

doi:10.15199/48.2022.11.53

Analiza możliwości zarządzania i rozdziału energii elektrycznej, wyprodukowanej w prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej, w budynku z automatyką budynkową

Streszczenie. Energia wyprodukowana w prosumenckich instalacjach fotowoltaicznych jest zużywana bezpośrednio przez urządzenia instalacji domowej tylko w ok.20-30% a pozostała część jest przesyłana do sieci elektroenergetycznej. Przez to sieć energetyczna jest mocno obciążona i występują określone problemy. Istnieje jednak wiele możliwości przesunięcia zużycia energii z okresów np. wieczornych na wcześniejsze godziny i zasilenie urządzeń elektrycznych w chwili dużej produkcji z instalacji fotowoltaicznej. W pracy przedstawiono możliwości zarządzania pracą różnych urządzeń (np. pompy ciepła, ładowarki samochodu elektrycznego) w oparciu o produkcję energii w instalacji prosumenckiej, dzięki czemu możliwe jest lepsze zarządzanie i rozdział wyprodukowanej energii.

Abstract. Only about 20-30% of the energy produced in pro-consumer photovoltaic installations is used directly by home installation devices, and the rest is sent to the electricity grid. As a result, the power grid is heavily loaded and there are specific problems. However, there are many possibilities of shifting energy consumption from periods, e.g. in the evening to earlier hours, and powering electrical devices at the time of high production from a photovoltaic installation. The paper presents the possibilities of managing the operation of various devices (e.g. heat pumps, electric car chargers) based on energy production in a prosumer installation, thanks to which it is possible to better manage and distribute the produced energy. *(Analysis of the possibility of managing and distributing electricity produced in a prosumer photovoltaic installation in a building with building automation)*

Słowa kluczowe: automatyka budynkowa, KNX, instalacja fotowoltaiczna, zarządzanie energią.

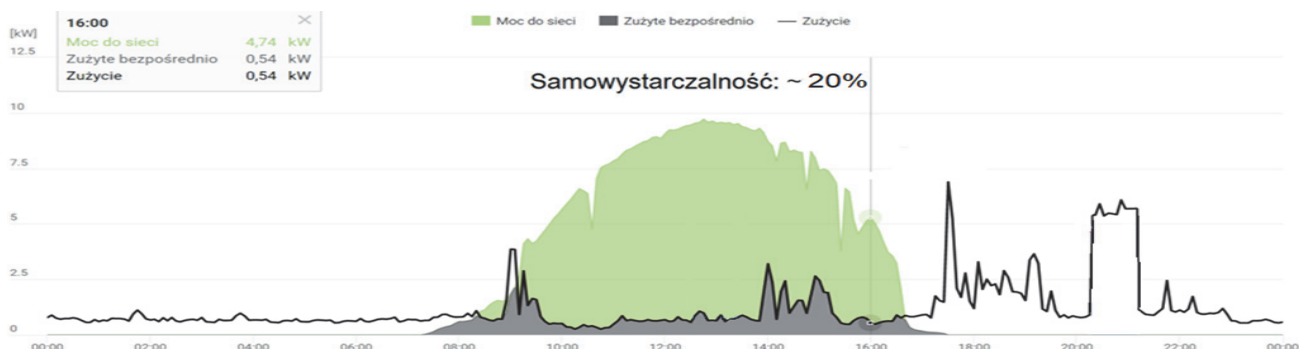
Keywords: building automation, KNX, photovoltaic installation, energy management.

