



# Domowa elektrownia fotowoltaiczna wspierana przez Raspberry Pi

**Opublikowany przez nas projekt lodówki na piwo pokazuje, jak wykorzystać Raspberry Pi do połączenia z serwisem internetowym, który ułatwia prezentowanie danych z urządzeń IoT użytkownikom. W tym projekcie pokazujemy, że można przyjąć zupełnie odwrotne podejście i użyć Raspberry Pi do realizacji internetowego panelu użytkownika (HMI). W tej aplikacji służy on do sterowania domową elektrownią słoneczną, która sama w sobie stanowi bardzo ciekawy projekt.**

Omawiany projekt został przygotowany przez Michela Kuenemanna, mieszkającego w pobliżu Strasburga. Celem autora było zbudowanie domowej elektrowni słonecznej, która mogłaby jak najbardziej uniezależnić go od sieci elektrycznej – przynajmniej na okres lata, kiedy to dostępność słońca jest na tyle duża, że ma szansę w pełni zaspokoić potrzeby domu na elektryczność. W praktyce – jak wynikało z obliczeń autora, przeprowadzonych 2,5 roku temu – system powinien być w stanie dostarczyć 80% energii potrzebnej w ciągu roku, a w tym 100% w czerwcu, lipcu i sierpniu. Autor uwzględnił przy tym, że nadmiar energii z okresu letniego będzie przechowywany na zimę, co wymagało zastosowania bardzo pojemnych akumulatorów. Teoretycznie całość mogłaby działać bez zdalnego panelu sterowania – autonomicznie, bez nadzoru człowieka, ale gdy projektuje się tego typu aplikację i wiele rzeczy ocenia na podstawie luźnych szacunków, możliwość wnikania

w szczegóły uzyskanych rezultatów jest bardzo interesująca, a ponadto pozwala na znalezienie ewentualnych niedoskonałości instalacji i jej usprawnienie.

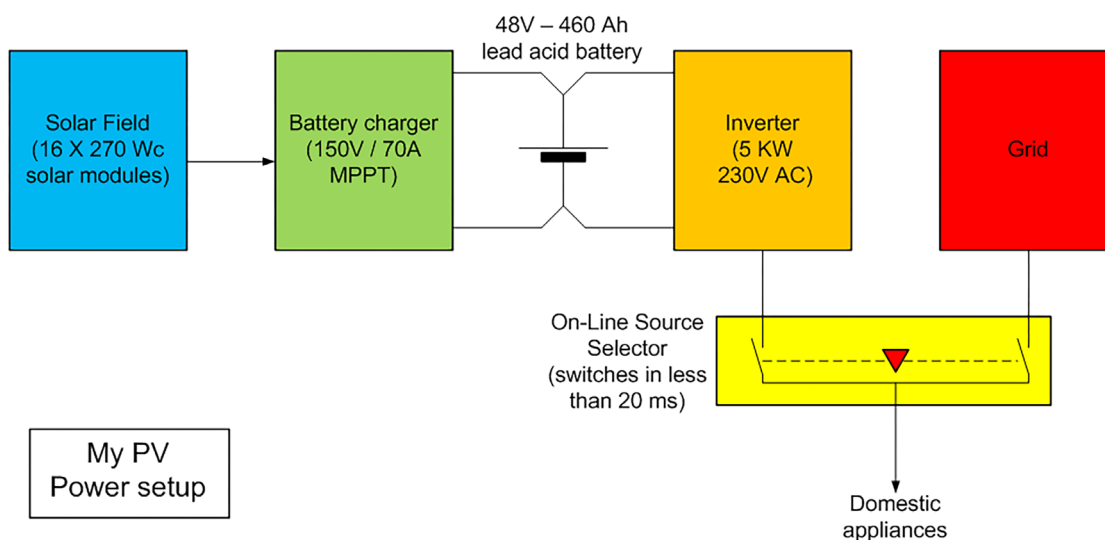
## Główne elementy instalacji elektrycznej

