



prof. dr hab. inż. Zbigniew HANZELKA
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
tel.: (12) 617 28 78, e-mail: hanzel@agh.edu.pl



Kraków, 27 stycznia 2026 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

wykonana na zlecenie dr hab. inż. Adama Gałuszki, prof. PŚ, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej.

Autor: **mgr inż. Tomasz Paweł Naczyński**

Tytuł: **Analiza i optymalizacja pracy układu zasilania odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne**

1. Dane bibliograficzne rozprawy

Rozprawa zawiera 93 strony. Składa się z sześciu rozdziałów, bibliografii zawierającej 32 pozycje oraz spisu stosowanych skrótów i symboli. Integralną częścią pracy jest załącznik zawierający kopie pięciu artykułów, których współautorem jest doktorant. Trzy z nich zostały opublikowane w PRZEGLĄDZIE ELEKTROTECHNICZNYM (70 pkt., 2021, 2023, 2025), jeden w ENERGIES (140 pkt., 2024), a ostatni w ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT (200 pkt., 2023).

2. Charakterystyka rozprawy

Praca dotyczy sterowania przepływami energii w instalacji prosumenckiej zawierającej po stronie odbiorczej urządzenia o niesterowanym trybie pracy (nazwane odbiorami bazowymi) i urządzenia, których czas pracy może podlegać kontroli, co pozwala na realizację koncepcji DSM. Po stronie generacji energii znajdują się: elektrownia fotowoltaiczna oraz magazyn energii. Aby zrealizować z sukcesem funkcję zarządzania energią niezbędne są: system monitorowania stanu pracy obiektu, aplikacje do prognozowania konsumpcji i generacji energii oraz elementy wykonawcze sterujące bezpośrednio przepływami energii. Dysponując tymi narzędziami Doktorant wykonał analizę sterowania zbiorem odbiorów (symulacyjnie), źródeł i magazynu zgodnie z trzema funkcjami celu:

1. minimalizacja chwilowej wymiany energii pomiędzy prosumentem i siecią publiczną w oparciu o fabrycznie zaimplementowany w układzie sterowania magazynu algorytm wykorzystujący reguły logiczne (HEMS oparty na regułach logicznych). W tym przypadku rola Doktoranta polegała na poznaniu algorytmu, opisanie funkcjonalności magazynu i dokumentowaniu efektów jego pracy.
2. minimalizacja dobowego kosztu energii elektrycznej; motywacja do zarabiania na energii generowanej, brak silnej motywacji do maksymalizacji autokonsumpcji
3. maksymalizacja tzw. dobowej neutralności energetycznej prosumenta, czyli równoczesna minimalizacja zarówno kosztu zakupu energii jak i przychodu z tytułu wprowadzania energii z własnego źródła do sieci publicznej.

W przypadku algorytmów związanych z celami 2 i 3 wykorzystano metodę optymalizacyjną roju cząstek (HEMS oparty na metodach optymalizacyjnych). Sygnałami wejściowymi do układu sterowania były

dane dotyczące mocy/prądów w przyłączy głównym budynku, w punktach zasilania wyróżnionych odbiorów oraz magazynu, a także ceny energii publikowane przez PSE. Nie wykorzystano sygnałów napięcia oraz przyjęto relatywnie dużą wartość pojemności magazynu, co zasadniczo ułatwiło sterowanie i pozwoliło uzyskać korzystne efekty mierzone stopniem osiągnięcia funkcji celu i poziomem autokonsumpcji prosumenta.

Badania symulacyjne zostały przeprowadzone w środowisku LabVIEW, a do sterowania rzeczywistego obiektu wykorzystano oprogramowanie typu open source Home Assistant i narzędzie Node-RED.

Część praktyczna pracy w ramach której zastosowano opracowany algorytm optymalizacyjny została zrealizowana w rzeczywistej instalacji prosumenckiej (PV – 5,25 kW (str. 34 – 6,1 kW, falownik – 5 kW); magazyn – 5 kW, 20,8 kWh). Algorytm sterowania nie obejmował DSM, w efekcie czego działanie HEMS dotyczyło tylko sterowania pracą magazynu.

