

Zastosowanie platformy SmartX do akwizycji danych pomiarowych i zarządzania zużyciem energii elektrycznej

Bartosz Kowalczyk, Piotr Szeląg

ConnectPoint Sp. z o.o., ul. Zagadki 21, 02-227 Warszawa

Streszczenie: W pracy zaprezentowano platformę SmartX umożliwiającą akwizycję danych pomiarowych pochodzących z inteligentnych liczników energii elektrycznej. Platforma pozwala na integrację urządzeń IoT różnych producentów. Dzięki implementacji dużej liczby protokołów komunikacyjnych możliwe jest stworzenie inteligentnego systemu automatyki domowej. W artykule przedstawiono system pomiarowy składający się z platformy wraz z inteligentnymi licznikami energii. Stworzony system został wykorzystany do akwizycji danych reprezentujących zużycie energii elektrycznej dla wybranych obwodów elektrycznych w pomieszczeniach biurowych. W pracy zaprezentowano wyniki analizy danych pomiarowych rejestrowanych w półrocznym okresie rozliczeniowym. Na podstawie wyników badań sformułowano wnioski pozwalające na optymalizację profilu zużycia energii i zmniejszenie kosztów po stronie końcowego odbiorcy energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: SmartX, akwizycja danych pomiarowych, analiza zużycia energii elektrycznej, smart home, inteligentny dom, internet of things, IoT, indeks zielonej energii

1. Wprowadzenie

Zmiany klimatyczne powodujące m.in. nasilenie gwałtownych zjawisk pogodowych (np. nienotowane dotąd upały) przyczyniają się do zwiększenia świadomości proekologicznej i racjonalizację zachowań ludzkich w tym zakresie. Jednym z elementów świadomego wykorzystania zasobów naturalnych jest rozsądne korzystanie z energii elektrycznej w gospodarstwach domowych. Mimo ciągłego postępu technologicznego, tworzenia nowych energooszczędnych urządzeń, zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych w Polsce zachowuje tendencję wzrostową [1]. Dzieje się tak głównie ze względu na rosnącą liczbę urządzeń w otaczającej nas przestrzeni. Zwiększenie klasy energetycznej poszczególnych urządzeń staje się coraz trudniejsze i coraz bardziej kosztowne. Jednym z rozwiązań „świadomego” użytkownika energii elektrycznej jest zwracanie uwagi na źródło jej wytworzenia.

Świadomy prosument oprócz aspektu ekonomicznego może kierować się czynnikiem ekologicznym, np. wartością indeksu zielonej energii czyli stosunkiem energii wyprodukowanej przez odnawialne źródła energii do możliwej maksymalnej produkcji danej instalacji. W związku z tym kontrola zużycia energii w inteligentnym domu staje się jednym z głównych zadań stawianych przed systemami zarządzania i sterowania automatyką

domową. Może być realizowana przez planowanie działania urządzeń [3] lub też wykorzystywanie dostępnych urządzeń jako magazynów energii. Klasycznym przykładem może być dostosowanie czasu ładowania samochodu elektrycznego do celu maksymalnego wykorzystania energii produkowanej ze źródeł odnawialnych. Z punktu widzenia konsumenta istotna jest optymalizacja zużycia energii elektrycznej pod kątem jej kosztów oraz przesuwanie poboru energii na okresy, kiedy jest ona tańsza [4, 5].

1.1. Platforma SmartX

Do realizacji omówionego celu potrzebne są platformy umożliwiające kontrolę, konfigurację i tworzenie reguł do zarządzania urządzeniami domowymi [6]. Dynamiczny rozwój technologii *smart home* umożliwia tworzenie już takich systemów. Jednak producenci tworząc swoje rozwiązania stosują tylko urządzenia wyprodukowane przez siebie. W przypadku użycia urządzeń wielu producentów, istotne staje się stworzenie rozwiązania integrującego te urządzenia w jeden system. Takim rozwiązaniem jest Platforma SmartX, która umożliwia zarządzanie urządzeniami IoT [7].

1.2. Konektor Sonoff-MQTT

Jednym z konektorów działających na platformie SmartX jest konektor Sonoff MQTT. Pozwala on na współpracę platformy i inteligentnych wyłączników z pomiarem mocy Sonoff za pośrednictwem protokołu MQTT. Protokół MQTT (ang. *MQ Telemetry Transport*) [8] wykorzystuje wzorzec wydawca/subskrybent. Jest prostym protokołem transmisji danych, często stosowanym w systemach automatyki. Podstawowym przeznaczeniem protokołu jest komunikacja między urządzeniami, które nie wymagają dużej przepustowości. Zastosowania protokołu MQTT obejmują m.in. połączenia maszyna-maszyna, komunikację w systemach IoT i komunikację między urzą-

Autor korespondujący:

Bartosz Kowalczyk, bartosz.kowalczyk@connectpoint.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 26.05.2020 r., przyjęty do druku 10.09.2020 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

dzeniami mobilnymi. Protokół MQTT został opracowany w 1999 r. przez Andy'ego Stanforda-Clarka i Arlena Nipperera.

Konektor Sonoff-MQTT pozwala platformie SmartX działać jako klient MQTT, dzięki czemu elementy platformy mogą wysyłać i odbierać komunikaty przesyłane za pośrednictwem brokera MQTT. Konektor nie zapewnia funkcjonalności brokerów, dlatego niezbędne są zewnętrzne brokery, np. oprogramowanie Mosquitto lub inne. Konektor Sonoff-MQTT obsługuje komunikację z dwoma typami inteligentnych urządzeń firmy Sonoff, tj. Sonoff S20 Smart Socket Power Switch oraz Sonoff Pow [9]. Sonoff S20 Smart Socket Power Switch to inteligentna wtyczka z komunikacją Wi-Fi w standardzie EU/US/UK/CN/AU. Z kolei Sonoff POW Power Switch to bezprzewodowy inteligentny przełącznik zasilania z funkcją monitorowania zużycia energii elektrycznej. Zdalny wyłącznik zasilania Sonoff Pow działa podobnie jak licznik energii, umożliwiając obliczanie zużycia energii elektrycznej oraz zdalne sterowanie podłączonymi urządzeniami elektrycznymi za pośrednictwem bezprzewodowej sieci Wi-Fi. Konektor Sonoff-MQTT obsługuje m.in. funkcję zdalnego załączania i wyłączania urządzeń za pośrednictwem inteligentnych wtyczek Sonoff S20 i Sonoff POW oraz monitorowanie mocy i pomiar zużytej energii w czasie rzeczywistym.

1.3. Indeks zielonej energii

W ciągu ostatnich lat można zauważyć ogromny wzrost w sektorze osobistych urządzeń elektronicznych. Ze względu na dużą konkurencję wśród producentów, cena takich urządzeń nie jest wygórowana. Skutkuje to ciągłym wzrostem zużycia energii elektrycznej przypadającym na pojedynczego konsumenta [1]. Dla przykładu na rys. 1 przedstawiono zużycie energii przez gospodarstwa domowe w Polsce w latach 2008–2017. Odpowiedzią na ciągłe zwiększanie poziomu zapotrzebowania na energię elektryczną jest coraz większa produkcja energii [10]. Powoduje to wzrost emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, co wpływa negatywnie na środowisko [11]. Równoległe ze wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną, w społeczeństwie budowana jest świadomość ochrony środowiska. Wynika to między innymi z przepisów dotyczących ochrony środowiska oraz programów krajowych [12].

