenie, że 100% prądu z PV jesteśmy w stanie zużyć w gospodarstwie domowym na potrzeby własne jest absolutnie błędne – co wykażę w dalszej części artykułu.

Zależność okresu zwrotu poniesionych nakładów na PV w zależności od stopnia (procentu) wykorzystania prądu z PV na potrzeby własne pokazuje kolejny wykres. Pokazany został wariant bez dotacji i z dotacją 30%.



Rys. 4 SPBT w funkcji procentowego wykorzystania prądu z PV na potrzeby własne

Jak widać z przedstawionej analizy, przy wykorzystaniu programu PV*Sol, moja domowa instalacja PV pracująca jedynie na potrzeby własne jest całkowicie **nieopłacalna**.

Dla porządku należy jednak zwrócić uwagę, że nie uwzględniliśmy w analizie przychodów z tytułu sprzedaży nadwyżek prądu z PV lub innego systemowego wsparcia.

Analiza opłacalności domowej instalacji PV z uwzględnieniem systemu prosument

W programie PV*Sol nie znalazłem możliwości wprowadzenia rzeczywistego zużycia prądu do analizy. Postanowiłem przeprowadzić analizę efektywności ekonomicznej instalacji PV na podstawie faktur za prąd oraz danych o produkcji i zużyciu prądu uzyskanych z Sunny Home Managera.

Na początek należy jednak wyjaśnić dwa bardzo ważne pojęcia:

- współczynnik samowystarczalności;
- udział procentowy zużycia energii z PV na potrzeby własne.

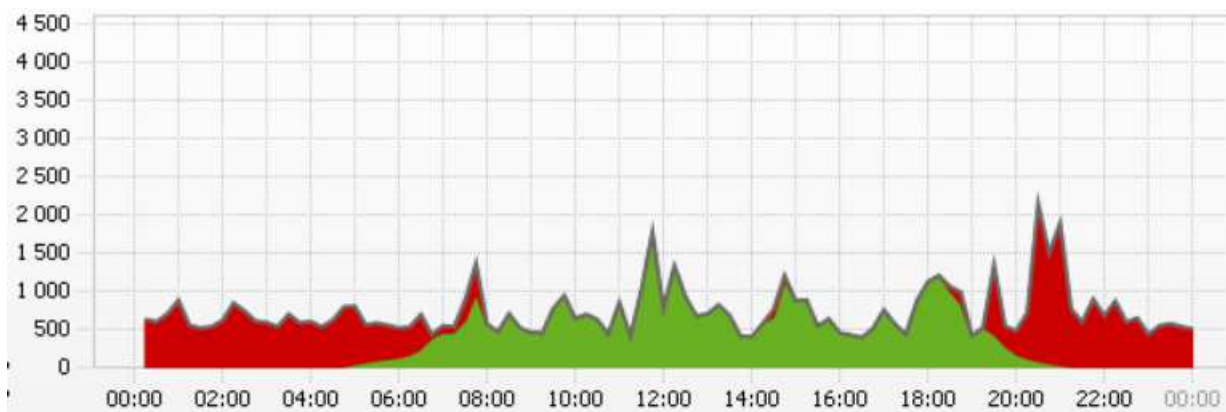
Współczynnik samowystarczalności określa w procentach poziom zaspokojenia potrzeb własnych energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej. Im ten współczynnik jest wyższy tym mniej prądu trzeba kupować z sieci.

Określenie udziału procentowego zużycia energii z PV na potrzeby własne możliwe jest jedynie w sytuacji, gdy rejestrator zużycia prądu jest w stanie porównać chwilowe (15 minutowe) zużycie prądu przez obiekt oraz w tym samym czasie poziom energii elektrycznej wytwarzanej z PV. Współczynnik ten zależy od profilu energetycznego obiektu, wielkości instalacji PV oraz chwilowego nasłonecznienia.

Oba współczynniki możemy określić jedynie post factum, natomiast na etapie analiz wstępnych należałoby przyjąć pewne wielkości referencyjne.

Niestety na etapie zachęcania do wykonania instalacji PV wykonawcy zwykle nie wspominają o tych współczynnikach.