Podstawowym elementem zaprojektowanej instalacji są panele słoneczne. Autor wybrał 16 paneli o maksymalnej mocy 4300 W. Napięcie pochodzące z paneli to 120 V, a wybrane przez niego akumulatory są połączone w pakiety przystosowane do napięcia 48 V, przy czym są w stanie pomieścić 460 Ah, dlatego potrzebne było zastosowanie przetwornicy ładującej akumulatory. Napięcie przemienne generowane jest za pomocą inwertera podłączonego do akumulatorów oraz do przełącznika. Przełącznik jest także podłączony do sieci energetycznej i skonstruowany tak, by automatycznie przełączał się pomiędzy tymi dwoma źródłami, ze zwłoką nie większą niż 20 ms. Cała normalna domowa

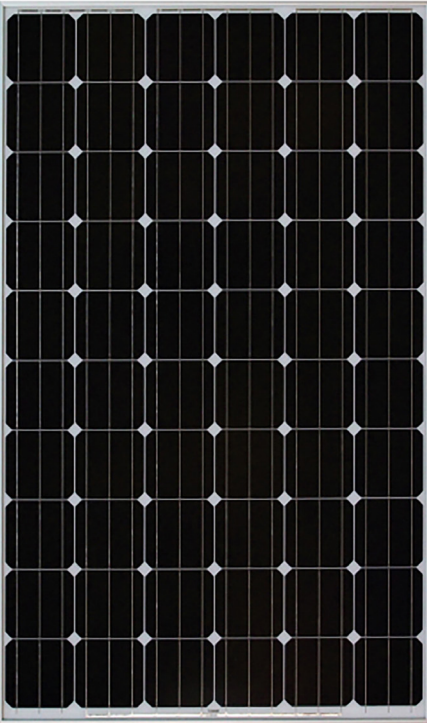
instalacja elektryczna została podłączona do tego przełącznika.

Autor wybrał panele Yingli Panda 270 Wc (model YL270C-30b), z których każdy składa się z 60 ogniw monokrystalicznych. Wymiary tych paneli to 164×99×4 cm, a ich sprawność dochodzi do 17,2%. Choć 17% wydaje się małą liczbą, trzeba mieć na uwadze fakt, że w bardzo słoneczny dzień, natężenie światła padającego na ziemię może – przy optymalnych warunkach – przekładać się na 1 kW/m<sup>2</sup>. Biorąc pod uwagę łączną powierzchnię 16 paneli – tj. niecałe 26 m<sup>2</sup>, teoretycznie łączna uzyskiwana moc w taki dzień mogłaby wynieść ok. 26 kW. W rzeczywistości jednak panele są w stanie dostarczyć maksymalnie tylko 270 W każdy, co i tak jest wartością rzadko osiąganą w trakcie ich działania.

Zastosowana przetwornica stałoprądowa to model Victron Blue Solar System Charger 170/70 MPPT – zautomatyzowana ładowarka o znamionowym napięciu wejściowym 150 V i prądzie wyjściowym 70 A. Urządzenie



Rysunek 1. Schemat blokowy instalacji elektrycznej



Fotografia 2. Użyte panele fotowoltaiczne

to jest przystosowane od pracy z ogniwami fotowoltaicznymi, pracującymi w trybie ciągłym. Stale monitoruje napięcie i prąd na ogniwach, śledząc punkt mocy maksymalnej (MPPT – Maximum Power Point Tracking), co pozwala optymalizować przetwarzanie napięcia i uzyskać mocy.

Akumulatory pozwalają gromadzić ładunek przede wszystkim pod kątem jego użycia prądu w nocy, ale po części także w okresie jesieni, zimy i wiosny – korzystając danego dnia z nadmiaru z dni poprzednich. Pojemność akumulatorów przekłada się na 10 kWh



Fotografia 3. Ładowarka akumulatorów BlueSolar



Fotografia 4. Osiem takich akumulatorów zostało pogrupowanych w 4 pary składające się z dwóch równoległe połączonych jednostek, a następnie pary połączone ze sobą szeregowo

energii. W praktyce, w domu autora wystarcza to na zaspokojenie potrzeb domu przez jeden cały dzień. Autor wybrał akumulatory Vipiemme 12 V 230 Ah. Łącznie użyto 8 akumulatorów zgrupowanych w dwa banki. Główną wadą tych elementów jest ich masa – ważą około pół tony, a ich żywotność jest szacowana na 7 lat.