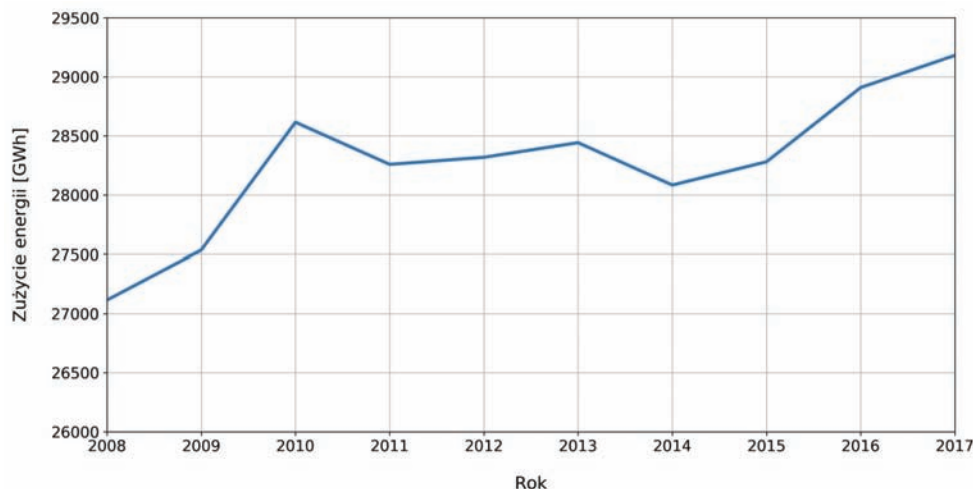
Świadomość w dziedzinie ochrony środowiska rośnie również wśród dostawców energii elektrycznej. Ze względu na konkurencję na rynku energii, dostawcy w celu ściągnięcia do siebie jak największej liczby konsumentów prześcigają się w cenach swoich taryf energetycznych. Na cenę wpływ może mieć część energii, która pochodzi ze źródeł odnawialnych, tj. elektrowni wiatrowych czy też fotowoltaicznych [13]. Energię wypro-

dukowaną w ten sposób określa się mianem *zielona energia*. Wielkość, która opisuje stosunek wartości bieżącej produkcji zielonej energii do wartości maksymalnej produkcji zielonej energii, wyznaczonej w danym okresie, określa się jako indeks zielonej energii (IZE) [14]. Wielkość tę wyraża się w procentach. Należy podkreślić, że IZE jest każdorazowo obliczany na podstawie pomiarów energii wytworzonej w instalacji prosumenckiej użytkownika, pochodzącej bezpośrednio z odnawialnych źródeł energii. Wartość indeksu zmienia się w zakresie 0–100%.

Jedną z najważniejszych funkcji systemu SmartX jest ciągły monitoring infrastruktury IoT użytkownika. Szczególnie istotne są inteligentne gniazdko elektryczne wyposażone w urządzenia umożliwiające bieżące pomiary energii elektrycznej. Na podstawie zebranych danych możliwe jest wytworzenie profilu energetycznego użytkownika. System SmartX jest również wyposażony w mechanizm subskrypcji indeksu zielonej energii. Na jego podstawie możliwe jest utworzenie dedykowanych reguł, które w sposób automatyczny mogą sterować wybranymi inteligentnymi gniazdkami, wyłączając je lub załączając w zależności od zdefiniowanej wartości progowej indeksu zielonej energii.

Możliwości, jakie daje Platforma SmartX, tj. wprowadzenie indeksu zielonej energii oraz powiązanie go z zachętami finansowymi, wzorowane są na potrzebach zgłaszanych na rynku niemieckim, gdzie ze względu na wysoki udział odnawialnych źródeł energii w ogólnej produkcji energii elektrycznej istnieje potrzeba jak największego wykorzystania tej energii w miejscu jej wyprodukowania, tak by w mniejszym stopniu obciążać sieć elektroenergetyczną. W Polsce problemy te jeszcze w takim stopniu nie występują, brakuje również odpowiednich uregulowań prawnych. Jednak biorąc pod uwagę wymogi stawiane przed Polską dotyczącej udziału OZE w produkcji energii elektrycznej, wprowadzane mechanizmy wsparcia i zwiększające się moce produkcyjne OZE w ciągu kilku następnych lat staniemy przed problemem zagospodarowania zielonej energii.

W celu zachęcenia użytkowników do jeszcze aktywniejszego korzystania z energii elektrycznej w czasie trwania wysokiego indeksu zielonej energii, system SmartX jest wyposażony w warstwę połączeniową z technologią łańcucha bloków. Jeżeli dostawca energii elektrycznej jest równocześnie aktywnym uczestnikiem na rynku kryptowalutowym w sieci Ethereum, wtedy ma możliwość zaoferowania swojemu klientowi (odbiorcy energii elektrycznej) automatycznego przekazania benefitu w postaci zasilania jego prywatnego konta środkami Ether, w zależności od przekazanego zużycia.



Rys. 1. Zużycie energii elektrycznej przez gospodarstwa domowe w latach 2008–2017 [1]

Fig. 1. Household Energy usage in years 2008–2017 [1]

1.4. Baza danych czasu rzeczywistego InfluxDB

Jednym z niezbędnych elementów infrastruktury IoT, w szczególności warstwy przetwarzania danych jest system bazodanowy [15]. Z uwagi na to, że w warstwie przetwarzania stawiane są wysokie wymagania dotyczące m.in. wydajności i skalowalności, najczęściej wykorzystywanym sposobem przechowywania informacji są systemy baz danych czasu rzeczywistego.

Głównym mechanizmem utrwalania danych, działającym na platformie SmartX, jest baza danych InfluxDB. Stanowi ona magazyn danych

przeznaczony w szczególności do przechowywania szeregów czasowych. Dzięki wysokiej wydajności, wbudowanej kompresji i mechanizmowi zapytań umożliwia zapis danych w czasie rzeczywistym. Baza InfluxDB ma interfejsy API HTTP i CLI (ang. *Command Line Interface*), pozwalające na tworzenie połączeń między bazą a aplikacją użytkownika. Stanowi to uniwersalny sposób komunikacji między aplikacjami działającymi w czasie rzeczywistym, możliwy do implementacji m.in. w systemach automatyki i IoT.

Interakcja z danymi jest realizowana za pomocą języka zapytań InfluxQL. Dzięki temu możliwa jest realizacja funkcji specyficznych do przechowywania i analizowania danych szeregów czasowych. InfluxQL obsługuje też wyrażenia regularne i wyrażenia arytmetyczne.

Baza danych InfluxDB może obsługiwać miliony punktów danych na sekundę. Z uwagi na to, że przetwarzanie tak dużej ilości danych przez długi okres czasu może prowadzić do problemów z pamięcią masową, w programie przewidziano możliwość automatycznej kompresji danych. Pozwala to zminimalizować wymagania dotyczące przestrzeni dyskowej. Baza wspiera też takie funkcje, jak próbkowanie danych w dół (zmniejszanie rozdzielczości czasowej danych), przechowywanie surowych danych o wysokiej precyzji przez ograniczony czas i przechowywanie agregowanych danych o niższej precyzji przez znacznie dłuższy czas.