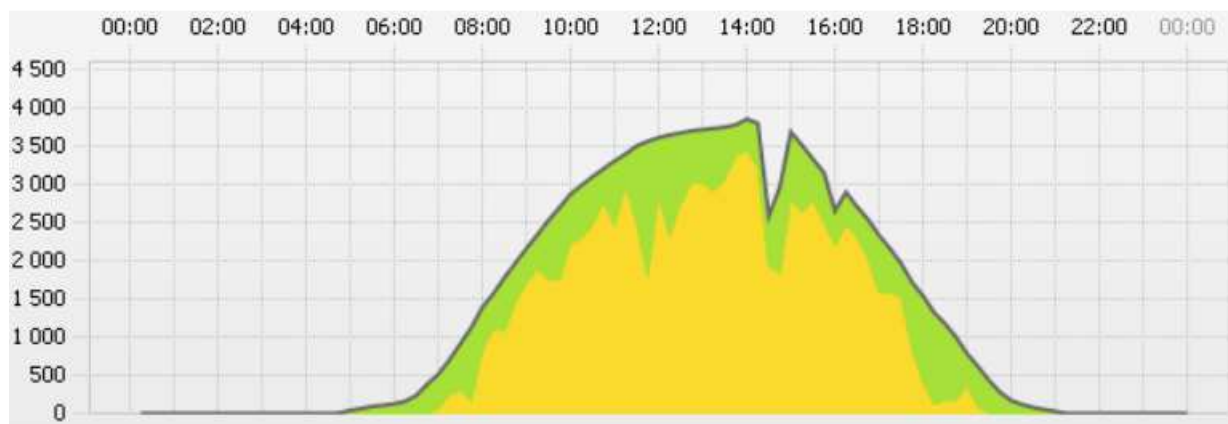
Na rysunku 5 pokazane jest zużycie prądu przez obiekt w ciągu jednej doby. Kolorem czerwonym zaznaczono prąd kupowany z sieci, a kolorem zielonym prąd pobierany z instalacji PV.









Rys. 5 Zużycie prądu [W]

Na rysunku 6 pokazana jest produkcja prądu w instalacji PV w ciągu tej samej doby. Kolorem zielonym zaznaczono prąd z PV zużywany na potrzeby własne, a kolorem żółtym prąd oddawany do sieci.

Jeśli nie dysponujemy baterią akumulatorów do gromadzenia nadwyżek energii to błędem byłoby zakładanie, że mając instalację PV możemy być w pełni samowystarczalni.



Rys. 6 Produkcja prądu w PV [W]¹

 Dzielne zużycie	17,46 kWh	 Dzienny uzysk energii	32,44 kWh
 Pobór mocy z sieci	8,06 kWh	 Zużycie energii na potrzeby własne	9,40 kWh
 Pobór energii na potrzeby własne	9,40 kWh	 Energia oddawana do sieci	23,04 kWh
Współczynnik samowystarczalności	54 %	Udział procentowy zużycia energii na potrzeby własne	29 %

W analizowanym dniu współczynnik samowystarczalności wynosił 54%, czyli że 54% zużytego prądu pochodziło z PV, a pozostały prąd był kupowany z sieci.

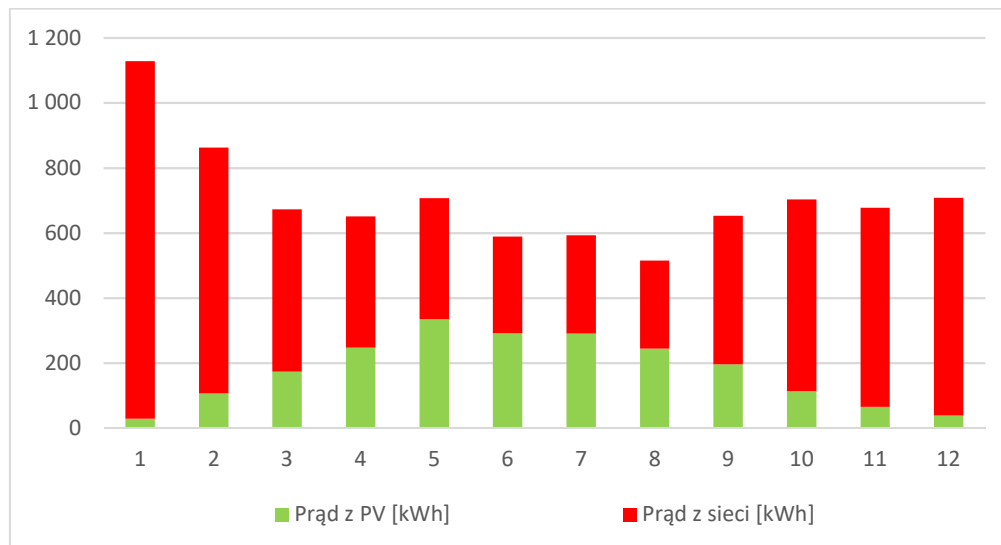
Z 32,44 kWh energii elektrycznej wytworzonej z PV jedynie 9,40 kWh zostały zużyte na potrzeby własne. Pozostała energia elektryczna została przesłana do sieci elektroenergetycznej.

