

# Magazyn off-grid. Oszacowanie wymaganej pojemności dla odbiorcy indywidualnego.

**Grzegorz Kwiecień**

Osoba prywatna, nie reprezentująca żadnej instytucji,  
mgr inż. elektroenergetyki z doświadczeniem  
w zakresie eksploatacji elektrociepłowni

**Streszczenie:** w pracy oszacowano wymaganą pojemność bateryjnego magazynu energii elektrycznej dla odbiorcy indywidualnego z zapotrzebowaniem 1000 kWh/a, przy założeniu posiadania fotowoltaiki wyłącznie na własne potrzeby.

**Summary:** the study estimated the required capacity of battery electricity storage for an individual customer with a demand of 1000 kWh/a, assuming that photovoltaics were used exclusively for their own needs.

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, magazyn off-grid

**Tags:** photovoltaics, off grid storage

## 1. Wstęp.

Od czasów rewolucji francuskiej wiadomo, że w miarę postępu rewolucji rewolucjoniści się radykalizują i każde następne pokolenie rewolucjonistów, jeśli nawet w miarę humanitarnie nie ścina głów poprzednikom, to jednak formułuje postulaty coraz to bardziej radykalne. Najpierw na wynalezienie magazynowania energii elektrycznej mieliśmy poczekać do roku 2050, potem do 2035, teraz po prostu okazuje się, że magazyny już dawno wynaleziono i „spełniają one istotną rolę w systemie elektroenergetycznym”. Niestety póki co, takie jest tylko nasze marzenie. Wykażemy zatem, że dotychczas oferowane pojemności magazynowe mają znaczenie marginalne.

## 2. Literatura.

W niniejszym opracowaniu będą prowadzone badania na poziomie odbiorcy indywidualnego. Dla szerszego oglądu autor poleca swoje publikacje dostępne między innymi na portalu emp.slask.pl. W szczególności praca [1] *Wodór. Krytyka idei zastosowania* zajmuje się rozważaniami w makro skali, praca [2] *Nieprawidłowości w opisie OZE* jest poświęcona sofistomatowi „darmowej” energii odnawialnej, a praca [3] *Pompa ciepła zasilana fotowoltaiką* zajmuje się ustaleniem wymaganej pojemności magazynu dla układu fotowoltaiki i pompy ciepła dla odbiorcy indywidualnego.

## 3. Materiały i metody badań

### Założenia

Dla celów symulacji założono zapotrzebowanie 1000 kWh/a. Jest to, jak na współczesne standardy zapotrzebowanie małe, odpowiadające zużyciu trzyosobowej rodziny w budynku wielomieszkalnym, tylko na oświetlenie i RTV bez ogrzewania i cwu. Założono tym samym stałe zapotrzebowanie średnie 0,114 kW. Jest to ze strony autora znaczne uproszczenie. Jednocześnie 1000 kWh to wielkość dająca się łatwo przeskalować wedle potrzeb, tylko

gdybyśmy chcieli uwzględnić potrzeby grzewcze, to oczywiście nie będą one rozłożone równomiernie w ciągu roku. (Tym zajmuje się [3]).

Założono godzinowy, chronologiczny wykres generacji fotowoltaicznej, jak dla Polski w roku 2023, tylko przeskalowano go do potrzeb niniejszej symulacji. Również jest to uproszczenie, ponieważ w skali kraju osiągi fotowoltaiki się uśredniają, tymczasem balkon potencjalnego prosumenta może być skierowany tylko w jedną, nie zawsze korzystną stronę.

Przyjęto następujący, niżej opisany algorytm symulacji.

**nadwyżka = generacja – zapotrzebowanie**

**Jeśli nadwyżka jest dodatnia**, to po danym kroku obliczeniowym

**zapas = zapas + 0,96 \* nadwyżka**

**Jeśli nadwyżka jest ujemna**, to po danym kroku obliczeniowym

**zapas = zapas + nadwyżka / 0,96**

Oznacza to, że w magazynie znajdzie się 96 % nadwyżki, a straty 4 % przypisano procesowi ładowania i połowie procesu przechowywania. Przy poborze energii, dla uzyskania właściwego pokrycia zapotrzebowania z magazynu musi być pobrana energia większa, na pokrycie strat procesu rozładowania, stąd dzielimy przez 0,96.

Podany algorytm jest uniwersalny, czytelnik może dla procesu ładowania podstawić np. sprawność elektrolizera 65 %, a dla procesu rozładowania sprawność elektrowni gazowej spalającej wodór 60 %. Może też powtórzyć rozumowanie przy innej konfiguracji układu bateria-falownik-PV.