Introduction

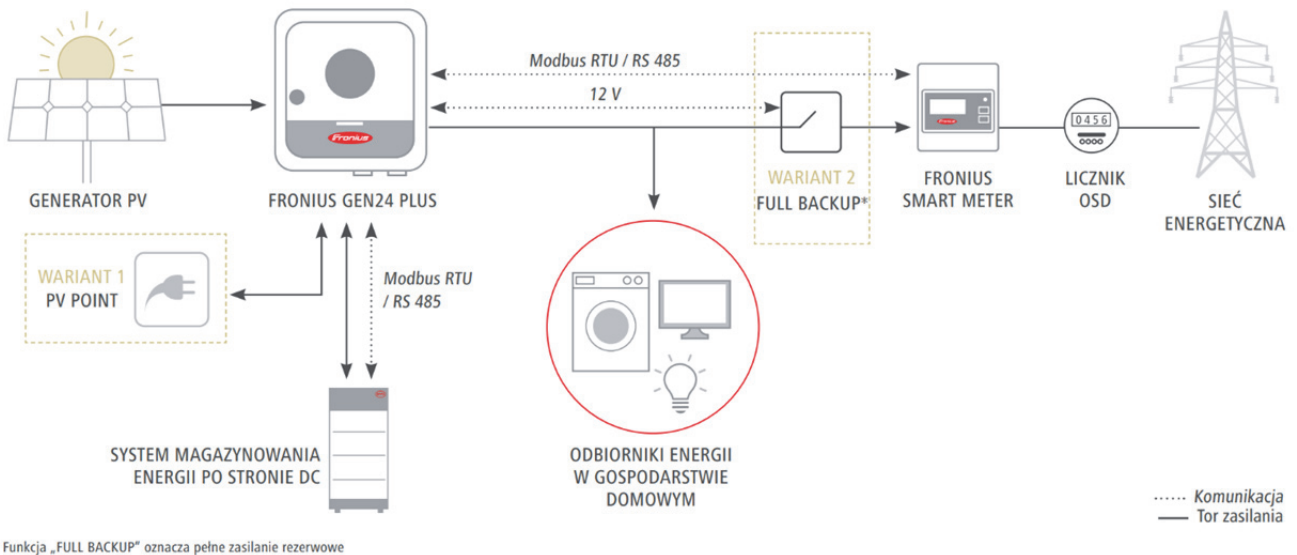
Produkcja energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej (PV), która w ostatnich latach zyskała na popularności, oprócz oczywistych korzyści ekonomicznych i ekologicznych przynosi także pewne problemy. Okres największej produkcji energii nie pokrywa się z okresami zapotrzebowania na nią, przez co występuje konieczność jej magazynowania (rys.1) [1,2]. W myśl przepisów obowiązujących w Polsce przed 1 kwietnia 2022 roku prosument ma zagwarantowaną możliwość przesyłu nadwyżki wygenerowanej energii do sieci elektroenergetycznej (el-en) i późniejszego jej odbioru w 80 lub 70 procentach (w zależności od mocy instalacji). Po 1 kwietnia zasada opustów została zastąpiona metodą net-billing, na podstawie której prosument może odsprzedać nadwyżkę energii. W początkowym okresie obowiązywania nowego systemu rozliczeń będzie obowiązywał jeszcze przejściowy system opustów (01.04-30.06.2022), następnie net-billing w oparciu o ceny miesięczne (01.07.2022-30.06.2024), a po 01.07.2024 r. sprzedaż będzie

następowała w oparciu o ceny godzinowe. Nowe rozwiązania mają na celu skłonienie prosumentów do samodzielnego magazynowania energii lub zmiany własnego profilu zużycia, aby odciążyc sieć el-en [3-5]. Z pomocą w realizacji tego zadania może przyjść system zarządzania energią w budynku wykonany w oparciu o instalację inteligentną. Dzięki systemom automatyki budynkowej możliwy jest monitoring produkcji i zużycia energii elektrycznej oraz zarządzanie różnymi urządzeniami w taki sposób, aby zostały uruchomione w chwilach większej produkcji