Żeby zwiększyć współczynnik samowystarczalności oraz procentowy udział zużycia prądu z PV na potrzeby własne należałoby zastosować specjalny sterownik, który przy nadwyżkach prądu włączałby odpowiednie dodatkowe odbiorniki. Jednak takie działanie musi mieć jakiś sens. Dodatkowa automatyka znacznie zwiększyłaby koszt instalacji obniżając rentowność inwestycji.

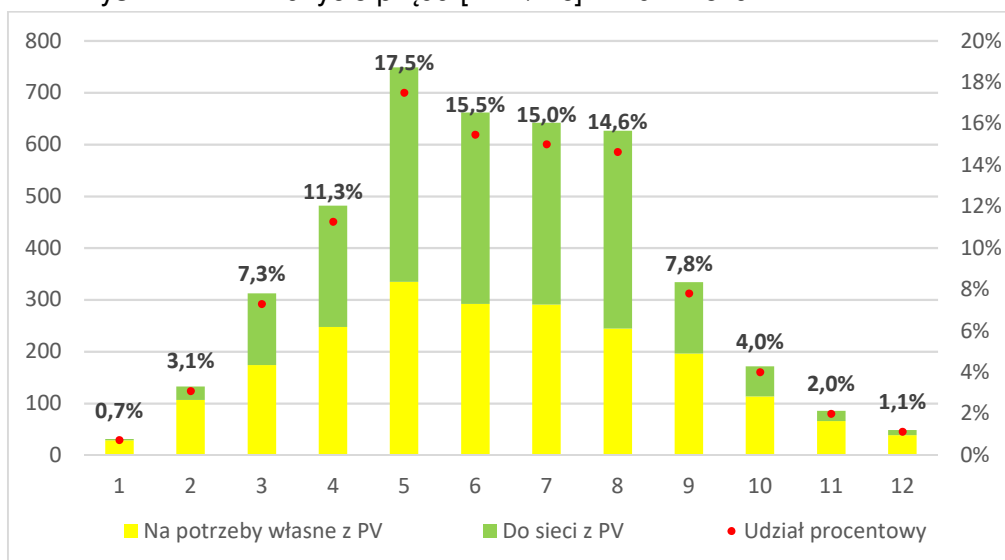
¹ Rys. 5 i 6 wraz z opisem pochodzą z portalu Suuny Portal dla mojej instalacji

W warunkach przemysłowych, przy instalacji PV o większej mocy, można sobie wyobrazić sterowanie zużyciem prądu z PV. Nie ma tu jednak jednej recepty dla wszystkich odbiorców.







Produkcja i zużycie prądu w roku bazowym wyglądała następująco:



Rys. 7 Zużycie prądu [kWh/mc] w 2017 roku



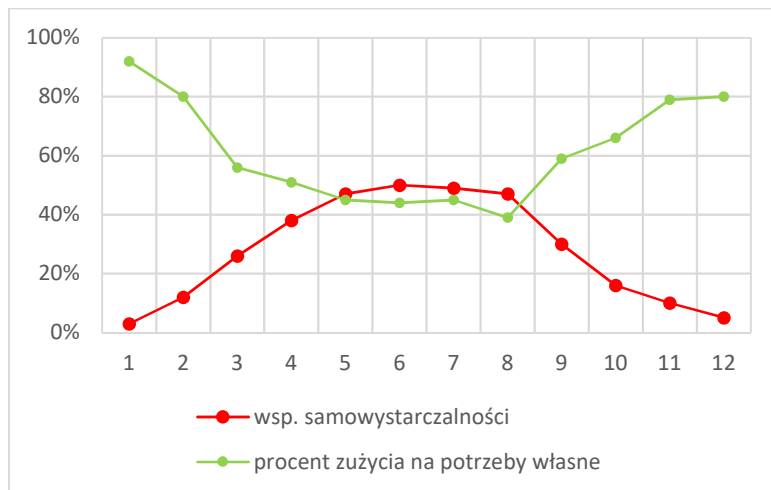
Rys. 8 Prąd z PV [kWh/mc] w 2017 roku

 Zużycie roczne	8460,93 kWh	 Roczny uzysk energii	4275,76 kWh
 Pobór mocy z sieci	6328,18 kWh	 Zużycie energii na potrzeby własne	2132,75 kWh
 Pobór energii na potrzeby własne	2132,75 kWh	 Energia oddawana do sieci	2143,02 kWh
Współczynnik samowystarczalności		Udział procentowy zużycia energii na potrzeby własne	
25 %		50 %	

Z powyższego zestawienia widać, że pomimo iż roczny uzysk energii elektrycznej z PV (4.275,76 kWh) stanowi połowę rocznego zużycia prądu (8.460,93 kWh) to i tak współczynnik samowystarczalności wynosi ok. 25%.

Tylko ok. 50% prądu wytworzonego w PV jesteśmy w stanie wykorzystać na potrzeby własne.

Pamiętajmy, że te wyniki odnoszą się do konkretnej instalacji, określonego w danym momencie poboru prądu oraz chwilowego nasłonecznienia.



Rys. 9 Wartości współczynnika samowystarczalności i procent udziału zużycia energii z PV na potrzeby własne w poszczególnych miesiącach

O opłacalności instalacji PV decyduje w przedstawionym przypadku kwestia rozliczania nadwyżki prądu z PV oddanej do sieci (2.143,02 kWh).

W naszym przypadku występuję jako prosument, czyli odbiorca końcowy dokonujący zakupu energii elektrycznej na podstawie umowy kompleksowej, wytwarzający energię elektryczną wyłącznie z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji w celu jej zużycia na potrzeby własne, niezwiązane z wykonywaną działalnością gospodarczą.

Przy umowie kompleksowej prosument otrzymuje jedną fakturę, w której prąd bilansuje w sposób następujący:

- energia czynna pobrana (z licznika) **723 kWh**
- energia czynna oddana (z licznika) **516 kWh**
- współczynnik korekty (z ustawy) **0,8**
- energia czynna wprowadzona do sieci – skorygowana **$516 * 0,8 = 413 \text{ kWh}$**
- saldo bieżące **$723 - 413 = 310 \text{ kWh}$**

Oznacza to, że prosument ponosi wszelkie opłaty wynikające z taryfy OSD dla wielkości salda, czyli dla 310 kWh.

Skorygowana energia czynna wprowadzona do sieci (413 kWh) jest wielkością od której naliczana jest akcyza.

Koszt netto **8.461 kWh** prądu zużytego w roku bazowym, gdyby nie było fotowoltaiki, wyniósłby **4.265,77 zł.**

Jeśli uwzględnimy mechanizm bilansowania prądu przez prosumenta to koszt netto prądu wyniósł **2.434,86 zł.**, czyli oszczędność wynosiła **1.830,91 zł.**

Dla kosztu netto instalacji fotowoltaicznej i uzyskanych rocznych oszczędności prosty okres zwrotu wynosi 12,94 lat.

Mechanizm rozliczania zużycia prądu przez prosumenta sprowadza się do tego, że sieć elektroenergetyczna pełni rolę akumulatora nadwyżek prądu wytworzonego w instalacji PV a prosument może pobrać tą nadwyżkę prądu w dowolnym momencie okresu rozliczeniowego, pomniejszoną o 20%. Te 20% prądu stanowi koszt „magazynowania” prądu przez OSD.