Na szczególne podkreślenie zasługuje konstrukcja ocenianej pracy. Jej główną częścią jest ponad 90-stronnicowy autoreferat prezentujący koncepcję pracy, poszczególne etapy jej realizacji oraz przedstawiający uzyskane efekty. Więcej szczegółów można znaleźć w załączonych kopiach artykułów, których współautorem jest Doktorant. Wszystkie artykuły przeszły proces oceny merytorycznej i edytorskiej dokonany przez recenzentów poszczególnych prac. Przedstawione dalej uwagi odnoszą się w największym stopniu do części głównej doktoratu. Recenzent traktuje część opisową pracy jako prezentację własnych/samodzielnych dokonań Doktoranta, co potwierdza Promotor pracy a zarazem współautor wszystkich artykułów. Dodatkowo udział doktoranta w publikacjach określa na potrzeby recenzji opierając się na deklaracjach umieszczonych na końcu artykułów (dotyczy to *Energy* i *Energies*).

Ocena pracy

W dalszej części recenzji omówiono poszczególne rozdziały formułując uwagi krytyczne o charakterze ogólnym i szczegółowym (te ostatnie w ograniczonym zakresie).

Rozdział 1: Wstęp

Autor podkreśla znaczenie tematyki rozważanej w pracy w kontekście krajowej polityki energetycznej i negatywnego oddziaływania odnawialnych źródeł energii na sieć zasilającą. Uznaje wzrost autokonsumpcji w instalacjach prosumenckich za jeden z najważniejszych sposobów poprawy niekorzystnego stanu. Wzrost autokonsumpcji uzależnia w największym stopniu od obecności w instalacji odbiorcy końcowego magazynu energii i układu zarządzającego energią (HEMS)

Rozdział 2: Teza, cel i zakres pracy

To, że odbiorca wyposażony w sterowane odbiory, źródło PV i magazyn energii posiada potencjał do zwiększenia autokonsumpcji (istota tezy pracy) wydaje się stwierdzeniem nie budzącym wątpliwości. Ważniejsze jest wyprowadzenie wniosków ogólnych pozwalających zwymiarować liczbowo ten potencjał. I tu postrzegam wartość rozważań Autora.

Rozdział 3: Opis osiągnięć naukowych

Prognozowanie dobowego profilu tzw. obciążenia bazowego (odbioru niesterowanego) oparto na historycznych danych pomiarowych z kilku takich samych dni z przeszłości dla których tworzone grafiki „średni”, „typowy” i „statystycznie najczęstszy”. Na tej podstawie wyznaczana jest prognoza obciążenia odbiorcy, będąca sumą ważoną poszczególnych grafików (publikacja 4). W procesie kalibracji metody prognostycznej, za pomocą optymalizacji rojem cząstek wyznaczono współczynniki wagowe dla istotnych czynników wpływu minimalizując błąd MAPE względem wyników pomiaru.

Kolejny krok dotyczył krótkoterminowego (24 h) prognozowania generacji energii. W algorytmie prognostycznym wykorzystano model źródła PV dostępny w programie OpenDSS składający się z

modelu panelu oraz falownika. Głównymi parametrami modelu panelu są: moc znamionowa i charakterystyka mocowo-temperaturowa dostarczona przez producenta, a sygnałami wejściowymi: natężenie promieniowania słonecznego (z numerycznej prognozy pogody), temperatura panelu, oraz prędkość wiatru. Daną wejściową do modelu falownika jest moc wyjściowa panelu, a parametrami moc falownika, napięcie sieci i charakterystyka sprawności. W procesie prognozowania przyjęto jednostkowy współczynnik mocy źródła PV.

W pracy poświęcono dużo uwagi szacowaniu temperatury panelu, traktując ją jako istotny czynnik determinujący trafność prognozy generacji. Badania literaturowe wykazały, relatywnie dobrą trafność szacowania temperatury z rozdzielczością godzinową. Skracanie tego czasu pogarszało dokładność szacowania. To spostrzeżenie skłoniło Autora (i grono współautorów artykułu) do opracowania „dynamicznego” modelu cieplnego panelu PV wzorowanego na modelu cieplnym transformatora olejowego (dlaczego?) (publikacja 2) wykorzystującego jako dane wejściowe dostępne w numerycznych prognozach pogody: temperaturę otoczenia, nasłonecznienie i prędkość wiatru. Wybrano jedną z dwóch analizowanych platform meteorologicznych i dane o rozdzielczości 5 min. Model został zoptymalizowany metodą roju cząstek. Analizy potwierdziły zalety proponowanego rozwiązania.