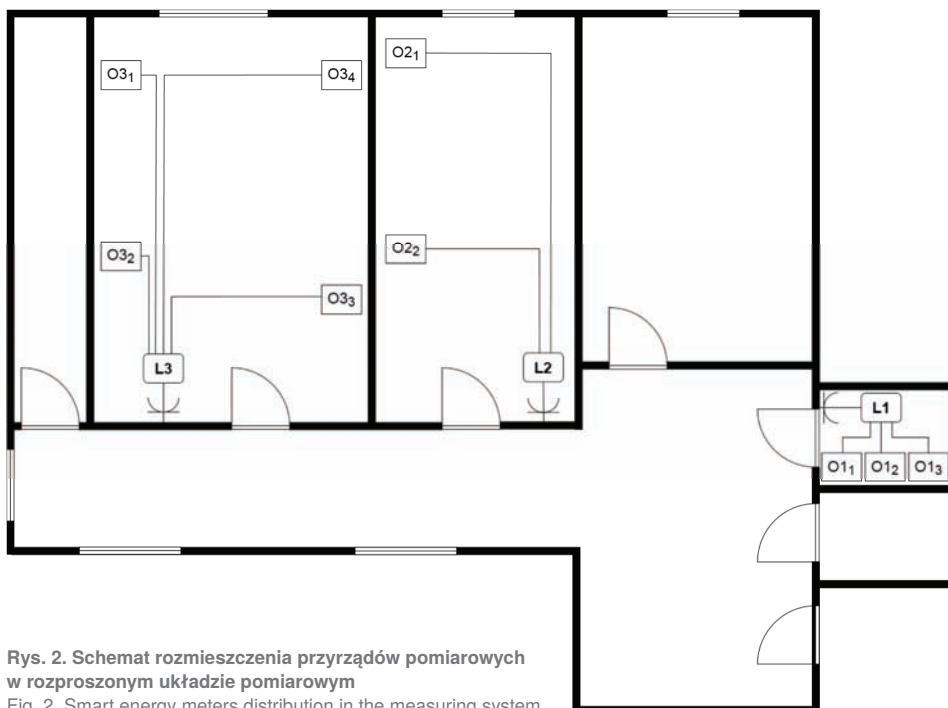
Podstawową jednostką danych w bazie InfluxDB jest pomiar, który pełni rolę pojemnika na znaczniki, pola i znacznik czasowy. Nazwa pomiaru jest opisem danych przechowywanych w powiązanych polach. Pomiar jest koncepcyjnym odpowiednikiem tabeli stosowanej m.in. w relacyjnych bazach danych. W pracy opisano przykładowe zastosowanie platformy SmartX do akwizycji danych z liczników energii elektrycznej. Dane te zostały utrwalone za pomocą oprogramowania InfluxDB skonfigurowanego do współpracy z platformą SmartX. Rejestrowane wartości stanowiły pomiary (szeregi czasowe) związane z poszczególnymi stanami liczników energii elektrycznej zainstalowanych w środowisku testowym. Dzięki takiemu podejściu możliwy był natychmiastowy zdalny dostęp do historycznych wartości stanów tych liczników, a co za tym idzie analiza danych zaprezentowana w części 3. niniejszej pracy.

2. Pomiary zużycia energii elektrycznej z wykorzystaniem platformy SmartX

2.1. Układ pomiarowy

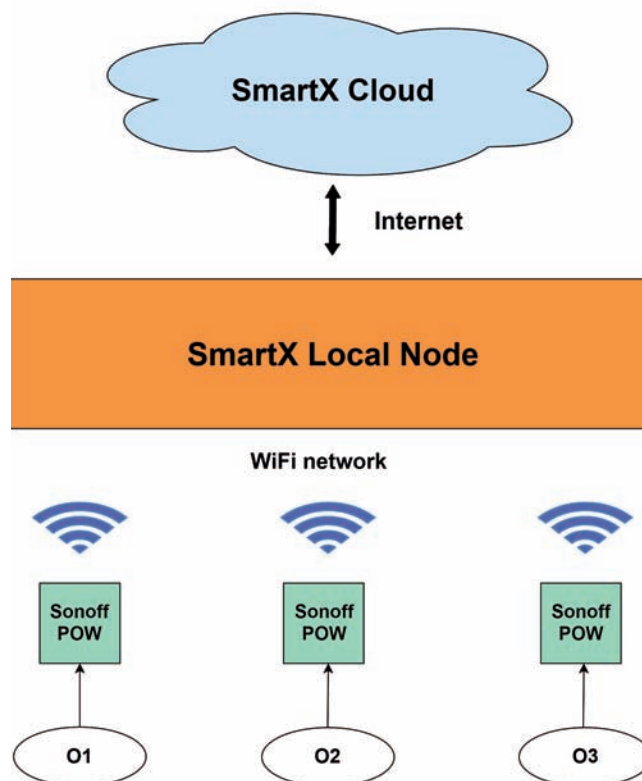
Badania eksperymentalne przeprowadzono w rozproszonym układzie pomiarowym. Rozmieszczenie przyrządów pomiarowych wchodzących w skład układu wewnątrz pomieszczeń biurowych zaprezentowano na rys. 2.

W skład układu wchodziły trzy inteligentne liczniki energii czynnej, oznaczone symbolami $L1$, $L2$, $L3$. Do każdego z liczników podłączono urządzenia o różnym profilu zużycia energii elektrycznej. Na schemacie przyjęto następujące oznaczenia odbiorników energii elektrycznej: $O1_1$ – kuchenka mikrofalowa, $O1_2$ – ekspres do kawy, $O1_3$ – lodówka, $O2_1$ – czajnik, $O2_2$ –



router bezprzewodowy, $O3_1$, $O3_2$ – drukarka, $O3_3$ – dystrybutor wody, $O3_4$ – switch sieciowy. Wyniki pomiarów rejestrowane przez przyrządy były następnie przetwarzane z wykorzystaniem platformy SmartX. Na rys. 3 przedstawiono uproszczony schemat blokowy przetwarzania danych pomiarowych z wykorzystaniem platformy SmartX.

Na rys. 3 przyjęto następujące oznaczenia: SmartX Cloud – oprogramowanie do zarządzania lokalnymi jednostkami przetwarzania danych pomiarowych, SmartX Local Node – lokalna jednostka (węzeł) przetwarzania danych pomiarowych, z zain-



Rys. 3. Uproszczony schemat przetwarzania danych pomiarowych z wykorzystaniem platformy SmartX
Fig. 3. Simplified data flow in the measuring system and SmartX platform

stalowanym oprogramowaniem SmartX Local Node, minikomputer SBC, Sonoff POW – inteligentne liczniki energii, $O1$, $O2$, $O3$ – odbiorniki energii elektrycznej.

2.2. Metodyka badań

W pracy przeprowadzono pomiary i analizę zużycia energii elektrycznej czynnej z wykorzystaniem liczników Sonoff POW oraz platformy SmartX wyposażonej w konektor Sonoff MQTT. Metodyka badań obejmowała następujące etapy:

1. Akwizycja danych pomiarowych za pomocą inteligentnych liczników. Dane rejestrowano w bazie szeregów czasowych InfluxDB.
2. Eksport danych z bazy InfluxDB do plików tekstowych.
3. Import danych do interaktywnego środowiska przetwarzania i analizy danych. Środowisko zostało stworzone w języku Python z wykorzystaniem bibliotek Pandas/NumPy.
4. Przetwarzanie danych, w tym m.in. oczyszczanie danych z wartości brakujących, resampling, wybór horyzontów czasowych analizy, profilowanie zużycia energii elektrycznej dla poszczególnych obwodów.
5. Analiza wyników przetwarzania danych.