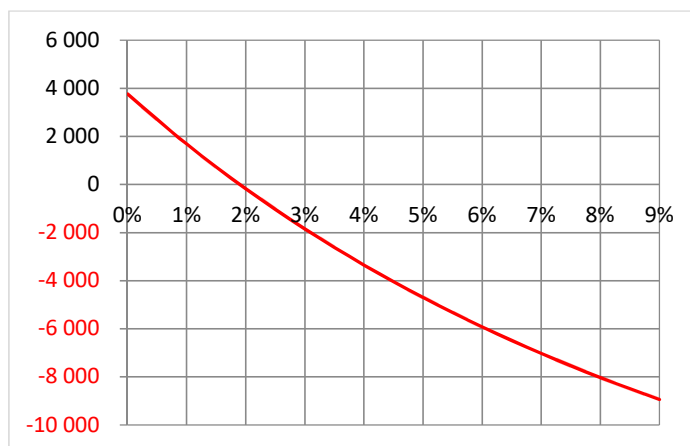
Wskaźniki efektywności ekonomicznej instalacji PV

Do analizy efektywności ekonomicznej przyjęto:

- Stopa dyskontowa 2,85%
- Okres życia projektu 15 lat

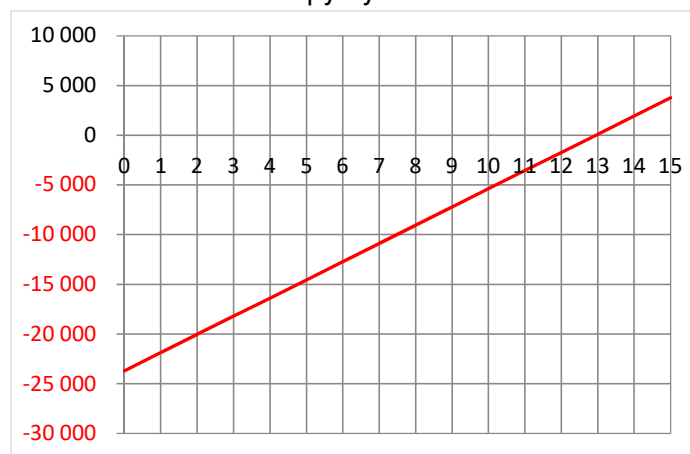
Uzyskane wskaźniki:

Prosty okres zwrotu SPBT	lat	12,94
Bieżąca wartość netto NPV dla okresu 15 lat wynosi	zł	-1.604
Wewnętrzna stopa zwrotu IRR dla okresu 15 lat wynosi		1,9%



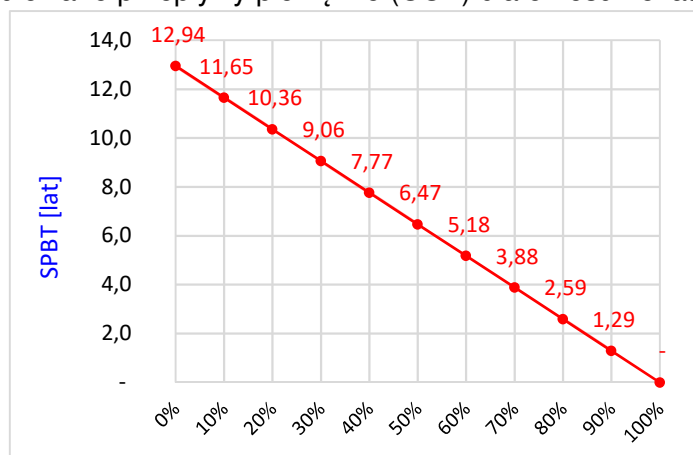
Rys. 10

Zależność NPV od stopy dyskonta



Rys. 11

Skumulowane przepływy pieniężne (CCP) dla okresu 15 lat



Rys. 12

SPBT w funkcji wysokości dotacji

Żeby można było uznać inwestycję za opłacalną powinny być spełnione trzy warunki:

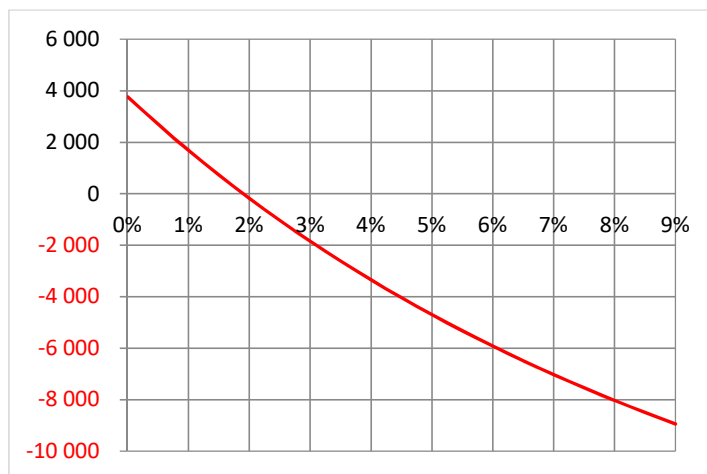
- prosty okres zwrotu SPBT nie powinien być dłuższy niż 7 lat;
- bieżąca wartość netto NPV dla badanego okresu powinna być dodatnia (możliwie duża);
- wewnętrzna stopa zwrotu IRR dla badanego okresu powinna być większa od stopy dyskonta.

Ponieważ w naszym przypadku żaden ze wskaźników nie jest spełniony inwestycję bez dotacji należy uznać za nieopłacalną.

Przy dotacji 50% uzyskamy następujące wskaźniki:

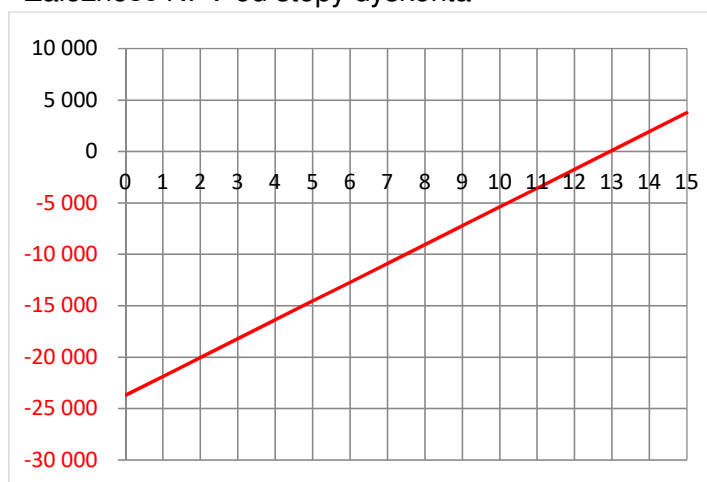
Prosty okres zwrotu SPBT	lat	6,47
Bieżąca wartość netto NPV dla okresu 15 lat wynosi	zł	10.246
Wewnętrzna stopa zwrotu IRR dla okresu 15 lat wynosi		12,97%

Należy zwrócić uwagę, że wysokość dotacji wynosi w tym przypadku **11.850 zł.**, a koszt wykonania studium wykonalności i wniosku o dotację do RPO jest niewiele niższy od dotacji.



Rys. 13

Zależność NPV od stopy dyskonta



Rys. 14

Skumulowane przepływy pieniężne (CCP) dla okresu 15 lat

Po uzyskaniu dotacji w wysokości 50% kosztów netto inwestycja staje się dla inwestora opłacalna.