W badaniach symulacyjnych wykazano znaczący wpływ dynamicznych cen energii na profile wymiany energii z siecią publiczną. Uzyskano wzrost autokonsumpcji szczególnie w przypadku dodania do sterowania magazynem funkcjonalności DSM. Przeprowadzone analizy pozwoliły uzyskać pożądany i przewidywalny w sensie jakościowym efekt. Zaproponowany system HEMS może przynieść korzyści zarówno po stronie prosumenta jak i operatora sieci. Przyjęta architektura może być praktycznie zastosowana w każdym budynku. Żaden ze sformułowanych tu wniosków nie zaskakuje, każdy jest oczywisty.

Autor sam podkreśla problemy z napięciem w punkcie przyłączenia magazynu pisząc, że „Omawiany budynek znajduje się około 700 m od stacji transformatorowej 20/0,4 kV W bezpośrednim sąsiedztwie znajdują się inne mikroinstalacje PV o łącznej mocy około 80 kW i pomimo wykonanej ... modernizacji sieci nN) okresowo występują przekroczenia dopuszczalnego poziomu napięcia, skutkujące wyłączeniem mikroinstalacji PV przez zabezpieczenia nadnapięciowe falownika.” To powinno skłonić do włączenia napięcia do zbioru danych wejściowych modelu.

Uwagi szczegółowe

1. Str. 16, trzeci akapit od dołu ” ... źródła PV po stronie AC.”
2. Przedstawione na rysunkach (3.8 i dalej) profile mocy warto uzupełnić o charakterystykę SoC magazynu – bez niej nie możemy ocenić możliwości realizacji tych profili w relacji do magazynu. Patrząc na rys. 3.10b – nie mamy pewności, czy do godz. 8:00 magazyn rozładował się w wystarczającym stopniu, aby w okresie dużego nasłonecznienia przyjąć energię wynikającą z rozwiązania zadania optymalizacyjnego. Wartość SoC powinna stanowić więzy zadane na pracę magazynu. Pewnie tak jest, ale brak tej informacji w tekście.
3. Str. 31, Tabele 3.5 i 3.6 – przy tak małych wartościach energii wpływ sprawności magazynu będzie zauważalny, a w prezentowanych symulacjach sprawność nie została uwzględniona.
4. Model odtwarzający bezwładność termiczną panelu uwiarygadniano wykorzystując dane o czasie agregacji 1 min. Następnie ten sam model określania temperatury panelu wykorzystano w prognozowaniu generacji energii , w przypadku których czas dyskretyzacji danych wynosił 1 h/5 min. Skąd wiadomo, że model „temperaturowy” daje przy takich czasach poprawny wynik?

Rozdział 4: Opis osiągnięć wdrożeniowych

Autor przyjmuje stan istniejący badanej instalacji jako punkt wyjścia do swoich analiz. Nie została ona zoptymalizowana pod kątem doboru elementów składowych: mocy źródła PV, kąta nachylenia paneli (str. 34, nachylenie około 15°, orientacja południowa), mocy i energii magazynu. A jest on relatywnie duży - 20 kWh, przy mocy przyłączeniowej odbiorcy 16 kW. Taka pojemność magazynu zasadniczo

ułatwia wykazanie efektu autokonsumpcji. Faktem jest, że jeżeli celem Doktoranta jest przygotowanie aplikacji dostępnej komercyjnie, to etap projektowania instalacji wykracza poza zakres pracy.

Moduł zarządzający magazynu pełni w tym układzie funkcję *master* odpytując licznik typu *slave* zainstalowany w przyłączy głównym budynku. Dodatkowe liczniki zainstalowane na zasilaniu głównym, w punkcie przyłączenia źródła PV i na zasilaniu magazynu energii przekazują dane do mikrokomputera Raspberry Pi (serwer systemu pomiarowo-sterującego) z zainstalowaną platformą Home Assistant. Poświęcono dużo miejsca na opis tej platformy, co upoważnia do postawienia pytania: co jest oryginalnego lub poznawczego w prezentowaniu możliwości aplikacji Home Assistant? Dotyczy to także rozbudowanych informacji o narzędziu Node-RED, czy instrukcji obsługi oprogramowania magazynu (str. 59).

Pomiędzy założonym (rys. 4.24) a zarejestrowanym profilem pracy magazynu (rys. 4.25) istnieje niewielka różnica – co jest jej przyczyną? Jak wygląda przebieg SoC magazynu?