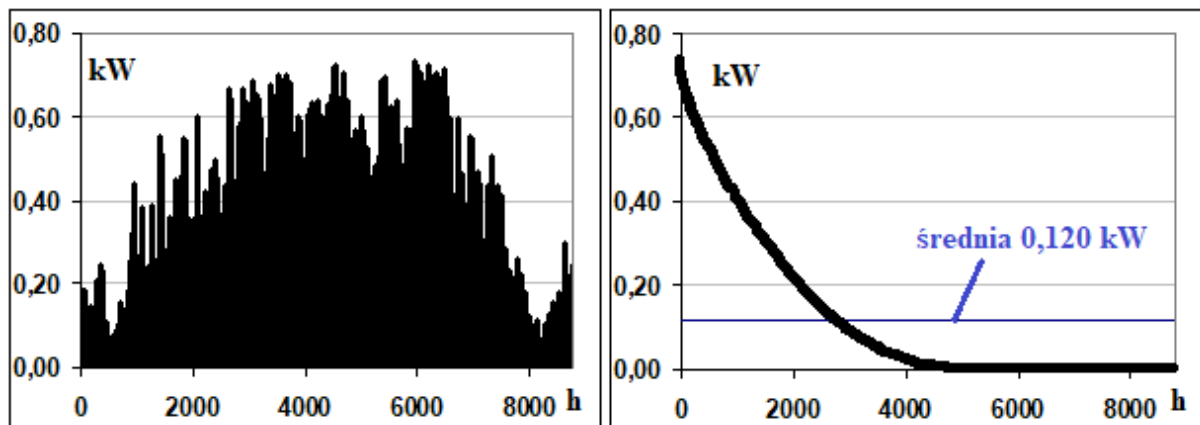
Przykładowo w Excelu algorytm przyjmie postać

=JEŻELI(nadwyżka>=0 ; zapas(n-1) +0,96\*nadwyżka ; zapas(n-1)+nadwyżka/0,96),  
gdzie zamiast słów „nadwyżka” lub „zapas” należy wpisać numery komórek z właściwych kolumn.

Dane źródłowe odnośnie generacji fotowoltaicznej mogą być nieco skażone procesem dynamicznej rozbudowy fotowoltaiki w roku 2023.

## Przebiegi symulacji

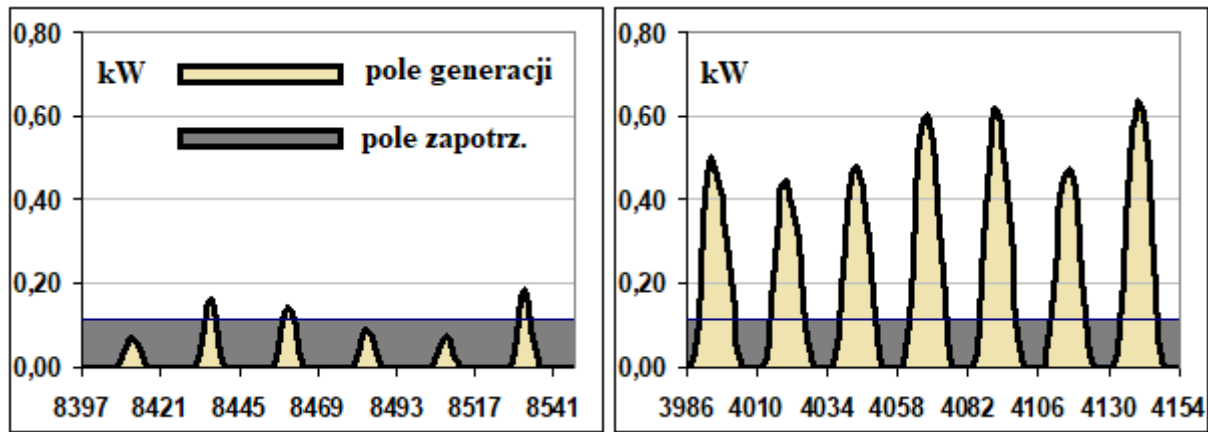
Rys.1. Chronologiczny i uporządkowany wykres generacji fotowoltaicznej o mocy zapewniającej pokrycie zapotrzebowania 1000 kWh/a



Przebiegi generacji i zapotrzebowania w skali rocznej na wykresach chronologicznym i uporządkowanym pokazano na rys.1. W przypadku wykresów chronologicznych zbyt mała szerokość wykresów rocznych uniemożliwia zrozumienie działania instalacji. Dlatego na rysunku 2 pokazuje się przebiegi generacji i zapotrzebowania chronologicznie, ale na skali rozciągniętej dla wybranych tygodni. Są to tygodnie od 16 grudnia 2023 i od 16 czerwca 2023.