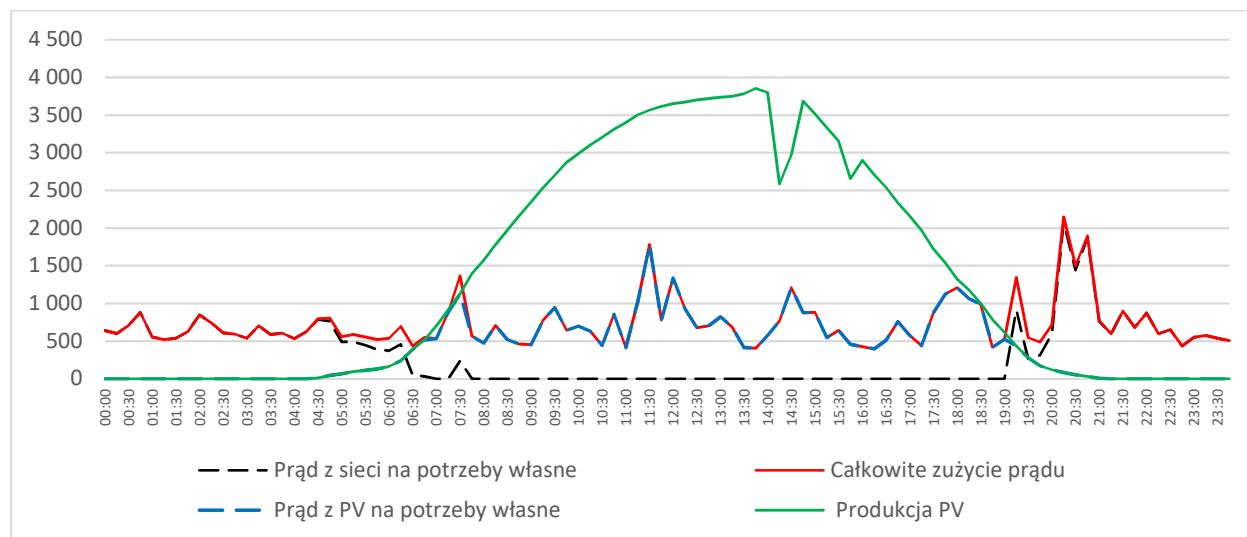
Jeśli jednak do kosztów inwestycji po uwzględnieniu dotacji dodamy koszt dokumentacji to per saldo wychodzimy na to samo co bez dotacji.

Wielkość instalacji fotowoltaicznej

Często jedynym kryterium określenia wielkości instalacji fotowoltaicznej jest powierzchnia dachu lub placu, na którym instalacja ma być zamontowana.

Nasuwa się więc pytanie jak się ma wielkość instalacji PV do jej efektywności ekonomicznej. Czy można instalację przewymiarować lub czy warto robić instalacje małe, wręcz symboliczne.

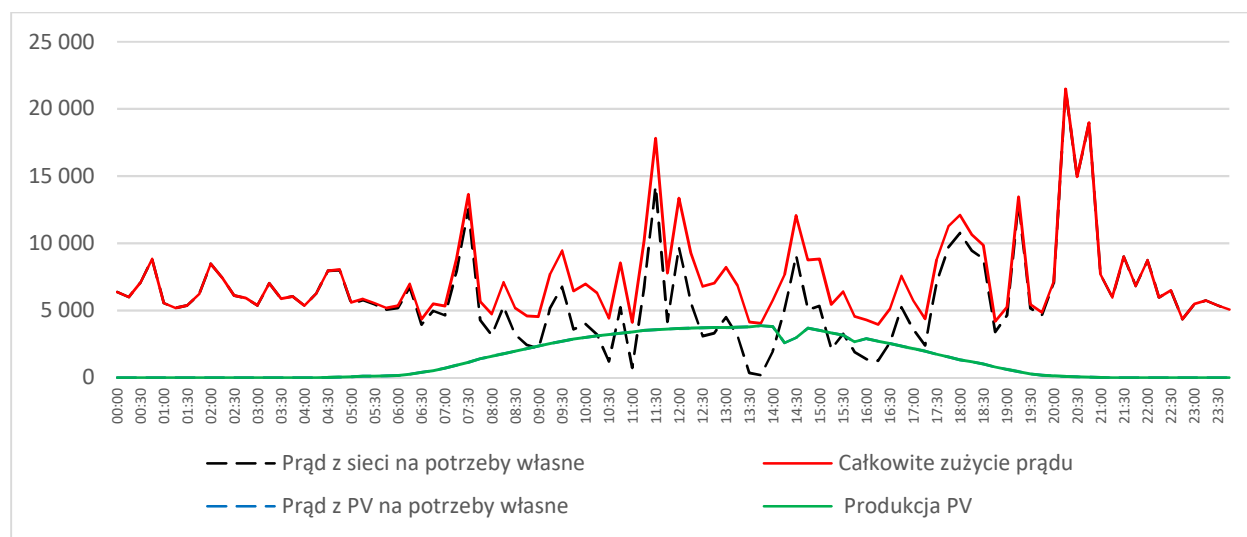
Dla omawianego powyżej wybranego dnia dokonamy określenia współczynnika samowystarczalności oraz procentowego wykorzystania prądu z instalacji PV, zakładając jednakowy profil zużycia prądu ale różniący się skalą. Uzyskane wielkości liczbowe różnią się nieznacznie od pokazanych na rys. 7 i 8 gdyż występują różnice w zaokrągleniach w Sunny Portalu i dostępnych tabelach.