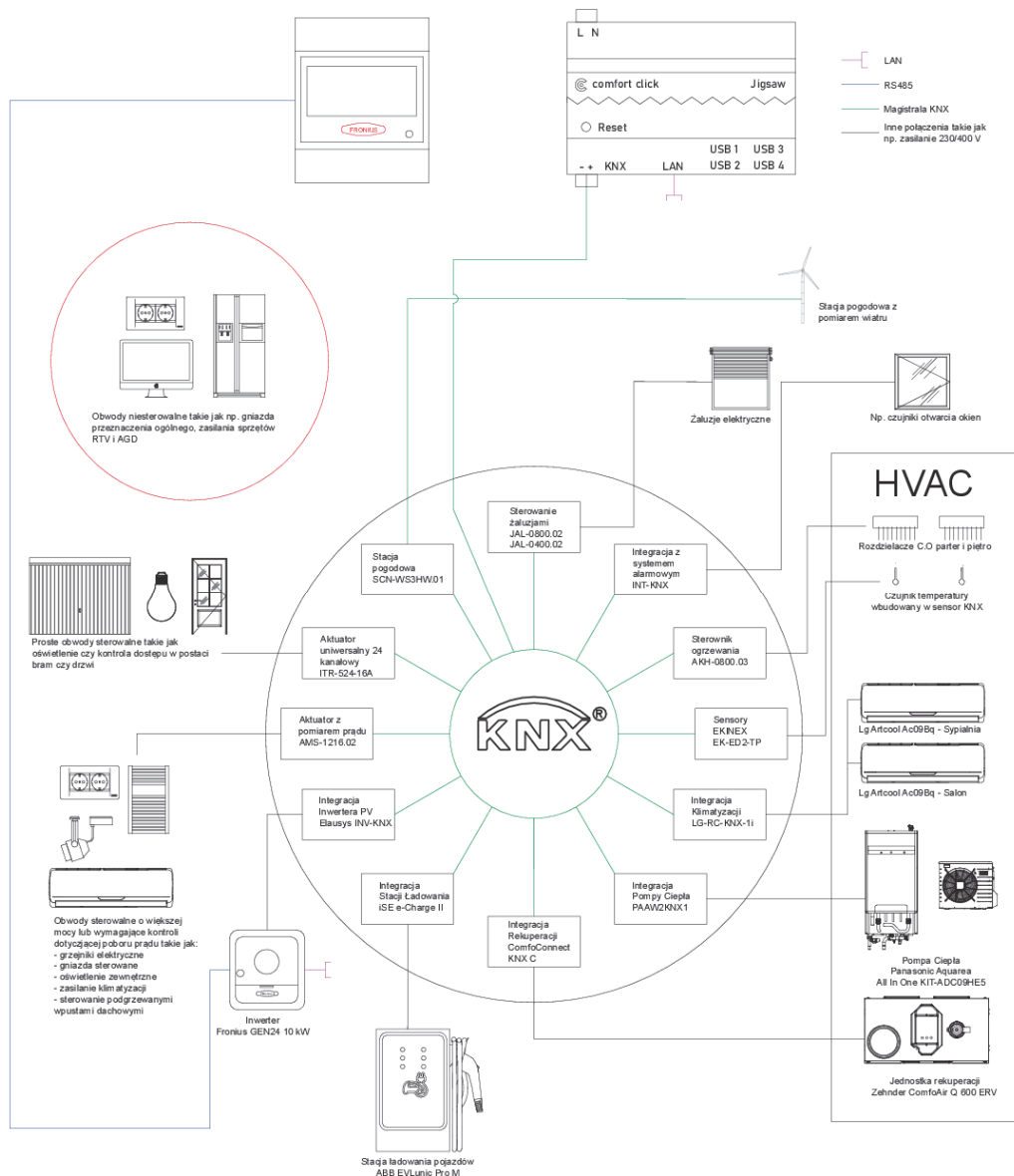
W niniejszej publikacji przedstawiono możliwości wykorzystania systemu automatyki budynkowej do zarządzania produkcją i rozdziałem energii w zależności od potrzeb domowników lub aktualnych cen energii w celu zwiększenia autokonsumpcji energii z własnej instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 1. Produkcja energii elektrycznej z PV i jej zużycie w budynku jednorodzinnym [6]



Rys. 2. Schemat ideowy inwertera Fronius wraz z bateriami oraz innymi elementami systemu fotowoltaicznego i instalacji elektrycznej dla gospodarstwa domowego [7]



Rys. 3. Konceptyjny schemat blokowy instalacji inteligentnej z dodatkowymi elementami innych systemów

Nowoczesne instalacje w budynku

Instalacja fotowoltaiczna

Najbardziej rozpowszechnionym odnawialnym źródłem energii elektrycznej w Polsce są obecnie mikroinstalacje wykorzystujące promieniowane słoneczne. Spowodowane jest to szeregiem dopłat ze strony rządu, względnie prostą instalacją, dostępnością materiałów, marketingiem oraz zastrzeżeniem warunków technicznych, jakie muszą spełnić budynki, aby mogły uzyskać pozwolenie na budowę. W skład instalacji fotowoltaicznej wchodzi takie elementy jak: panele PV, inwerter fotowoltaiczny, zabezpieczenia nadprądowe i przeciwprzepięciowe oraz okablowanie. Instalacja najczęściej jest podłączona do sieci elektroenergetycznej poprzez licznik dwukierunkowy, dzięki czemu możliwa jest jej prawidłowa praca i generacja energii elektrycznej z promieniowania słonecznego. Coraz większą popularność zyskują także inwertery hybrydowe, które oprócz zamiany prądu DC na AC i synchronizację z siecią, pozwalają także na podłączenie magazynu energii wraz zarządzaniem procesem ładowania i zasilania wydzielonych obwodów elektrycznych, nawet w chwilach braku napięcia sieciowego (rys. 2).