Gdyby nie artykuły, które są w tej materii bardziej precyzyjne, można by zgłosić wątpliwości dotyczące rozdzielczości wykorzystywanych sygnałów. Pojawia się czas 5 s (pomiar profili wybranych obciążeń); na str. 46 jest mowa o rozdzielczości w min, a na stronie 52 o 1 h.

Uwagi szczegółowe

1. Str. 35, „magazyn energii wraz z ładowarką” - żargonowy termin „ładowarka” w odniesieniu do interfejsu energoelektronicznego magazynu budzi wątpliwości, jest to bowiem przekształtnik dwukierunkowy.
2. Str. 36, z reguły lodówkę, a w większym stopniu zamrażarkę włącza się do zbioru urządzeń sterowanych ze względu na ich relatywnie dużą cieplną stałą czasową. W pracy zaliczono te odbioru do zbioru urządzeń nie podlegających sterowaniu.
3. Pojawiający się w kilku miejscach termin „pobór mocy” (np. str. 43, 44) jest określeniem żargonowym.
4. Str. 44 niezbyt techniczne określenie: „stosunkowo wysoka dokładność pomiarowa”. Czy były potrzebne pomiary profili mocy wybranych odbiorników? Może tak, choć w pracy nie są one wykorzystane. Ale czy konieczna była weryfikacja poprawności danych z licznika za pomocą rejestratora Fluke? Czy nie wystarczyła analiza deklarowanej przez producenta niepewności pomiarowej? Jak mierzona/definiowana była moc czynna, bierna, współczynnik mocy – czy to są wielkości dla 50 Hz (str. 47)? Część urządzeń domowych powoduje przepływ prądu niesinusoidalnego.
5. Str. 46, przy przyjętej skali na rys. 4.11 trudno rozróżnić kolory
6. Str. 49, „... (zbyt wysokie poziomy napięcia spowodowały wielokrotne wyłączenia falownika instalacji PV, co skutkowało przerwami w generacji energii)”. Czy magazyn „nie mógł podjąć próby” utrzymania instalacji PV w pracy (np. rys. 4.13)? Przyjęcie w rozważaniach jednostkowego współczynnika mocy dla falowników PV jest uproszczeniem. Jaka jest rozdzielczość w czasie danych napięcia przedstawionych na rysunkach 4.13 i 4.14?
7. Rys. 4.18 – jaka jest rozdzielczość pomiaru?
8. Str. 57, rys. 4.21. z rysunku widać, że magazyn jest w pełni naładowany, a równocześnie zmienia się jego moc i temperatura ogniw?

Rozdział 5: Ocena efektów implementacji opracowanego systemu HEMS w rzeczywistym środowisku pracy

Badanie podzielono na trzy etapy, z których każdy trwał tydzień i obejmował sterowanie magazynu w sposób:

1. minimalizujący chwilową wymianę energii elektrycznej z siecią,
2. minimalizujący koszty energii elektrycznej ponoszone przez prosumenta,
3. maksymalizujący tzw. neutralność finansową prosumenta.

I tu lekkie rozczarowanie - „w celu zachowania spójności wszystkich trzech etapów badań, również w etapach 2 i 3 ograniczono się tylko do sterowania magazynem energii (praca odbiorników SL nie podlegała planowaniu (str. 63)”. To zasadniczo uprasza/trywializuje rozwiązywany problem. W przypadku sterowania nr 2 i 3 danymi wsadowymi do układu są prognozowane profile bazowe konsumpcji i generacji energii oraz profil godzinowych cen energii udostępniany przez PSE.

Na stronie 64 stwierdzono: „... każdorazowo przed rozpoczęciem symulacji, zostały uzupełnione dane dotyczące stopnia naładowania magazynu o godzinie 00:00 kolejnej doby, czyli w chwili początkowej okresu symulacji. Ponieważ symulacje były wykonywane w przeddzień dnia, dla którego wyznaczone miały być profile pracy magazynu, to stan jego naładowania został wyznaczony szacunkowo (z tego wynikają różnice między wynikami pomiarów a wynikami symulacji w tym zakresie).” To wymaga komentarza, co Autor miał na myśli? Sterowanie realizowane jest w okresach 24 h. Na zakończenie każdego okresu występuje pewien mierzalny stan naładowania magazynu, który jest daną wejściową do przygotowania harmonogramu pracy magazynu w kolejnej dobie. Jak długo wyliczany jest harmonogram pracy magazynu?