Pierwszym etapem badań była akwizycja danych reprezentujących zużycie energii. W trakcie pomiarów platforma SmartX za pośrednictwem konektora Sonoff MQTT prowadziła odczyt i rejestrację wartości rejestrów liczników energii czynnej dla poszczególnych obwodów, zgodnie z rys. 2 i 3 z rozdzielczością czasową $\tau_s = 15$ s. Wartości zużycia wraz z odpowiadającymi znacznikami czasowymi były zapisywane w bazie InfluxDB. W dalszej kolejności dane, za pośrednictwem plików tekstowych eksportowano do interaktywnego środowiska przetwarzania danych, zaimplementowanego w języku Python, z wykorzystaniem pakietów NumPy, Pandas oraz środowiska Jupyter. Do graficznej reprezentacji wyników zastosowano pakiet Matplotlib. W przypadku rejestracji długich szeregów czasowych, zapisywanych z dużą rozdzielczością czasową, tj. krótkim okresem próbkowania, wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia braków danych. Z tego powodu jednym z pierwszych etapów przetwarzania było wykrycie braków oraz przeprowadzenie uzupełnienia. Z uwagi na stabilne działanie systemu akwizycji i krótkie przerwy w seriach danych, wartości brakujące zastępowano średnią uzyskaną z sąsiednich próbek. Dodatkowo wstępna analiza pozwoliła na wybór zakresów czasowych pozbawionych braków danych. Analizując dane pomiarowe stworzono dobowe i tygodniowe profile zużycia energii dla poszczególnych obwodów.

Jednocześnie ze zużyciem energii dla wybranych horyzontów czasowych, rejestrowano wartości indeksu zielonej energii (IZE). Dla potrzeb niniejszej pracy, IZE wyznaczono na podstawie pomiarów produkcji energii pochodzącej z rzeczywistej instalacji fotowoltaicznej o mocy maksymalnej 10 kWp. Do akwizycji danych wykorzystano system rejestracji dostępny w systemie zarządzania i monitorowania Victron Energy. W okresie od 1 stycznia 2019 r. do 31 marca 2020 r. rejestrowano 15-minutowe wartości produkcji. Następnie uzyskane wartości agregowano do okresów godzinowych. Na tej podstawie wyznaczono maksymalną wartość godzinową produkcji zielonej energii z opisywanej instalacji fotowoltaicznej, we wskazanym okresie. Wartość ta odpowiada 100% IZE.

2.3. Wyniki badań

Na rys. 4–15 zaprezentowano wyniki pomiarów w postaci profili zużycia energii elektrycznej dla obwodów $L1$, $L2$ oraz $L3$. Profile zużycia energii w okresie 01.11.2019 – 07.11.2019 przedstawiono na rys. 4–9. Na rys. 4–6 pokazano dobowe profile zużycia energii (wartości dla poszczególnych godzin) dla obwodów pomiarowych $L1$, $L2$ i $L3$ oraz godzinowe wartości indeksu

zielonej energii w dniu 06.11.2019 r. Dodatkowo na rys. 7–9 zaprezentowano tygodniowe profile zużycia energii dla wymienionych obwodów w okresie 01.11.2019 – 07.11.2019.

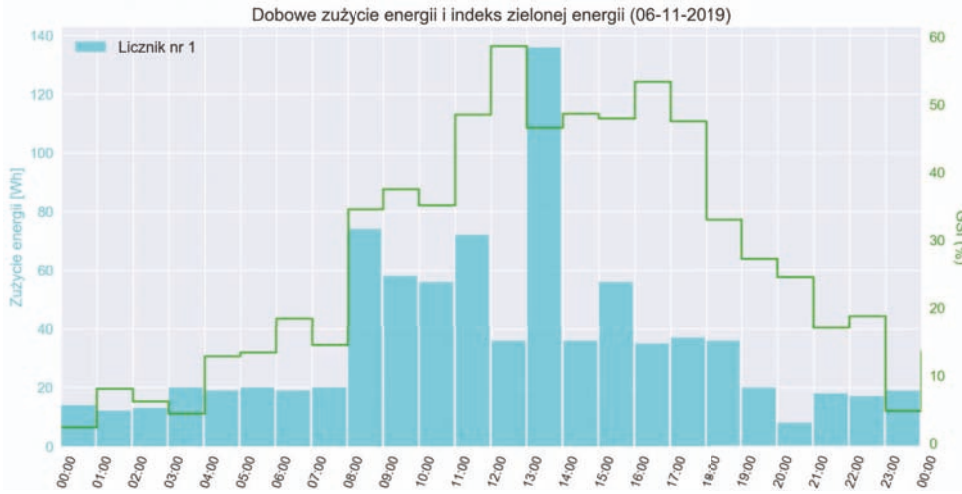
Analizując wyniki przedstawione na rys. 4–9 można stwierdzić, że największe zużycie energii w obwodach $L1$ i $L2$ obserwuje się w godzinach między 8:00 a 15:00. Dodatkowo największe zużycie energii zostało zarejestrowane w obwodzie $L3$. Co więcej, profil zużycia dla obwodu $L3$ wykazuje dużo mniejszą zmienność niż w przypadku pozostałych dwóch obwodów, zarówno w ujęciu dobowym, jak i tygodniowym. Z profili tygodniowych wynika, że zużycie energii w dniach roboczych, rejestrowane w obwodach $L1$ i $L2$ jest większe niż w dniach wolnych od pracy. Z kolei w $L3$ zużycie wydaje się być niezależne od dnia tygodnia. Podobne wnioski można sformułować analizując profile przedstawione na rys. 10–15. Oprócz profili zużycia energii na rys. 4–6 oraz 10–12 zaprezentowano profile godzinowe indeksu zielonej energii. Porównując wartości zużycia i wartości IZE można zauważyć, że profile zużycia energii w poszczególnych obwodach nie są dopasowane do przebiegów dobowych IZE. Wynika z tego, że w przypadku uzależnienia cen energii od indeksu IZE, w celu optymalizacji kosztów niezbędna jest zmiana zachowań użytkownika, aby maksymalnie dopasować profil zużycia do profilu IZE.

Na podstawie prezentowanych wyników można stwierdzić, że dopasowanie profilu zużycia i IZE nie jest możliwe w każdym przypadku (obwód $L3$ – urządzenia wymagające stałego zasilania, o stałym zużyciu energii, tj. przełącznik sieciowy). Na rys. 10–15 zaprezentowano profile zużycia energii w okresie 09.03.2020 – 15.03.2020. Profile dobowe zużycia energii dla obwodów pomiarowych $L1$, $L2$ i $L3$ oraz godzinowe wartości indeksu zielonej energii w dniu 11.03.2020 r. pokazano na rys. 10–12. Tygodniowe profile zużycia energii dla wymienionych obwodów w okresie 09.03.2020 – 15.03.2020 przedstawiono na rys. 13–15.