Table 1. Porównanie możliwości inwerterów hybrydowych różnych producentów wraz z zestawem magazynu energii [7-9]

Parameter	Producent	Huawei	Sofar Solar	Froniu
Maksymalna moc inwertera do współpracy z magazynem energii		10 kW	20 kW	10 kW
Maksymalna wartość magazynowej energii w pojedynczym zespole baterii		15 kWh	25 kWh	22,5 kWh
Maksymalna ilość zespołów baterii dołączonych do pojedynczego falownika		2	2	1
Funkcja zasilania rezerwowego pojedynczego obwodu bezpośrednio z falownika w przypadku zaniku napięcia z sieci		Tak	Tak	Tak
Możliwość pracy obwodu rezerwowego jako UPS		Nie	Tak	Tak
Podtrzymanie obwodów trójfazowych		Nie	b.d.	Tak
Integracja z systemem inteligentnego budynku				
Wejścia binarne / Wyjścia bezpotencjałowe		Nie	Tak*	4/4**
Modbus TCP		Tak	Nie	Tak
Modbus RTU		Tak	Nie	Tak
TCP/IP (JSON)		Tak	Nie	Tak
Bramka KNX		Tak	Nie	Tak
*po zainstalowaniu zewnętrznego licznika dwukierunkowego, możliwośćysterowania 2 przekaźników bezpotencjałowych **dzięki wbudowanej karcie Datamanager 2.0				

Instalacja inteligentna

Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się zmiany w sposobie wykonywania instalacji elektrycznych w budynkach jednorodzinnych, a liczba urządzeń wymagających zasilania elektrycznego ciągle rośnie. Standardem staje się montaż instalacji alarmowej, sterowanie oświetleniem, roletami, multimediami czy systemami ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji z jednego systemu zarządzania. Także urządzenia AGD i RTV posiadają szereg nowych funkcji, którymi można zarządzać np. zdalnie z poziomu systemu automatyki budynkowej. Prowadzi to do konieczności globalnego projektowania systemów w ujęciu całościowym we współpracy z projektantem wnętrz i instalatorami z różnych branż. W trakcie wyboru systemu automatyki budynkowej warto zwrócić uwagę na dostępność i kompatybilność instalacji inteligentnej z urządzeniami innych systemów (jak np.

instalacji fotowoltaicznej, ładowarki samochodów elektrycznych czy magazynu energii). Istnienie wiele systemów, jak np. KNX, Ampio, Grenton, Loxone, pozwalających na współpracę z wieloma urządzeniami innych instalacji. Bazując np. na systemie KNX, tworzymy „standardową” instalację inteligentną dla domu z dodatkowymi elementami, pozwalającymi na włączenie do jej struktury innych systemów (rys.3) oraz wizualizację wszystkich stanów instalacji za pomocą np. serwera *ComfortClick Jigsaw KNX*. Dodatkową funkcjonalnością jest możliwość zbudowania dedykowanego *Graficznego Interfejsu Użytkownika GUI* pozwalającego uruchomić sekwencję kilku czynności przy naciśnięciu jednego przycisku na ekranie wizualizacji, a co za tym idzie, użytkownik końcowy nie musi mieć specjalistycznej wiedzy zarówno odnośnie systemu sterowania, jak i elementów, którymi zarządza serwer.

Możliwości magazynowania i zarządzania energią elektryczną

Magazynowanie energii elektrycznej odbywa się w przeznaczonych do tego zespołach baterii, które przechowują energię elektryczną. Ich zadaniem jest zapewnienie nieprzerwanego dostaw energii elektrycznej przy zanikach zasilania, maksymalizacja zysków z produkowanej energii z odnawialnych źródeł energii, poprawa parametrów sieci i inne. Do magazynów energii w domach jednorodzinnych można zaliczyć baterie podłączone bezpośrednio do falownika instalacji fotowoltaicznej lub pośrednio poprzez specjalne układy elektroniczne. Innymi magazynami energii, nie koniecznie elektrycznej, ale mającej bezpośredni związek z systemami zarządzania odnawialnymi źródłami energii, takimi jak mikroinstalacja fotowoltaiczna, niewątpliwie są bufory wody, umożliwiające zatrzymanie energii w postaci ciepła. Izolacja zbiorników pozwala na wykorzystanie zakumulowanej energii np. pod koniec dnia. W niedalekiej przyszłości planuje się wykorzystanie baterii znajdujących się na pokładzie samochodów elektrycznych, które podczas postoju i planowanej przerwy w użytkowaniu mogłyby stać się naturalnymi magazynami energii elektrycznej.