Zaskakuje (np. rys. 5.20) brak osiągania przez magazyn granicznych wartości SoC, tzn. 10% i 100%. W żadnym przypadku magazyn całkowicie się nie rozładował. To stany krytyczne w sterowaniu. Czy jest to wyłączny efekt dużej pojemności magazynu? Szkoda, że w badaniach (np. symulacyjnych) nie rozważono wpływu mniejszej (np. o 50%) pojemności magazynu na jego sterowanie.

„W celu uzyskania optymalnego profilu pracy magazynu energii dla zadanych funkcji celu wykonano po dziesięć symulacji, z których wybrano te, dla których uzyskano najlepsze wyniki” (str. 64). A czym się te symulacje różniły?

Uwagi szczegółowe

1. Str. 65 – „Można zauważyć, że w początkowych godzinach doby profile prognozowany i rzeczywisty były bardzo zbliżone do siebie, natomiast w późniejszych godzinach wartości zmierzone mocniej różniły się od prognozy bazowego zapotrzebowania.” Rys. 5.3 – co oznacza na rysunku „pomiar rzeczywiste obciążenie”. Jeżeli jest to suma mocy wszystkich odbiorników to jak została wyznaczona? Czy na tych rysunkach nie pomyłono kolory?
2. Rys. 5.4 – przecież te charakterystyki całkowicie się rozchodzą? To oznacza, że prognoza jest nietrafiona. Jak może poprawnie działać model optymalizacyjny „karmiony” takimi danymi? Jeszcze raz warto podkreślić niedoskonałość modelu, który nie uwzględnia wyłączeń falowników na skutek przekroczenia granicznych wartości napięcia). Czy tu też nie pomyłono kolorów?
3. Str. 68, literówka ... pokryte
4. Rysunki 5.8 i 5.9, symulacje CE, na rysunku 5.8 pomiędzy godz. 7:00-10:00 energia jest oddawana do sieci, a równocześnie w tym samym okresie na rysunku 5.9 przychód jest zerowy? Dlaczego?
5. Str. 71: „uzyskano stosunkowo wysoką dokładność prognozy dobowego obciążenia bazowego i generacji PV (w porównaniu z wartościami zmierzonymi); maksymalna różnica między dobowym zapotrzebowaniem prognozowanym a rzeczywistym wyniosła 15,8%, natomiast w przypadku generacji PV było to 13,7%”. Patrząc na godzinowe przebiegi rzeczywiste i prognozowane - rys. 5.3 i 5.4 - widać bardzo duże różnice. Czyli mamy niezbyt dokładne prognozy i całkiem dobry wynik dobowej energii. To może skłaniać do stwierdzenia, że cokolwiek zrobimy to to zawsze uzyskamy poprawę. Co nie oznacza, że jest to najlepszy poziom poprawy. Mierzenie dokładności prognozy dobową energią nie odzwierciedla istotnych różnic. Algorytmy „pracują” na danych godzinowych.
6. W autoreferacie zawarto mało informacji o module prognozowania generacji (str. 73) w oparciu o prognozy numeryczne. Niezbędne jest sięgnięcie do załączonych artykułów.
7. Str. 73: „Można zaobserwować, że zarejestrowane wartości zapotrzebowania budynku w początkowych i końcowych godzinach doby oraz w okresie od 12:00 do 15:00 są bardzo

zbliżone do prognozowanego profilu bazowego zapotrzebowania.” Nie do końca podzielam ten pogląd patrząc na rysunek 5.11. Sądzę, że taki wniosek powinien być formułowany w oparciu o wartości względne różnicy. Co jest wielkością bazową dla procentowych różnic podanych na stronie 77?

8. Str. 74. W podobny sposób warto było przedstawić błędy prognozy generacji (rys. 5.12). „Widocznym jest, że rzeczywisty profil generacji był podobny do profilu prognozowanego w początkowych i końcowych godzinach generacji źródła PV”. Określenie „podobny” jest pojęciem subiektywnym, powinny być podane miary liczbowe podobieństwa/różnic.
9. Str. 80 – „Znaczące różnice pojawiły się w okresie od godziny 12:00 do 14:00, co spowodowane było zbyt wysokim poziomem napięcia w sieci w tym przedziale czasowym, skutkującym okresowymi wyłączeniami falownika.” Po raz kolejny stawiam pytanie – dlaczego w prognozie nie uwzględniono napięcia? Informacja o jego wartości jest łatwo dostępna. Tym bardziej, że wpływ wzrostu napięcia jest znacząco większy niż wpływ temperatury panelu, któremu Doktorant poświęcił dużo miejsca w pracy. Czy nie można było w prognozie uwzględnić czynnik napięcia? Przecież on jest dostępny.
10. Str. 82 (jako przykład) – „zbliżony do profilu przygotowanego przez algorytm optymalizacyjny”. To cecha całej pracy. Autor używa określeń np. zbliżony, podobny, prawie taki sam, stosunkowo dobra dokładność (str. 83) ... w miejscach w których powinny być podane liczbowe miary podobieństwa.