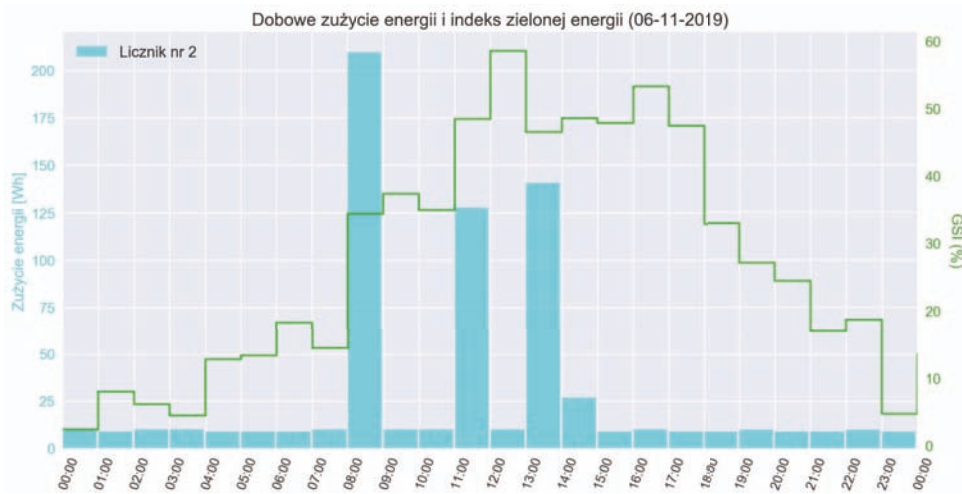
3. Wnioski

W artykule przedstawiono platformę SmartX. Jej podstawową cechą jest możliwość akwizycji danych pomiarowych z wielu źródeł za pośrednictwem różnych protokołów komunikacyjnych. W trakcie badań stwierdzono, że zastosowanie platformy SmartX pozwala m.in. na uzyskiwanie wysokiej jakości danych pomiarowych z inteligentnych liczników energii oraz serwisów danych pogodowych. W pracy przeprowadzono badania zużycia energii elektrycznej z zastosowaniem opisywanej platformy. Analizując wyniki badań sformułowano następujące wnioski:

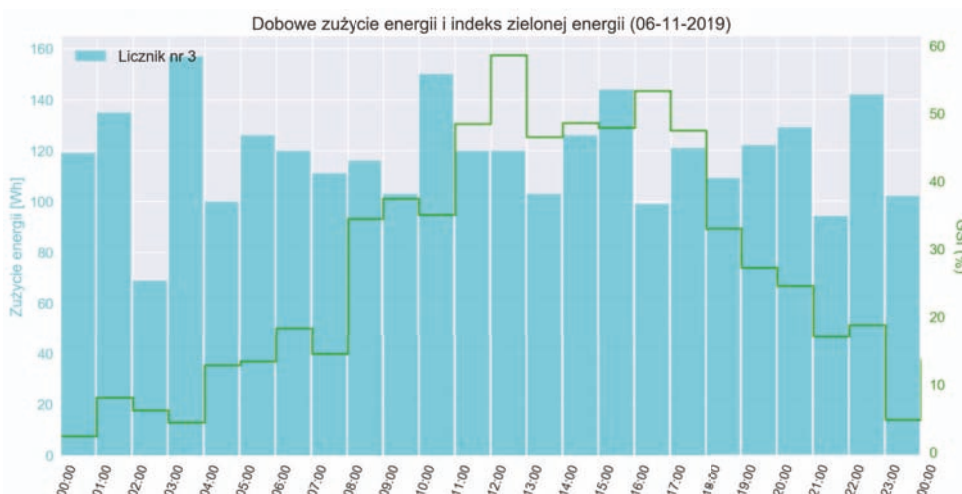
- Platforma SmartX jest elastycznym narzędziem integrującym protokoły dostępu do danych pomiarowych.
- Dzięki istniejącemu na platformie SmartX systemowi utrwalania zarejestrowanych szeregów czasowych, z wykorzystaniem mechanizmów baz czasu rzeczywistego, możliwe jest przechowywanie i zarządzanie danymi w celu późniejszej ich analizy w trybie off-line.
- Platforma SmartX umożliwia ciągle monitoring infrastruktury IoT użytkownika, m.in. inteligentnych gniazdek elektrycznych, z możliwością zdalnego wyłączenia/załączenia i prowadzenia bieżących pomiarów energii elektrycznej.
- Istotnym impulsem dla oszczędzania energii, a także sposobem na kształtowanie profilu zużycia energii może być zaprezentowany w pracy indeks zielonej energii (IZE).
- Dzięki zastosowaniu platformy SmartX możliwa jest rejestracja i analiza dobowych profili zużycia energii zaprezentowanych na rys. 4–6 i 10–12 oraz ich porównanie z dobowymi profilami IZE. Należy zauważyć, że platforma pozwala na rejestrację profili zużycia dla różnych horyzontów czasowych, dla przykładu tygodniowych zaprezentowanych na rys. 7–9 oraz 13–15.



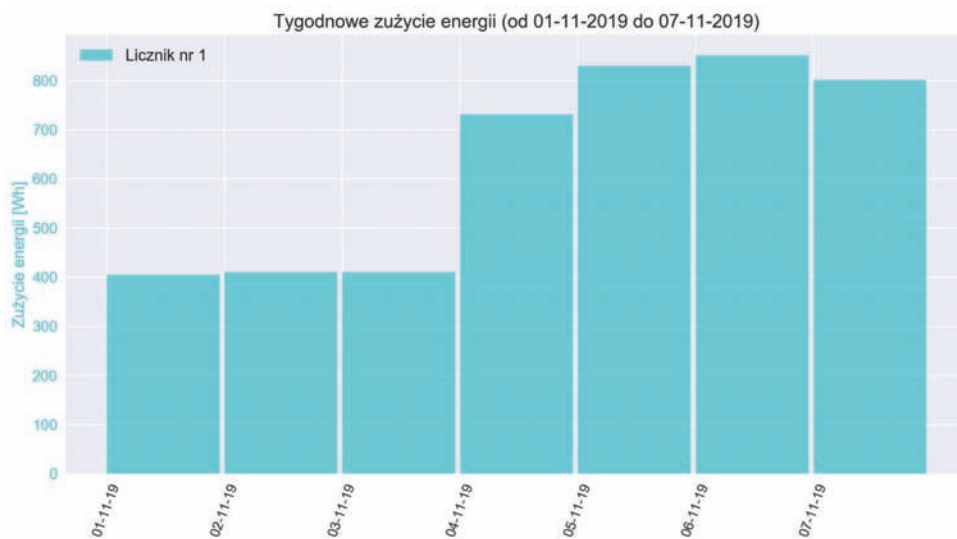
Rys. 4. Dobowy profil zużycia energii dla obwodu L1 wraz z dobowym profilem indeksu zielonej energii IZE w dniu 06.11.2019 r.
 Fig. 4. The daily energy consumption profile for the L1 circuit and the daily profile of the green energy index on 06.11.2019



Rys. 5. Dobowy profil zużycia energii dla obwodu L2 wraz z dobowym profilem indeksu zielonej energii IZE w dniu 06.11.2019 r.
 Fig. 5. The daily energy consumption profile for the L2 circuit and the daily profile of the green energy index on 06.11.2019