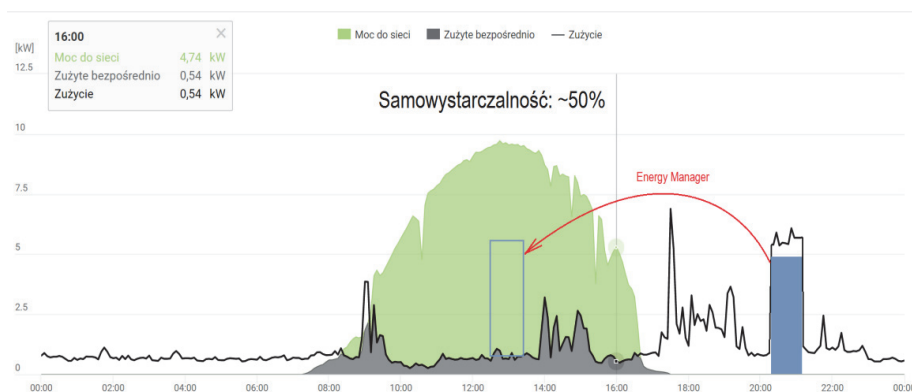


Rys. 4. Schemat ideowy inwertera Sofar Solar wraz z bateriami oraz innymi elementami systemu fotowoltaicznego i instalacji elektrycznej dla gospodarstwa domowego [8]

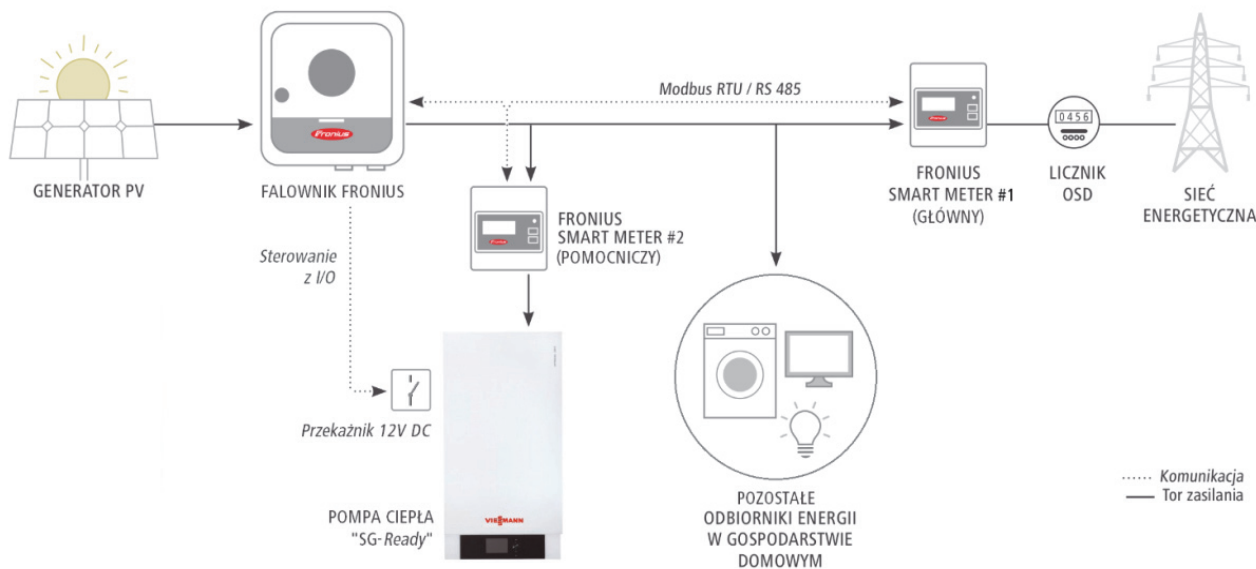
Systemy bateryjne współpracujące z inwerterami fotowoltaicznymi