Rozdział 6: Wnioski

Także we wnioskach nie uniknięto nieprecyzyjnych sformułowań w części oceniającej działanie algorytmu. Przykładowo na stronie 85 pojawia się zdanie: „Przeprowadzone badania wskazują, że opracowana metoda cechuje się dokładnością wystarczającą do zastosowania jej wyników w systemie HEMS”. A jaka jest ta dokładność, ile wynosi wartość graniczna?

We wniosku numer dwa na stronie Autor stwierdza, że: „Sterowanie magazynem w sposób maksymalizujący neutralność finansową prosumenta charakteryzuje się najwyższym współczynnikiem autokonsumpcji energii generowanej w źródle PV, w porównaniu do fabrycznie zaimplementowanego algorytmu bazującego na regułach logicznych oraz do algorytmu opartego na metodzie optymalizacji PSO, realizującego minimalizację kosztów energii elektrycznej. Oznacza to, że przy takim sposobie pracy magazynu wymiana energii z siecią jest najmniejsza, dzięki czemu zmniejsza się negatywny wpływ prosumenta na pracę systemu elektroenergetycznego”. W innym miejscu pracy Autor podkreśla, że maksymalizacja autokonsumpcji jest kwintesencją prosumeryzmu. Jeżeli tak jest, to najwyższym poziom autokonsumpcji powinien być osiągnięty jeżeli w postaci analitycznej funkcji celu (3.3) nie będzie ceny energii w godzinie h – czynnika c_h . Niska cena energii w godzinach południowych osłabia stopień redukcji przepływów energii. Komu jest potrzebny algorytm „neutralności finansowej”? To jest słaba funkcja celu, żeby wymusić minimalizację przepływów energii.

Doktorant nie zawarł w pracy wielu nowości (szczególnie widać to w rozdziale 5, w którym opisano architekturę i działanie układu – to rzeczy znane), a wnioski jakościowe są oczywiste. Ale Doktorant zrobił to fizycznie, dzięki czemu pojawiły się liczby opisujące skutki działania systemu HEMS. I zrobił to samodzielnie, czyli spełnił podstawowy wymóg doktoratu – udowodnił, że potrafi rozwiązać problem. I mimo, że można mieć do tej realizacji wiele uwag (często dyskusyjnych, np. dlaczego zostało to tak zrealizowane, a nie inaczej), może nie jest to najkorzystniejsze rozwiązanie, ale znaczący stopień poprawy został uzyskany np. we wzroście poziomu autokonsumpcji. I jest to bez wątpienia sukces Doktoranta.

Uwagi do artykułów

1. **NACZYŃSKI T., KORAB R.:** *Możliwości kształtowania bilansu energii elektrycznej odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, R. 97 NR 11/2021.

Podpis pod rysunkiem 1 – to nie jest „schemat układu pomiarowego wykorzystanego do rejestracji zapotrzebowania w analizowanym budynku jednorodzinnym”. Realizowany pomiar dotyczy wymiany energii z siecią publiczną. „Zapotrzebowanie budynku” jest od niego większe o energię wytworzoną we własnym źródle. Dotyczy to także rysunku 2 na którym przedstawiono zarejestrowany dobowy profil „zapotrzebowania”, czyli jak rozumiem profil energii konsumowanej przez wszystkie obiekty w rozważanym budynku. Jak uzyskano ten profil – jako różnicę generacji i energii zmierzonej w przyłączy? Pod rysunkiem 1: „zapotrzebowanie na moc” – żargon.

2. KORAB R., POŁOMSKI M., **NACZYŃSKI T.**, KANDZIA K.: *A dynamic thermal model for a photovoltaic module under varying atmospheric conditions*, Energy Conversion and Managament, Vol. 280, 15 March 2023.