Kolorem szarym obrazuje się pole zapotrzebowania, kolorem żółtym pole generacji.

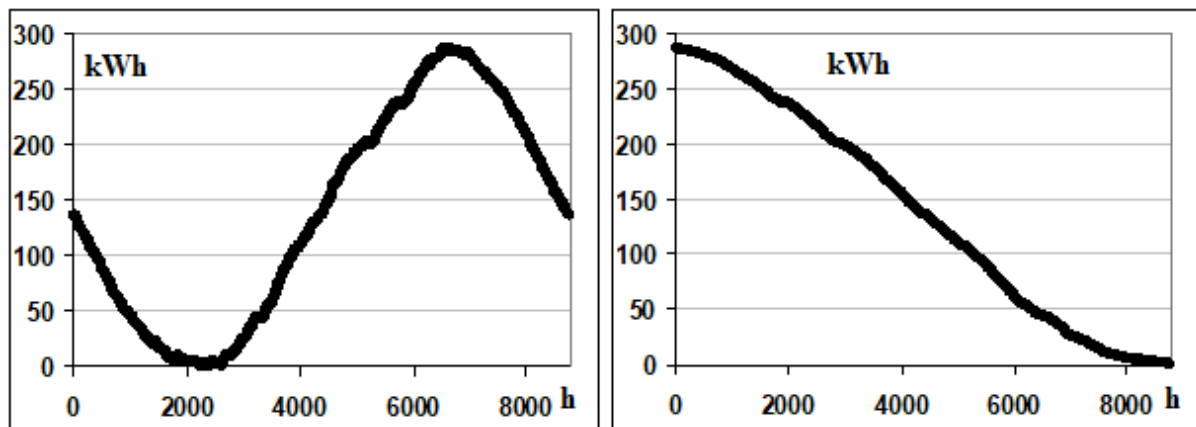
Rys.2. Chronologiczne przebiegi generacji fotowoltaicznej i zapotrzebowania dla odbiorcy off-grid z rocznym zapotrzebowaniem 1000 kWh/a.



Uwagi: po lewej dla grudnia 2023, po prawej dla czerwca 2023.

Jako wynik rozważań, na rys.3 pokazuje się chronologiczne i uporządkowane wykresy wymaganego zapasu magazynowego.

Rys.3. Chronologiczne i uporządkowane wykresy wymaganego zapasu magazynowego dla odbiorcy off-grid z rocznym zapotrzebowaniem 1000 kWh/a.



#### 4. Wyniki i dyskusja.

Wyniki symulacji przedstawia się w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki symulacji pracy w pełni odnawialnej i zrównoważonej instalacji indywidualnej dla odbiorcy 1000 kWh/a zasilanego własną fotowoltaiką i posiadającego magazyn zapewniający pełną niezależność energetyczną.

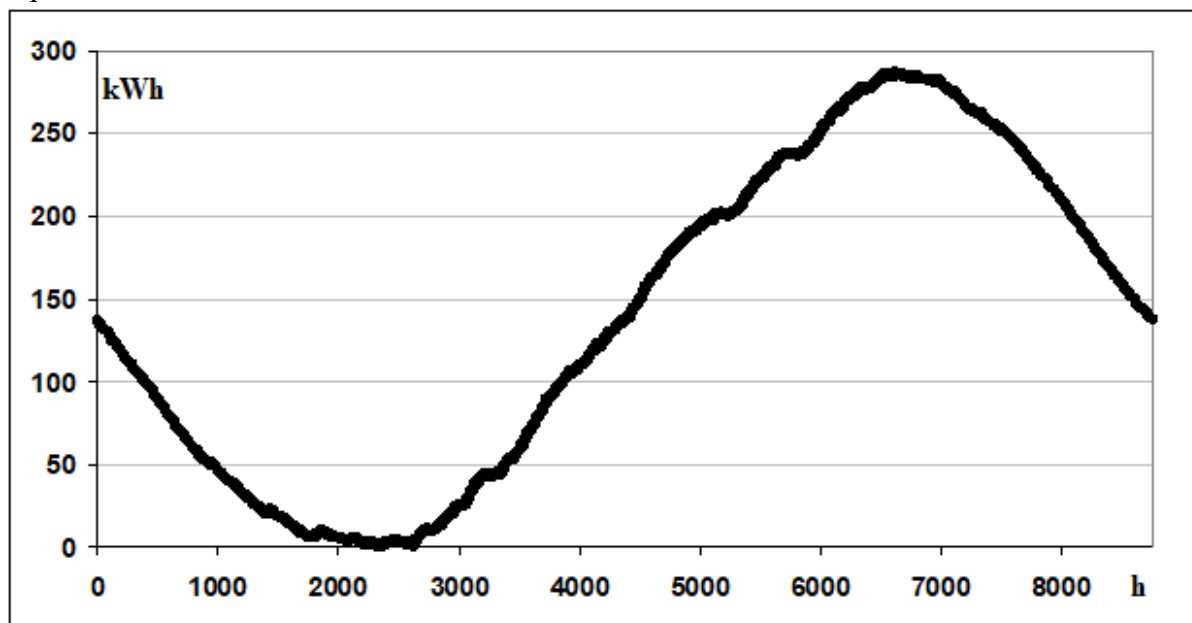
	Max kW	Min kW	Średnia kW	Rocznie kWh
Zapotrzebowanie	0,114	0,114	0,114	1000
Generacja PV	0,737	0,000	0,120	1051
	Max kWh	Min kWh		
Zapas magazynowy	287	0		