Coraz częściej inwestorzy decydują się na wybór falowników hybrydowych, których dodatkową funkcją w porównaniu do klasycznej konstrukcji falownika jest możliwość współpracy z magazynami energii w postaci pakietu akumulatorów. Zestawy te składają się z baterii, falownika oraz generatora pod postacią łańcuchów paneli fotowoltaicznych. Zespół ten można konfigurować w różnych zakresach, uzależniając wybór od profilu zużycia oraz ilości energii elektrycznej na jaką jest zapotrzebowanie w gospodarstwach domowych. W domach jednorodzinnych wielkości mikroinstalacji nie przekraczają 50 kW, a magazyny energii mają najczęściej od 5 do 30 kWh. Przykładem takiego rozwiązania może być inwerter Sofar Solar HYD 5-20KTL-3PH wraz z zestawem baterii GTX3000 o maksymalnej energii do 25 kWh dla pojedynczego zestawu baterii z możliwością rozbudowy do 50 kWh (rys.4).

Wiele firm oferuje swoje autorskie rozwiązania, cechujące się swoimi zaletami i wadami. Niewątpliwą zaletą chińskich producentów (Huawei, Sofar Solar) jest cena komponentów, których katalogowe wartości zakupu są około 10-15% niższe niż konkurencyjne produkty np. austriackiej firmy Fronius. Jednakże w finalnym rozrachunku, dokumentacja, wsparcie techniczne oraz możliwość integracji z inteligentnym budynkiem i automatyką budynkową wraz z takimi protokołami jak TCP/IP czy dedykowaną bramką do systemu KNX przechylają szalę korzyści dla rozwiązań austriackiego producenta. Pozostałe różnice między producentami nie mają większego wpływu na główny motyw pracy, jakim jest optymalizacja zużycia energii w budynku, którego automatyka oparta jest o standard KNX. Parametry oraz różnice między rozwiązaniami wymienionych producentów zostały przedstawione w tabeli 1.



Rys. 5. Przykładowy wykres zużycia energii elektrycznej w domu jednorodzinym [6]



Rys. 6. Podłączenie instalacji fotowoltaicznej z pompą ciepła z funkcją *Smart Grid Ready* [6]

Magazynowanie energii dzięki rozwiązaniom branży grzewczej

W klasycznej instalacji elektrycznej z systemem PV, poziom energii, jaki jest wykorzystywany na bieżąco z własnej produkcji wynosi ok. 20-30%. Związane jest to z niepokrywaniem się okresów produkcji i zużycia energii elektrycznej w domu. Wykorzystując systemy automatyki

można podnieść poziom bieżącego zużycia uruchamiając np. grzałkę elektryczną w bojlerze czy klimatyzację w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej na wieczorne zużycie lub schłodzenie pomieszczeń przed nocą. Dzięki takiemu zabiegowi, możliwe jest podniesienie bieżącego zużycia nawet do 50% produkowanej energii, przez co mniej energii zostanie przesłanej do sieci el-en, a tym

samym zmniejszone zostaną „koszty” związane z opustami czy sprzedażą energii po tańszej cenie. Przykładowy wykres zużycia energii elektrycznej w domu jednorodzinnym wraz z przesunięciem wieczornego podgrzania c.w.u. na okres południowy zaprezentowano na rysunku 5.