Artykuł stanowi opis modelu cieplnego panelu PV zaproponowany przy udziale Doktoranta¹. Jest to model różnic skończonych ze współczynnikami zoptymalizowanymi metodą roju cząstek dla warunków atmosferycznych, opisanych danymi z rozdzielczością 1 min. Porównanie zaproponowanego modelu z innym modelem dynamicznym wykorzystującym pomiary temperatury z kilku chwil z przeszłości potwierdziło praktyczną przydatność propozycji autorów.

- Dla przywołanych 17 modeli nie podano dla jakiej rozdzielczości danych w czasie zostały one sporządzone. Bezkrytyczna zmiana rozdzielczości z 1 h na 1 min może nie być uprawniona (rys. 6).
- „Koncepcja tego modelu opiera się na modelu cieplnym transformatorów mocy zanurzonych w oleju opisanym w międzynarodowej normie IEC 60076-7.” – dlaczego przyjęto ten opis matematyczny zjawisk termicznych w panelu? W artykule i pracy brak odpowiedzi na to pytanie.
- „Przeprowadzona analiza wykazała, że modele empiryczne, oparte na pomiarach temperatury otoczenia, natężenia promieniowania słonecznego i prędkości wiatru, mogą być wykorzystane do oszacowania temperatury modułu fotowoltaicznego dla warunków atmosferycznych podanych z rozdzielczością godzinową. Dla danych wejściowych podanych z rozdzielczością 1 minuty modele te generują niedopuszczalnie duże błędy.” To raczej wniosek oczywisty. Tym bardziej, że modele empiryczne mają ograniczoną zdolność do ich generalizowania. Zostały stworzone dla konkretnego zbioru danych odpowiadają konkretnej instalacji zlokalizowanej w konkretnych warunkach środowiskowych. Wykazanie, że w przypadku innych danych będą nieprecyzyjne jest wnioskiem oczywistym.

3. KORAB R., Tomasz KANDZIA T., **NACZYŃSKI T.**: *Short-term forecasting of photovoltaic power generation*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 99 NR 9/2023.

W artykule zaproponowano fizyczną metodę krótkoterminowego prognozowania generacji fotowoltaicznej, opartą na numerycznych prognozach pogody (z dwóch platform internetowych) z wykorzystaniem modelu źródła fotowoltaicznego w środowisku OpenDSS z ulepszonym modelem cieplnym paneli. Obie platformy udostępniają informacje o prognozowanej temperaturze otoczenia, prędkości wiatru i nasłonecznieniu za pośrednictwem interfejsu API (*Application Programming Interface*) z różną rozdzielczością przestrzenną i czasową. Wyniki prognoz porównano z rzeczywistą generacją trzech działających mikroinstalacji fotowoltaicznych. Wyniki nie zaskakują.

¹ Zgodnie z oświadczeniem o autorstwie Doktorant był odpowiedzialny za organizację i integrację danych zebranych z różnych źródeł, ich analizę, badania, wizualizację, redakcję tekstu.

4. **NACZYŃSKI T.**, KORAB R., POŁOMSKI M.: *Krótkoterminowe prognozowanie bazowego obciążenia odbiorcy komunalno-bytowego z wykorzystaniem danych historycznych*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, R. 101 NR 5/2025

Przedmiotem rozważań są indywidualne prognozy krótkoterminowe (dobowe w rozdzielczości godzinowej), sporządzane dla odbiorców komunalno-bytowych. Zaproponowana w artykule metoda prognozowania opiera się na założeniach metody „naiwnej” w wersji podstawowej. Do kalibracji i walidacji metody wykorzystano dane pomiarowe pochodzące z liczników energii zainstalowanych u odbiorców z grupy taryfowej G11. Uzyskane wyniki prognoz porównano z wynikami otrzymanymi przy zastosowaniu metody naiwnej w wersji podstawowej. W większości przeanalizowanych przypadków błędy prognozy uzyskane za pomocą zaproponowanego modelu, w szczególności błąd MAPE, były niższe niż błędy uzyskane dla metody naiwnej podstawowej. Przedstawione w artykule błędy prognozy dochodziły do 30%, dotyczyły tylko trzech przykładowych dni. Czy można więc stwierdzić, że w znaczący sposób podnoszą jakość prognozy w relacji do innych prostych algorytmów przy tak wielu czynnikach wpływających na konsumpcję energii w rozważanym sektorze komunalnym?