Inwerter przetwarzający napięcie stałe na przemienne to model Victron Phoenix 48 V/230 V 5 kVA. Pozwala dostarczać stale 5 kW mocy, a w przypadku większego zapotrzebowania nawet 10 kW, z tym że nie dłużej niż przez 5 minut ciągłej pracy z takim obciążeniem. Dzięki temu umożliwiała on zasilanie energią słoneczną nawet takich urządzeń domowych, jak pralki, suszarki, kuchenki i zmywarki. Trzeba jednak mieć na uwadze, że przy obciążeniu 10 kW, prąd pobierany z akumulatorów sięga 200 A.

Istotnym elementem jest przełącznik, który monitoruje stan akumulatorów i przełącza na nie, gdy są w pełni naładowane lub przełącza się na korzystanie z sieci zasilającej, gdy akumulatory zostaną rozładowane. Autor samodzielnie zaprojektował to urządzenie.

### System monitorowania

Teoretycznie opisana powyżej instalacja mogłaby tak po prostu działać, ale ponieważ cały system był dosyć kosztowny i operuje



Fotografia 5. Przetwornica wytwarzająca napięcie przemienne

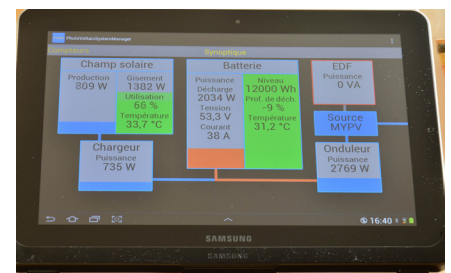


Fotografia 6. Panele zainstalowane na dachu wraz z sygnalizatorem informującym o tym, czy aktualnie wykorzystywana jest energia słoneczna czy sieciowa

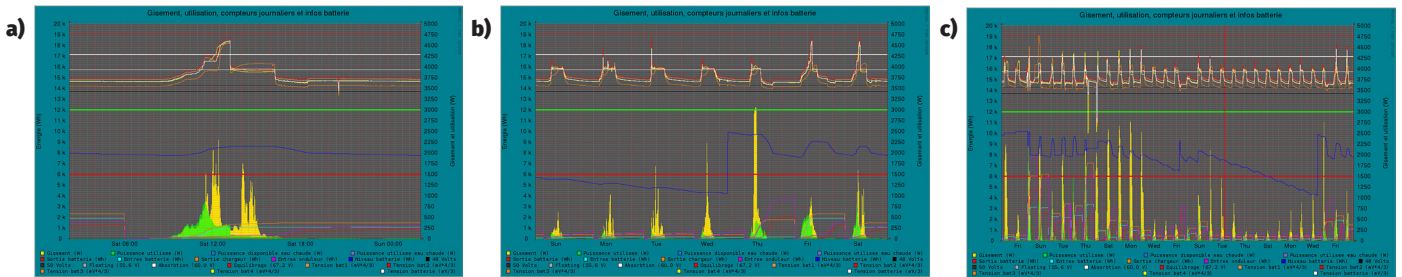
na dużych mocach, wprowadzenie monitoringu parametrów pracy instalacji może okazać się opłacalne. Pozwala ostrzegać o przegrzewaniu się elementów, spadku ich sprawności, starzeniu się i o niepożądanych zjawiskach. Monitoring ułatwia również obserwowanie, czy wykorzystywany prąd pochodzi w danej chwili z sieci elektrycznej, czy z ogniw fotowoltaicznych.

Autor postawił sobie ambitne zadanie monitorowania wszystkich napięć i prądów w systemie. Ponieważ poszczególne podzespoły znajdują się w pewnej odległości od siebie, zastosowanie czujników podłączonych do jednej płytki bezpośrednio zbierającej z nich dane raczej nie wchodziło w grę. Zamiast tego zastosowano wiele niezależnych urządzeń monitorujących, komunikujących się ze sobą za pomocą magistrali CAN z szybkością 500 kb/s.