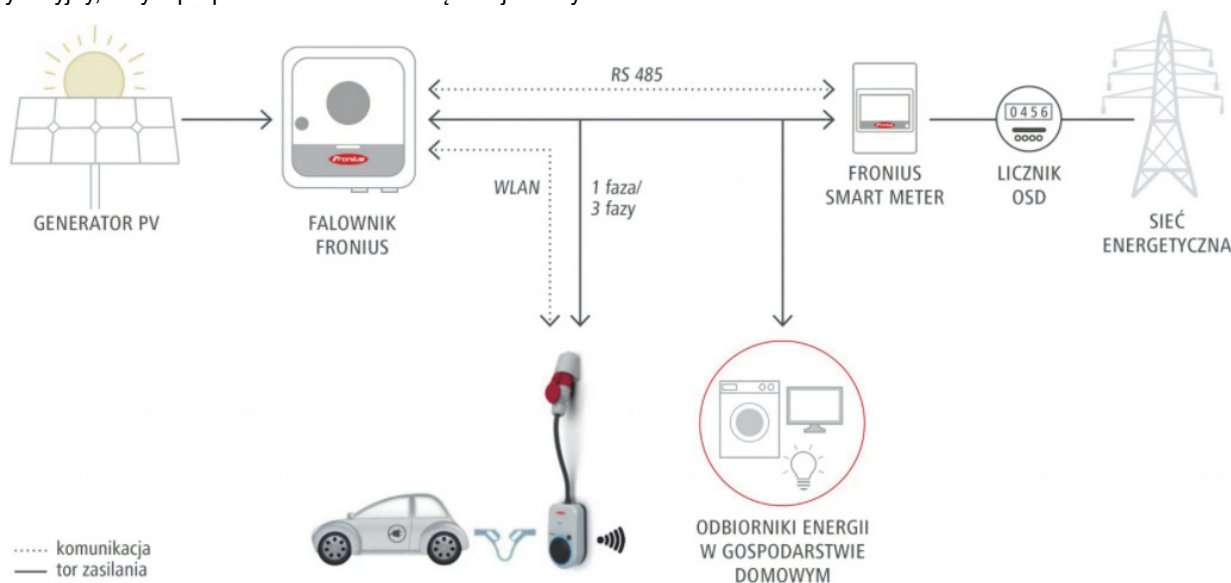
Innym rozwiązaniem stosowanym przez producentów pomp ciepła, bez względu na ich rodzaj, jest możliwość połączenia styku „Smart Grid Ready” do wyjścia przekątnikowego inwertera instalacji PV, co spowoduje jej uruchomienie w określonej porze, np. w południe przy zwiększonej produkcji z systemu PV i schłodzenie pomieszczeń latem (rys. 6). Kolejnym rozwiązaniem jest wykorzystanie bufora wody wyposażonego w grzałkę elektryczną, która może byćysterowana przy pomocy zewnętrznego systemu automatyki dzięki bezpośredniemu połączeniu z przełącznikiem wbudowanym w inwerter fotowoltaiczny. Niezależnie od wybranego rozwiązania autokonsumpcja zostanie zwiększona, a energia zmagazynowana w szczelnym zbiorniku wody użytkowej lub wykorzystana na aktualne potrzeby ogrzewania/chłodzenia budynku. Wpływ na optymalne wykorzystanie energii, a co za tym idzie jej magazynowanie mają również inne parametry takie jak ustawienie optymalnej krzywej grzewczej czy innych parametrów związanych z branżą sanitarną.

Magazynowanie energii z wykorzystaniem samochodu elektrycznego

Rozwój motoryzacji, wymogi dotyczące emisji spalin i trendy ekologiczne sprawiają, że wkrótce w wielu gospodarstwach znajdują się samochody elektryczne, a co za tym idzie stacje do ładowania pojazdów elektrycznych. Z jednej strony jest to potrzeba napędzana przez rynek motoryzacyjny, czyli proponowanie coraz większej liczby

rozwiązań samochodów hybrydowych typu plug-in oraz w pełni elektrycznych. Z drugiej strony jest to orientacja wyraźnie wyrażona przez Unię Europejską w ostatniej rewizji dyrektywy EPBD (The Energy Performance of Buildings Directive) [10], w której znalazły się zapisy, mówiące o konieczności zapewnienia punktów ładowania w nowo budowanych lub znacząco modernizowanych budynkach niemieszkalnych oraz mieszkalnych zbiorowych z miejscami parkingowymi. Nie dziwi więc także fakt, że poszukiwane są inne zastosowania baterii znajdujących się w samochodach. Elektryczny samochód może posłużyć jako bateria dla własnego systemu produkcji energii np. fotowoltaiki, ale również jako dostawca energii uzyskanej dzięki ładowaniu w wielokompleksowych „ładowarkach”, które byłyby zasilane z najbardziej optymalnego źródła energii w danym czasie (np. wiatr, woda lub słońce). Warto więc zastanowić się nad integracją ładowarek samochodów elektrycznych jak i samych samochodów oraz wbudowanych w nie systemów magazynujących energię.

Przykładem wykorzystania dedykowanego urządzenia wspomagającego autokonsumpcję jest zastosowanie ładowarki do samochodów elektrycznych, której włączenie do istniejącej instalacji elektrycznej pokazano na rysunku 7. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość komunikacji ładowarki z inwerterem, dzięki czemu istnieje możliwość ustawienia harmonogramu tj. czasu, w którym samochód ma się ładować np. wtedy, gdy obowiązuje tańsza taryfa. Dzięki integracji z falownikiem istnieje również ustawienie trybu ekonomicznego, w którym samochód będzie pobierał nadwyżki produkcji z instalacji fotowoltaicznej. Jest to możliwe dzięki opcji regulacji prądu ładowania przez ładowarkę z dokładnością do 1 A, a moc regulowana jest w zakresie od 1,38 do 22 kW.