Czy gdybyśmy rozwiązyali zadanie optymalizacyjne, które równocześnie pozwala minimalizować błąd MAPE dla poszukiwanych liczby dni poprzedzających oraz współczynników W1-3 otrzymalibyśmy inny wynik, niż dla zastosowanego dwuetapowego algorytmu – najpierw liczba dni a potem dobór wag W1-3?

5. KORAB R., POŁOMSKI M., **NACZYŃSKI T²**: *Optimal Scheduling of Energy Storage and Shiftable Loads in Grid-Connected Residential Buildings with Photovoltaic Micro-Installations*, Energies 2024, 17, 5264

W artykule przedstawiono koncepcję system HEMS. Jego treść stanowi podstawę autoreferatu.

3. Podsumowanie

Podstawowym walorem pracy jest jej tematyka oraz znaczenie problemu który został podjęty. Chodzi o systemy HEMS, które będą funkcjonować w sposób niezależny od właściciela obiektu (bliźniak cyfrowy), zgodnie z ustalonymi przez niego regułami i celami, na rzecz dobrostanu jego i OSD, w ramach istniejących ograniczeń technicznych i ekonomicznych. Są one bardzo pilnie potrzebne. Budujemy bowiem ogromną liczbę instalacji prosumenckich, a nie mając odpowiednich narzędzi do zdalnego zarządzania energią, nie tylko nie uzyskujemy możliwych korzyści wynikających z ich istnienia, ale co więcej pogorszamy warunki pracy sieci zasilających. Kolejnymi zaletami pracy są:

- Konstrukcja pracy – forma autoreferatu uzupełnionego zbiorem opublikowanych artykułów – bardzo podoba mi się taka konstrukcja dysertacji doktorskiej, szczególnie dla doktoratu „wdrożeniowego”.
- Fakt, że nieomal cała zawartość pracy została opublikowana w dobrych recenzowanych czasopismach. Liczne grono recenzentów pozytywnie oceniało poziom merytoryczny zaproponowanych rozwiązań technicznych. Jako kolejny recenzent potwierdzam moją pozytywną opinię.
- Poprawny język pracy – bardzo dobrze się ją czyta. Błędy edytorskie są bardzo nieliczne.
- Dostępność proponowanego rozwiązania - wykorzystano do budowy systemu HEMS mikrokomputer Raspberry Pi, otwartą platformę Home Assistant i łatwo dostępne dane wejściowe.

² Zgodnie z oświadczeniem o autorstwie Doktorant uczestniczył w opracowaniu metodyki, analizach i walidacji wyników, badaniach, przygotowaniu obiektu, gromadzeniu danych, pisaniu artykułu (opiniowanie i edycję), projektowaniu i implementacji algorytmu optymalizacyjnego (PSO), akceptacji finalnej wersji tekstu.

Pozwala to na powszechne stosowanie tego rozwiązania. Bariera ekonomiczna, nawet jeżeli uwzględnić koszty opomiarowania obiektu w zdalne liczniki nie powinna być przeszkodą.

Wady pracy

Autoreferat jest miejscami „przegadany”, zawiera wiele słusznych/prawdziwych stwierdzeń, ale one są powszechnie znane i kolejna ich prezentacja jest zbyteczna. W kilku miejscach jest zbyt ogólny, dlatego zapoznanie się z załączonymi artykułami jest niezbędne dla zrozumienia treści. Pewne wątpliwości budzi:

- brak ujednolicenia niektórych terminów, np. magazyn, zasobnik, akumulator ... dla opisu tego samego urządzenia. – nie warto mnożyć bytów
- stosowane często określenie „optymalny system” bez jednoznacznego zdefiniowania kryterium optymalizacji. Nie zawsze wynika to jasno z kontekstu.
- Autor używa określeń np. zbliżony, podobny, prawie taki sam, stosunkowo dobra dokładność ... w miejscach w których powinny być podane liczbowe miary podobieństwa.

Dodatkowe uwagi krytyczne zawarto w komentarzach do poszczególnych rozdziałów.

4. Wniosek końcowy

Przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i analiza praktycznej aplikacji. Prace prezentuje ogólną teoretyczną wiedzę Doktoranta w stosownej dyscyplinie naukowej oraz jest dowodem umiejętności samodzielnego prowadzenia badań.

W mojej ocenie przedłożona do oceny rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.).