Dla rocznego zapotrzebowania 1000 kWh (średnio 0,114 kW) rozwiązaniem zadania pod nazwą „pełna niezależność energetyczna” są:

- instalacja fotowoltaiczna zdolna generować szczytowo 0,737 kW,
- magazyn bateryjny o pojemności 287 kWh.

Dla szybkiego oszacowania poprawności otrzymanych wyników proszę porównać roczne zapotrzebowanie 1000 kWh z wymaganą pojemnością magazynu 287 kWh. Zauważmy, że zgodnie z założeniami zdecydowaną większość zapotrzebowania pokryto generacją bezpośrednio. Przez magazyn przerzucono tylko nadwyżkę. Kluczowym jest tutaj zrozumienie przebiegu wymaganego zapasu magazynowego. Pokazano go już na rys.3 po lewej, a na rys. 4 powtarzamy go w większej skali dla wygody czytelnika.

Rys.4 Chronologiczny przebieg zapasu magazynowego odbiorcy off-grid z rocznym zapotrzebowaniem 1000 kWh/a.



**Bilans fotowoltaiki jest ujemny dokładnie przez pół roku.** Czy powinniśmy być tym ustaleniem zaskoczeni? Przez pół roku jest noc. W skali kraju nocne zapotrzebowanie na energię wynosi 46 % zapotrzebowania rocznego. **Dla zużycia średnio 0,114 kW magazyn o pojemności 287 kWh jest magazynem 2511 godzinnym.** (Dla uśrednienia półrocznego niedoboru i pokrycia strat gospodarki magazynowej jest potrzebny magazyn o pojemności

niewiele ponad ćwierć roku).

Autor, z braku danych założył stałe, średnie zużycie energii – czy podłożenie wykresów rzeczywistych da poprawę wyniku? Należy sądzić, że nie. To w zimie siedzimy w domu dłużej i dłużej korzystamy z oświetlenia i RTV, to latem dłużej przebywamy na świeżym powietrzu. W rzeczywistości konieczne będzie zgromadzenie większych zapasów z lata na zimę.

Średnia generacja fotowoltaiczna w tej symulacji wyniosła 0,120 kW (zapotrzebowanie 0,114 kW) – takie autor przyjął założenia, co do sprawności procesu prąd-bateria-prąd. Autor nie znalazł wystarczająco pewnych publikacji podających dokładne straty w baterijnym procesie magazynowania długookresowego. Każdy przepływ prądu wywołuje straty ciepła do otoczenia, a przy magazynowaniu półrocznym na pewno jakieś znaczenie musi mieć upływność. Nowoczesne magazyny bateryjne mają sprawność znacznie wyższą, niżli wszystkie inne możliwe procesy magazynowania energii elektrycznej (woda, powietrze, wodór), choć oczywiście żaden z nich nie może osiągnąć takiej efektywności, jak procesy magazynowania paliw kopalnych. (Dla przeładowania strumienia węgla o mocy chemicznej rzędu tysięcy MW potrzebny jest taśmociąg o mocy kilkunastu kW). Wracając do magazynów bateryjnych musimy powiedzieć, że na sprawność procesu prąd-bateria-prąd może rzutować sprawność ładowarek, która przypadku mikro urządzeń jest skrajnie niska. W przypadku instalacji wielkoskalowych na pewno jest lepsza, dane cząstkowe są publikowane, niemniej, chociażby dlatego, że sprawność wielu koniecznych tutaj podukładów jest zależna od stopnia obciążenia, przeto uważamy, że kompleksowych badań rocznej sprawności układu nie ma.