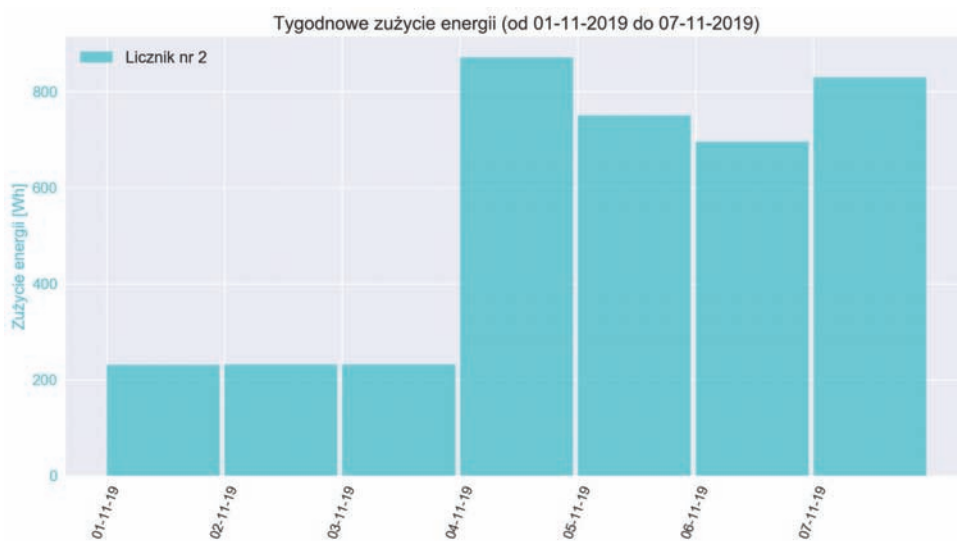


Rys. 6. Dobowy profil zużycia energii dla obwodu L3 wraz z dobowym profilem indeksu zielonej energii IZE w dniu 06.11.2019 r.
 Fig. 6. The daily energy consumption profile for the L3 circuit and the daily profile of the green energy index on 06.11.2019



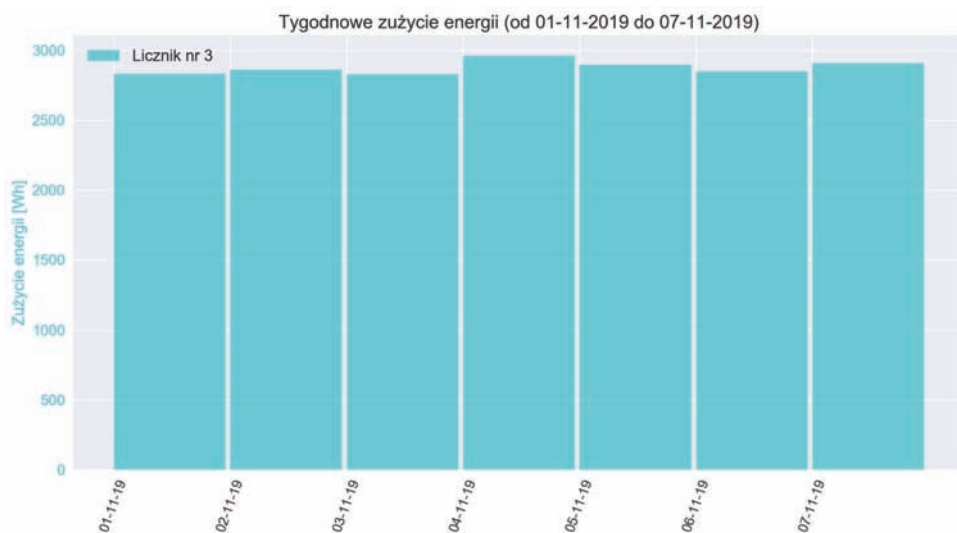
Rys. 7. Tygodniowy profil zużycia energii dla obwodu L1 w okresie 01.11.2019 – 07.11.2019

Fig. 7. Weekly energy consumption profile for the L1 circuit in the period 01.11.2019 – 07.11.2019



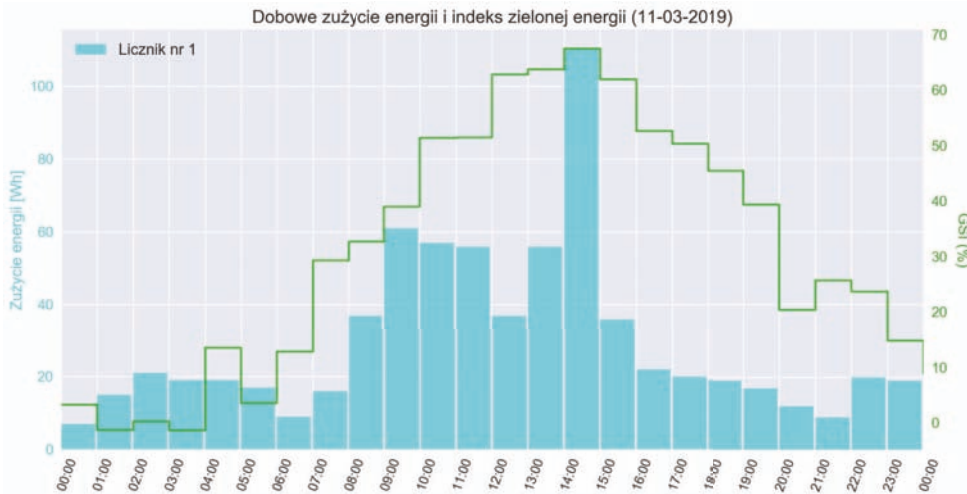
Rys. 8. Tygodniowy profil zużycia energii dla obwodu L2 w okresie 01.11.2019 – 07.11.2019

Fig. 8. Weekly energy consumption profile for the L2 circuit in the period 01.11.2019 – 07.11.2019



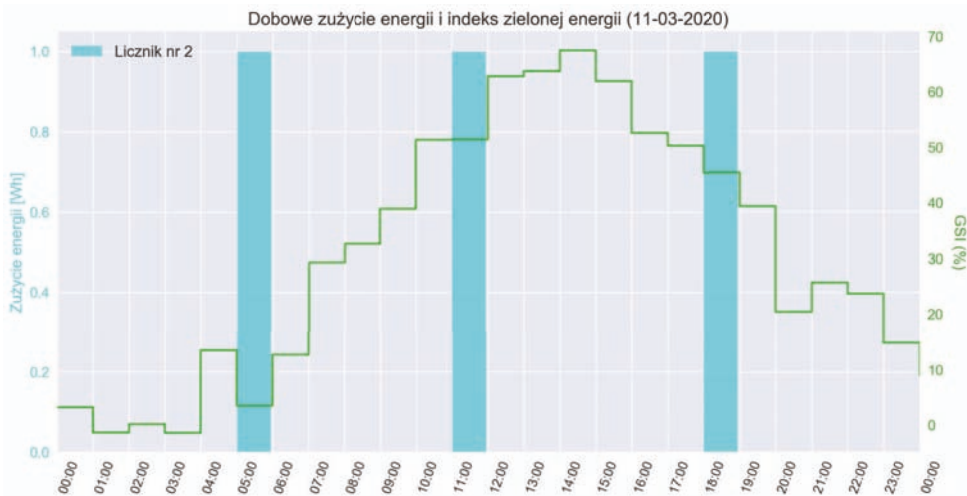
Rys. 9. Tygodniowy profil zużycia energii dla obwodu L3 w okresie 01.11.2019 – 07.11.2019

Fig. 9. Weekly energy consumption profile for the L3 circuit in the period 01.11.2019 – 07.11.2019