Rys. 15 Zużycie prądu w wybranym dniu oraz wykorzystanie prądu z PV

W analizowanym dniu współczynnik samowystarczalności wynosił ok. **56%**, a procent wykorzystania prądu z PV na potrzeby własne w danym dniu wynosił ok. **30%**.

Jak wyglądałby powyższy wykres, gdyby dla tej samej instalacji 4,5 kW_p profil energetyczny byłby dziesięciokrotnie wyższy?



Rys. 16 Zużycie prądu oraz wykorzystanie prądu z PV dla odbiornika 10 razy większego

W analizowanym dniu współczynnik samowystarczalności wynosił ok. **19%**, a procent wykorzystania prądu z PV na potrzeby własne w danym dniu wynosił **100%**.

Czyli, przy dużym poborze prądu 19% zapewni instalacja PV, ale a to całość wytworzonego w PV prądu będzie wykorzystana na potrzeby własne.

Na tym przykładzie nie można jeszcze wyrokować o efektywności ekonomicznej instalacji PV w całym roku. Sytuacja byłaby inna gdybyśmy dysponowali pomiarami 15 minutowymi zużycia prądu w minionym roku. Dysponując takimi pomiarami można by było dokonać pewnej optymalizacji instalacji PV.

Wnioski końcowe

Należy zwrócić uwagę na uzysk energii elektrycznej otrzymanej w programie PV*Sol, który wynosi **4.222 kWh/rok** oraz rzeczywisty uzysk energii w roku bazowym, który wynosi **4.276 kWh/rok**. Czyli, że rzeczywisty uzysk energii jest o **1,3%** wyższy niż to wynika z programu PV*Sol.

Z analizy opłacalności domowej instalacji PV z uwzględnieniem systemu prosumenta wynika, że wyliczony prosty okres zwrotu poniesionych nakładów wynoszący **12,94 lat** jest dłuższy od okresu zwrotu obliczonego z danych PV*Sol, który wynosi **11,23 lat**.

Różnica wynika ze współczynnika korekcji w systemie prosumenta oraz kosztów wynikających z taryfy prądu.

Jeśli jednak przyjąć, że procentowy poziom wykorzystania prądu z PV na potrzeby własne wynosi w rzeczywistej mojej instalacji 50% to **bez systemu prosumenta okres zwrotu poniesionych nakładów wynosi dla przypadku bez dotacji 22,5 lata** (rys. 4).

Po przeprowadzeniu powyższej analizy efektywności ekonomicznej domowej instalacji fotowoltaicznej pojawia się zasadnicza wątpliwość – czy istotnie uzyskanie dotacji spowodowałoby, że inwestycja stałaby się opłacalna?

Od czasu, gdy w Polsce pojawiły się unijne dotacje nastąpiła ogromna zmiana w mentalności inwestorów – wszyscy liczą na dotacje. Bez dotacji nie ma inwestycji. O ile zasadne jest dofinansowanie w formie dotacji inwestycji w infrastrukturę publiczną to stosowanie dotacji dla inwestorów indywidualnych na spełnianie ich fanaberii budzi moje wątpliwości.

Zauważmy, że uzyskanie dotacji przez prosumenta wiąże się także z kosztami na opracowanie studium wykonalności i wniosku. Często koszt takiej dokumentacji jest porównywalny z wysokością dotacji, więc jaki to ma sens?

Lepszym i sprawiedliwszym rozwiązaniem byłoby płacenie prosumentowi za wprowadzone do sieci nadwyżki prądu. Co przy zachowaniu odpowiednich proporcji cenowych mogłoby stymulować prosumenta do oszczędności prądu zużywanego na potrzeby własne gdyż sprzedaż nadwyżek prądu do sieci byłaby bardziej opłacalna.

Ale to już zaczynają się rozważania polityczne, a tym się nie zajmujemy.