Pierwszy z modułów monitoruje warunki pracy ogniw fotowoltaicznych. Przede wszystkim za pomocą dodatkowego, miniaturowego panelu fotowoltaicznego mierzy stopień naświetlenia paneli oraz ich temperaturę. Autor wprowadził w module też jedno wyjście, które pozwala wpływać na kolor niewielkiej LEDowej lampki, umieszczonej zaraz obok zestawu paneli (pod panelem kontrolnym – fotografia 6). Jej kolor zależy od tego, czy w danej chwili w domu wykorzystywana jest energia słoneczna, czy pochodząca z sieci elektrycznej.



Fotografia 7. Aplikacja monitorująca uruchomiona na tablecie



Rysunek 8. Wykresy działania systemu w interfejsie WWW hostowanym na Raspberry PI: a) dzienny, b) tygodniowy, c) miesięczny

Drugi moduł monitoruje ogniwa fotowoltaiczne pod kątem ich aktualnych parametrów elektrycznych. 16 paneli zostało połączonych w 4 bloki, a prąd i napięcie z każdego z tych bloków są monitorowane oddzielnie. Ponadto każdy z bloków można odłączyć od instalacji.

Moduł monitoringu akumulatorów wydaje się być najbardziej skomplikowany. Mierzy on napięcia na akumulatorach w czterech punktach, kontroluje prąd przepływający z lub do akumulatorów oraz sprawdza temperaturę ogniw gromadzących ładunek. To właśnie ten układ decyduje, czy prąd w instalacji domowej ma pochodzić z sieci energetycznej czy z ogniw. Reguluje pracę inwertera oraz uruchamia wentylator chłodzący akumulatory, jeśli zajdzie taka potrzeba (komenda do przełącznika jest wysyłana przez magistralę CAN). Włącza także diody LED, informujące w symboliczny sposób o stanie instalacji. Urządzenie to zawiera także moduł Wi-Fi, który służy jako bramka do sieci CAN. Moduł ten opracowano w oparciu o mikrokontroler NXP LPC1769 z rdzeniem Cortex M3, taktowanym zegarem 120 MHz.

Ostatnim elementem systemu monitoringu jest Raspberry PI, który jednak nie korzysta bezpośrednio z magistrali CAN, ale podłączony jest do domowej, lokalnej sieci ethernetowej przewodem. Do sieci tej podłączony jest też poprzez Wi-Fi, moduł monitoringu akumulatorów. Raspberry PI aktywnie korzysta z sieci i bramki Wi-Fi – CAN, by pobierać dane z pozostałych elementów systemu.

### HMI z Raspberry PI

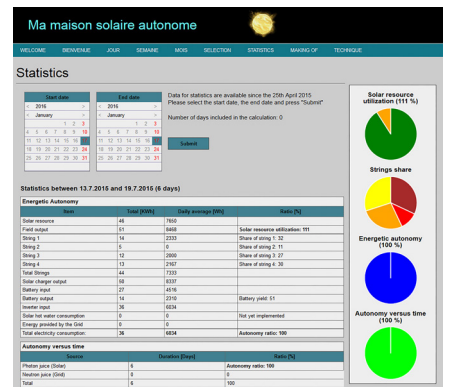
Autor przyjął – wydaje się, że całkiem słuszne założenie – iż wykonanie tradycyjnego interfejsu użytkownika w oparciu o szereg przycisków i diod LED byłoby niewygodne i trudne w aktualizacji. Warto przy tym dodać, że zakładał, że w przyszłości uda mu się usprawnić system, a przede wszystkim zwiększyć pojemność akumulatorów, zmniejszając przy tym ich masę. Dlatego zdecydował się stworzyć nowoczesny interfejs HMI, oparty o m.in. Raspberry PI. Podjął przy tym dwa praktycznie niezależne od siebie kroki: stworzył aplikację na Androida, maksymalnie ułatwiającą kontrolowanie instalacji z tabletu oraz przygotował stronę internetową, z której można korzystać na dowolnym urządzeniu.