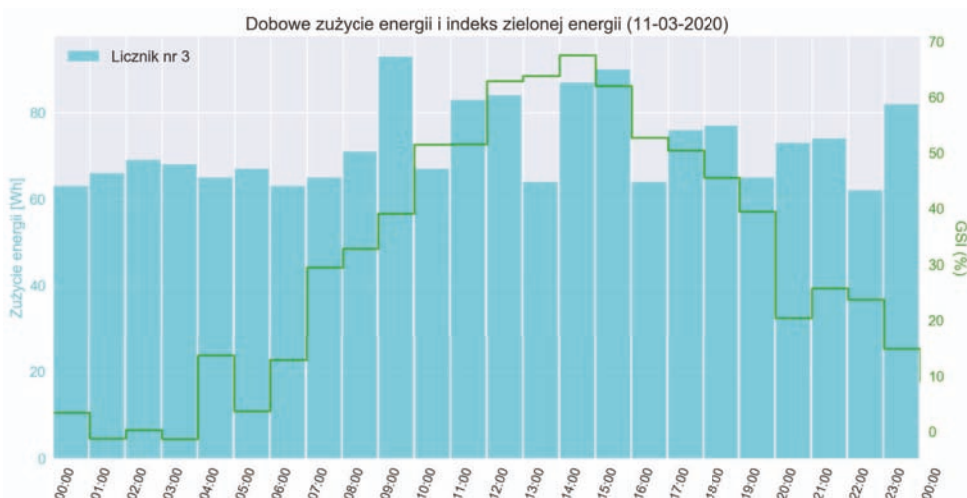
Rys. 10. Dobowy profil zużycia energii dla obwodu L1 wraz z dobowym profilem indeksu zielonej energii IZE w dniu 11.03.2020 r.

Fig. 10. The daily energy consumption profile for the L1 circuit and the daily profile of the green energy index on 11.03.2020



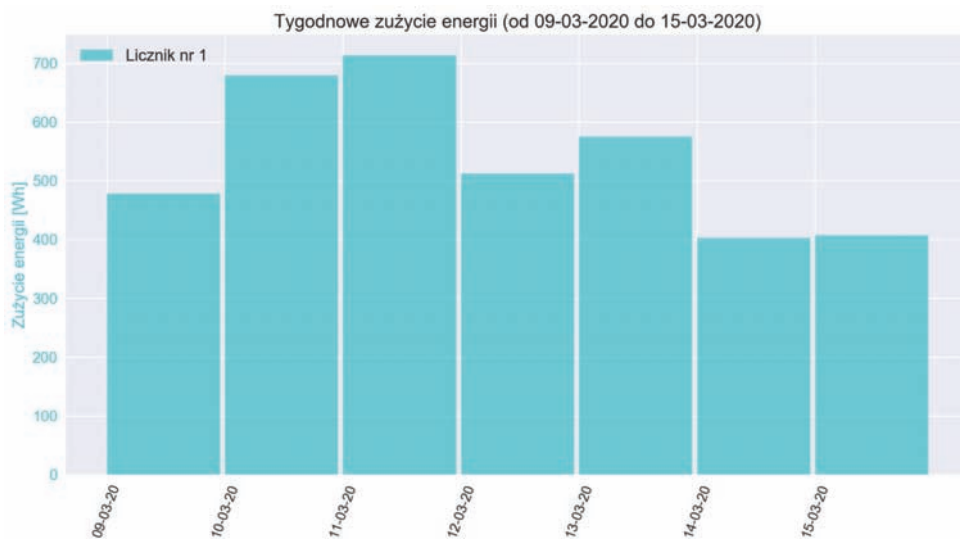
Rys. 11. Dobowy profil zużycia energii dla obwodu L2 wraz z dobowym profilem indeksu zielonej energii IZE w dniu 11.03.2020 r.

Fig. 11. The daily energy consumption profile for the L2 circuit and the daily profile of the green energy index on 11.03.2020

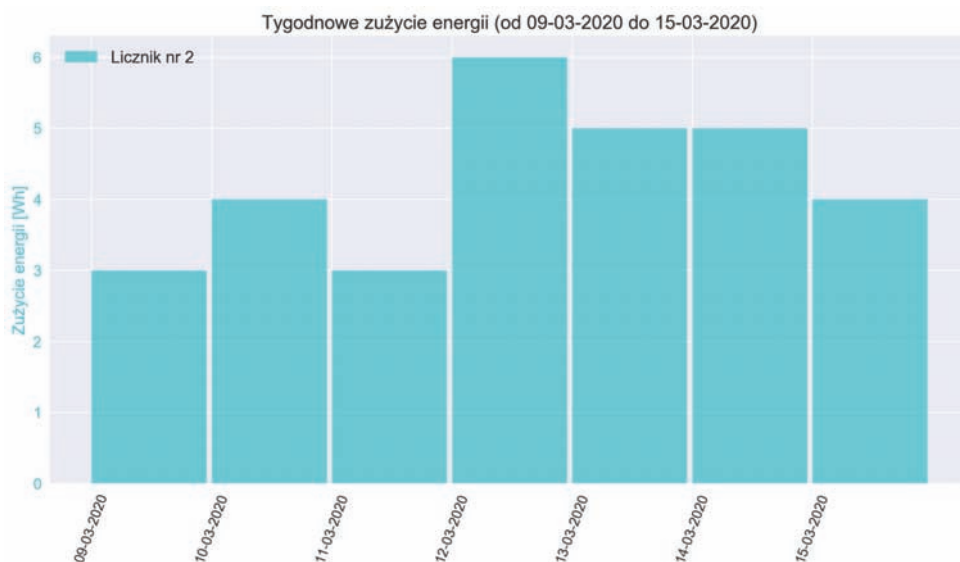


Rys. 12. Dobowy profil zużycia energii dla obwodu L3 wraz z dobowym profilem indeksu zielonej energii IZE w dniu 11.03.2020 r.

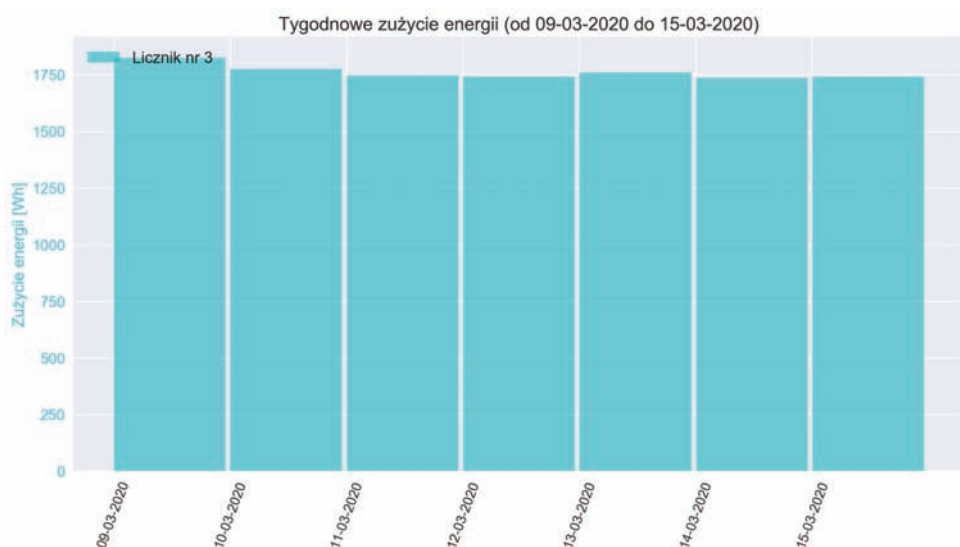
Fig. 12. The daily energy consumption profile for the L3 circuit and the daily profile of the green energy index on 11.03.2020



Rys. 13. Tygodniowy profil zużycia energii dla obwodu L1 w okresie 09.03.2020 – 15.03.2020
 Fig. 13. Weekly energy consumption profile for the L1 circuit in the period 09.03.2020 – 15.03.2020