Rys. 7. Domowa ładowarka aut elektrycznych w połączeniu z generatorem PV [11]

Wnioski

Przedstawione możliwości integracji i wykorzystania systemu automatyki budynkowej ukazują problem nieefektywnego zarządzania oraz konsumpcji energii elektrycznej. W pracy przedstawiono możliwości optymalizacji zużycia energii elektrycznej w budynku z nowoczesną instalacją elektryczną bazującą na standardzie KNX oraz sposoby magazynowania pozyskiwanej energii elektrycznej. Wykonano analizę i

przeгляд dostępnych na rynku urządzeń wspomagających autokonsumpcję lub mających realny wpływ na ilość zużywanej energii elektrycznej, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia jej zużycia.

W pracy postawiono nacisk na zobrazowaniu możliwości zarządzania zużyciem energii, a nie na przeliczenie zaoszczędzonej energii na konkretne kwoty pieniężne. Niemniej jednak, kwestie ekonomiczne to nie jedyne kryterium oceny. Mając na uwadze rosnącą

świadomość społeczeństwa odnośnie ekologii oraz komfortu w nowobudowanych domach jednorodzinnych, wykorzystanie systemu KNX do przedstawionych możliwości rozdziału i zarządzania energią elektryczną oraz prostota i wygoda użytkowania są nieocenionymi wartościami dodanymi do każdej powstającej inwestycji.

Warto zwrócić uwagę na fakt integracji instalacji fotowoltaicznej z systemem KNX, co jest dużą wartością dodaną w porównaniu do instalacji klasycznej. Integracja ta pozwala na zwiększenie autokonsumpcji w takim czasie oraz w konkretny sposób, który będzie najbardziej korzystny dla konkretnego gospodarstwa domowego. W zależności od sytuacji i wartości nadprodukcji, algorytmy sterujące autokonsumpcją mogą skierować energię elektryczną produkowaną z instalacji fotowoltaicznej do urządzenia, którego zadziałanie w danym momencie będzie najbardziej korzystne np. ze względów ekonomicznych, aby przypadkiem nie uzyskać efektu odwrotnego w skutkach i nie doprowadzić do sytuacji drastycznego zużycia energii. Dzięki odpowiedniemu monitorowaniu zużycia oraz produkcji energii elektrycznej algorytmy optymalizacji wciąż mogą być rozwijane i dopasowywane do profilu zużycia konkretnych użytkowników systemu, co wydaje się główną przewagą zastosowania nowoczesnej instalacji elektrycznej w celu optymalizacji zużycia energii elektrycznej.

Autorzy: dr inż. Dariusz Kurz, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Dariusz.Kurz@put.poznan.pl; prof. dr hab. inż. Ryszard Nawrowski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Ryszard.Nawrowski@put.poznan.pl; dr inż. Michał Filipiak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Michal.Filipiak@put.poznan.pl; mgr inż. Wojciech Węgrzyn, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Wojtek.Wegrzyn@wp.pl.

LITERATURE

- [1] Trzmiel G., Głuchy D., Kurz D., The impact of shading on the exploitation of photovoltaic installations, *Renewable Energy*, 153 (2020), 480-498, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.010>
- [2] Szczerbowski R.: Instalacje fotowoltaiczne - aspekty techniczno-ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 10 (2014), s. 31-36, <https://doi:10.12915/pe.2014.10.08>
- [3] Tekst „Nowe zasady rozliczeń prosumentów od 2022 r.” [dostęp 02.04.2022 r.], <https://www.gov.pl/attachment/47e43da4-8258-4844-b158-77f3f6b607b8>
- [4] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii
- [5] Ustawa z dnia 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw
- [6] FRONIUS POLSKA SP. Z O.O. Przykłady integracji instalacji fotowoltaicznych z automatyką budynkową, 2017-10-26
- [7] FRONIUS POLSKA SP. Z O.O. Broszura – prawie wszystko o GEN24 PLUS, 2020-11-02
- [8] SOFARSOLAR CO. LTD. User manual HYD 5-20KTL-3PH, 2020r.
- [9] HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD. Instrukcja obsługi LUNA2000-(5-30)-SO, wydanie 01, 2020-10-20.
- [10] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [11] Fronius Wattpilot - ładowanie na własnych warunkach <https://www.forum-fronius.pl/fronius-wattpilot-ladowanie-na-wlasnych-warunkach/> [dostęp 07.11.2021]