Zarówno aplikacja, jak i strona internetowa mogą działać z dowolnego miejsca na świecie, o ile tylko urządzenie na którym są uruchamiane, ma dostęp do Internetu. Aplikacja została napisana w Javie i nie można uruchamiać więcej niż jednej takiej aplikacji jednocześnie.

Raspberry PI zostało natomiast użyte do budowy serwera WWW, w którym prezentowane są dane zbierane i rejestrowane (co minutę) z użyciem narzędzia RRDtool. Skrypty tworzące wykresy zostały przygotowane w Pythonie. Autor użył serwera Lighthttpd, który jest dobrym wyborem w przypadku sprzętu o ograniczonych zasobach. Częściowo dynamiczne działanie strony zrealizował dzięki bibliotece jQuery i skryptom Charts.js, które pozwalają prezentować atrakcyjne wykresy. Do oprogramowania serwera użył też języka PHP.

### Podsumowanie i ocena projektu

Zaprojektowana instalacja całkiem dobrze sprawdza się latem i jest niemal bezużyteczna w zimie. Ta smutna rzeczywistość dotyczy także Polski, gdzie ilość światła dziennego w zimie jest bardzo mała. Latem bywają całe tygodnie, kiedy to system korzysta jedynie ze światła słonecznego. Zapewnia tym samym potrzeby elektryczne 4-osobowej rodziny, w której woda i ogrzewanie mieszkania oraz posiłki przygotowywane są z użyciem gazu. Jedynie elektryczny piekarnik stanowi dodatkowe obciążenie dla instalacji. Niestety, w okresie zimowym



Rysunek 9. Statystyki z jednego z bardziej słonecznych tygodni w lipcu 2015 roku

– np. w styczniu, energia słoneczna wystarcza jedynie na około 10% potrzeb rodziny.

Na pochwałę zasługuje ogólny projekt instalacji elektrycznej, a przede wszystkim system monitoringu, który faktycznie pozwala mierzyć praktycznie wszystkie potrzebne (i niepotrzebne) parametry. Nieco gorzej wypada przygotowany przez autora serwis internetowy, który teoretycznie powinien pozwalać na samodzielne wybieranie, które dane i z jakiego okresu mają być wyświetlone w postaci wykresu, ale mechanizm ten nie działa. Zresztą można go sprawdzić osobiście: dostęp do statystyk omawianej instalacji jest publiczny – wystarczy skorzystać z adresu <http://goo.gl/JGSxAK>. Kod źródłowy aplikacji androidowej i strony internetowej na Raspberry PI można pobrać z tego adresu <https://goo.gl/5Att1c>.

Łącznie system kosztował autora niecałe 13 tysięcy Euro i jest to jedynie cena sprzętu – nie uwzględniono czasu poświęconego na projektowanie i instalację. Przy aktualnym koszcie energii elektrycznej kwota ta powinna się zwrócić w ciągu niecałych 20 lat, ale żywotność akumulatorów szacowana jest tylko na 7-8 lat i nie wiadomo, w jaki sposób będą się starzały, więc trudno dokładnie ocenić czas zwrotu inwestycji. By skorzystać z nadmiarowej energii słonecznej, która nie mieści się już w akumulatorach, autor wpadł na pomysł by rozbudować instalację o moduł ogrzewania wody. Pozwoliłoby to oszczędzić około 100 Euro rocznie na gazie, przy czym koszt tej dodatkowej instalacji wyniósłby około 700 Euro.

**Marcin Karbowiczek, EP**

Tabela 1. Podsumowanie kosztów systemu

Element	Koszt [Euro]
Panele fotowoltaiczne	3 952
Szyny montażowe	1 253
Ładowarka	689
Inwerter	3 041
Akumulatory	2 024
Przewody, bezpieczniki, szafa	1 200
System monitorowania naświetlenia	90
System zarządzania panelami i Raspberry PI	200
System zarządzania akumulatorami	120
Przełącznik źródła napięcia	200
<b>Razem</b>	<b>12 769</b>