Rys. 14. Tygodniowy profil zużycia energii dla obwodu L2 w okresie 09.03.2020 – 15.03.2020
 Fig. 14. Weekly energy consumption profile for the L2 circuit in the period 09.03.2020 – 15.03.2020



Rys. 15. Tygodniowy profil zużycia energii dla obwodu L3 w okresie 09.03.2020 – 15.03.2020
 Fig. 15. Weekly energy consumption profile for the L3 circuit in the period 09.03.2020 – 15.03.2020

Przedstawiony przykłał był prototypem i jednǳ lokalizacjǳ, w kt3rej moųna byo przetestowaó elementy platformy SmartX. Autorzy zduǳ sobie sprawǳ, ių przedstawiony przykłał odbior3w zlokalizowanych w biurze, ze wzg3lelu na sw3j charakter, nie umoųliwia dopasowania zuųycia energii do indeksu zielonej energii. Platforma SmartX docelowo ma byó stosowana przez gospodarstwa domowe, wsp3lnoty mieszkaniowe lub przedsi3biorstwa, kt3re ze wzg3lelu na charakter swojej dzia3lnoóci moųu wp3lywaó na sw3j profil zuųycia energii elektrycznej. Œwiadome kształtowanie profilu zuųycia energii elektrycznej, planowanie zuųycia w zaleųnoóci od przewidywanej produkcji energii z odnawialnych ųróde3 energii czy teų reagowanie przez tworzenie regu3 moųe wp3lynaó pozytywnie na Krajowy System Energetyczny. Oczywiócie zaleųy to od liczby zaangażowanych odbiorców. W przysz3oóci, po zgromadzeniu odpowiednio d3ugiej historii zuųycia i produkcji energii elektrycznej, moųliwe b3dzie przeprowadzenie analizy profilu konsumenta pod kǳtem doboru odpowiedniej taryfy, co pozwoli zoptymalizowaó koszty pozyskania energii elektrycznej. Analiza korelacji indeksu zielonej energii i zuųycia energii elektrycznej oraz wprowadzenie korzyóci dla konsument3w (co umoųliwia platforma SmartX) moųe doprowadzió do zmiany zachowania konsument3w co do czasu i intensywnoóci korzystania z urzǳe3w elektrycznych.

Podzi3kowania

Artyku3 powsta3 w ramach dzia3a3w majǳcych na celu rozpowszechnienie rezultat3w osiǳgni3tych w ramach projektu POIR.01.01.01-00-0767/17 „SmartX platforma do integracji rozwiǳza3w inteligentnego budynku” wsp3finansowanego ze ųrodk3w Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Bibliografia

1. Supply, transformation and consumption of electricity, *Final consumption – other sectors – households – energy use*, 2019. Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>.
2. Langendahl P., Roby H., Potter S., Cook M., *Smoothing peaks and troughs: Intermediary practices to promote demand side response in smart grids*, “Energy Research & Social Science”, Vol. 58, 2019, DOI: 10.1016/j.erss.2019.101277.
3. Khemakhem S., Rekik M., Krichen L., *Double layer home energy supervision strategies based on demand response and plug-in electric vehicle control for flattening power load curves in a smart grid*, “Energy”, Vol. 167, 2020, 312–324, DOI: 10.1016/j.energy.2018.10.187.
4. Luo F., Kong W., Ranzi G., Dong Z.Y., *Optimal Home Energy Management System with Demand Charge Tariff and Appliance Operational Dependencies*, “IEEE Transactions on Smart Grid”, Vol. 11, No. 1, 2020, 4–14, DOI: 10.1109/TSG.2019.2915679.
5. Molla T., Khan B., Moges B., Alhelou H.H., Zamani R., Siano P., *Integrated Optimization of Smart Home Appliances with Cost-effective Energy Management System*, “CSEE Journal of Power and Energy Systems”, Vol. 5, No. 2, 2019, 249–258, DOI: 10.17775/CSEEJPES.2019.00340.

6. Zhou B., Li W., Chan K.W., Cao Y., Kuang Y., Liu X., Wang X., *Smart home energy management systems: Concept, configurations and scheduling strategies*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Vol. 61, 2016, 30–40, DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.047.
7. Kowalczyk B., Szelaǳ P., *SmartX – Platforma do zarzǳdzania urzǳzeniami IoT*, „Rynek Energii”, Nr 2(147), 2020, 54–60.
8. Machine-to-machine (M2M), <http://mqtt.org/>.
9. Sonoff, <https://sonoff.tech/>
10. Supply, transformation and consumption of electricity, *Available for final consumption*, 2019. Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>.
11. Liu L., Huang G., Baetz B., Guan Y., Zhang K., *Multi-Dimensional Hypothetical Fuzzy Risk Simulation model for Greenhouse Gas mitigation policy development*, “Applied Energy”, Vol. 261, 2020, DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114348.
12. *Krajowy Program Ochrony Powietrza do Roku 2020 (z perspektywǳ do 2030)*, Ministerstwo Œrodowiska, Departament Ochrony Powietrza, Warszawa 2017.
13. Pop3awski T., Szelaǳ P., *Wykorzystanie wyk3adnika Hursta do przewidywania niestabilnoóci generacji wiatrowej*, „Rynek Energii”, Nr 5(114), 2014, 116–120.
14. Wang Y., Suna X., Wang B., Liu X., *Energy saving, GHG abatement and industrial growth in OECD countries: A green productivity approach*, “Energy”, Vol. 194, 2020, DOI: 10.1016/j.energy.2019.116833.
15. Sikder A.K., Petracca G., Aksu H., Jaeger T., Uluagac S., *A Survey on Sensor-based Threats to Internet-of-Things (IoT) Devices and Applications*, arxiv.org, Cornell University, Ithaca, New York 2018.

The SmartX Platform Application for the Measured Data Acquisition and Energy Management

Abstract: From the electricity consumer point of view, its usage cost reduction is very important. To achieve that the dedicated software systems are required. They are capable of acquiring data directly from smart energy meters and deliver rule engines and solutions for maintaining household devices. In the paper, the SmartX platform is presented. It is capable of acquisition of data directly from the smart energy meters. The platform integrates the IoT (Internet of Things) devices of various manufacturers. This is possible due to its flexible architecture which supports many communication protocols and can be easily extended by so-called protocol bindings. Thanks to that a generic home automation system can be created. In this paper, the dedicated measurement system based on the SmartX platform and Sonoff energy meters are presented. The created system has been used for energy data acquisition from a small office. The measurements took half of the year and the most interesting data is shown in the results section of the paper. The data analysis has been held with the Python programming language. Based on the achieved results several conclusions have been made. Based on them the usage of the SmartX platform and the dedicated measurement system leads to the optimization of the energy consumption and the cost reduction by the energy end-user.

Keywords: SmartX, measured data acquisition, smart home, IoT, internet of things

mgr inż. Bartosz Kowalczyk

bartosz.kowalczyk@connectpoint.pl
ORCID: 0000-0002-7683-9051

Pracuje w ConnectPoint Sp. z o.o. jako starszy programista. W swojej pracy uczestniczy w projektach informatycznych związanych z IoT. Jego zainteresowania naukowe to m.in. optymalizacja wykorzystania mediów.



dr inż. Piotr Szelaǳ

piotr.szelaǳ@connectpoint.pl
ORCID: 0000-0002-9528-3263

Pracuje w ConnectPoint Sp. z o.o. jako specjalista ds. protokołów komunikacyjnych. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na problematyce związanej z systemami automatyki domowej i optymalizacji zużycia energii elektrycznej.