## 5. Wnioski.

Dla środowisk pro-odnawialnych symptomatyczne wydaje się być całkowite niezrozumienie skali potrzeb generowanych przez concept systemu w pełni zrównoważonego opartego o wiatraki, fotowoltaikę i magazynowanie energii elektrycznej. Nie rozumiana jest ogromna dysproporcja między chwilowymi mocami źródeł OZE, a rocznymi osiągnięciami produkcyjnymi. Bez mała dwie dekady temu postawiono twórcom systemu OZE dwa zarzuty, są to zarzut niskich wskaźników wykorzystania mocy zainstalowanej źródeł OZE oraz zarzut niemożności magazynowania energii elektrycznej i... od tego czasu nic się nie zmieniło. Takich magazynów, które byłyby jednocześnie odpowiednio pojemne, sprawne i tanie nie ma. Nawet nie bardzo wynika to z niemożności wynalezienia jakiegoś sposobu na magazynowanie – naukowcy jak najbardziej spełniają tu swoje zadania. Podstawową przeszkodą jest wymieniana po wielokroć dysproporcja między podażą OZE, a potrzebami systemu. Wynika to z natury rzeczy, jest to dane od Boga (wersja dla wierzących) lub przez naukę (wersja dla ateistów). Natury generacji odnawialnej poprawić się nie da, wieje przez 1/3 roku, a przez pół roku jest noc. Te dane były 20 lat temu oczywiście znane nauce, geografom, astronomom, energetykom, ale przecież i każdemu z nas. OZE uruchomiono wbrew nauce, a zdumiewające jest, że udało się do niego przekonać dużą część społeczeństwa na zasadach nie nauki, a wiary w przyszłe znalezienie rozwiązania.

**Przy założeniu, że tworzymy w pełni odnawialnego i niezależnego odbiorcę zasilanego fotowoltaiką, dla średniego zapotrzebowania 0,114 kW konieczny jest magazyn 287 kWh.** Autor nalega, aby tę dysproporcję zapamiętać.

W trakcie dyskusji na forach obrońcy OZE natychmiast próbują znaleźć rozwiązanie problemu magazynowania: „to w takim razie dajmy większe panele i wystarczą mniejsze magazyny”. To nie prawda. Większy, niż potrzeba panel oznacza zamiar exportu nadwyżek energii – to już nie jest układ off-grid. To już nie jest system w pełni zrównoważony, zbilansowany, etc. W takim razie przyznajemy, że te „złe sieci” jednak są do czegoś potrzebne, a konkretnie do zregulowywania i stabilizacji nieautoryzowanych wpływów nadwyżek mocy. Ale możemy takie samo rozumowanie powtórzyć w odniesieniu do całego regionu: żeby mieć zbyt dużą moc źródeł umożliwiającą uniknięcie rozwiązania problemu magazynowania trzeba mieć możliwość eksportu nadwyżek, albo trzeba je będzie wyłączać. Możemy powtórzyć rozumowanie w skali całego kraju, a tu okaże się, że takie rozwiązanie w końcu nie będzie możliwe. Owszem, taki kraj, jak Dania jest w sensie elektrycznym 14x mniejszy od Niemiec – zatem bez żadnych trudności może Niemcy traktować, jak bufor. W rzeczywistości duńskiego cudu energetyki odnawialnej, generującej wymiany do 80 % mocy powtórzyć na większą skalę się nie da. Zarówno w przypadku Polski, jak i 3x większych Niemiec, aby zbilansować nadmiar OZE bez wynalezienia magazynów wielomiesięcznych musielibyśmy dokonywać wymiany z cywilizacją pozaziemską.

Bilans energetyczny stawia swoje wymogi dość bezlitośnie. W przypadku bilansu ekonomicznego pewne dysproporcje można ukryć, np. najczęściej spotykanym, bardzo niemiłym sposobem jest pokrywanie niezbilansowania inflacją. W przypadku instalacji energetycznych nadmiar mocy zostanie brutalnie wyłączony przez operatora lub zabezpieczenia. Na dzień dzisiejszy ludzkość jak najbardziej zna techniczne sposoby na konwersję energii z postaci elektrycznej do magazynowej i na odwrót. Nie znane są natomiast sposoby, aby czynić to na skalę wymaganą przez źródła odnawialne pogodowo zależne, co wynika ze słabości oferty tychże źródeł. Błąd tkwi w założeniach.