

System Zarządzania Energią

iEMS

White Paper

V1.2, 09.2025

Spis treści

1	Wprowadzenie.....	2
1.1	Definicja systemu EMS	2
1.2	Strategia systemu iEMS	3
2	Architektura.....	6
2.1	Sterownik lokalny	6
2.2	Chmura	7
2.3	Algorytmy	8
3	Interfejs użytkownika	10
3.1	Serwis www.....	10
3.1.1	Logowanie i konta użytkowników	10
3.1.2	Panele użytkownika.....	10
3.1.3	Panele serwisowe	11
3.2	API	13
4	Aplikacje iEMS	14
4.1	Systemy all-in-one.....	14
4.2	Instalacje przemysłowe, magazyny energii sparowane z OZE	15
4.3	Budynki publiczne, spółdzielnie energetyczne.....	15

1 Wprowadzenie

1.1 Definicja systemu EMS

System Zarządzania Energią (ang. Energy Management System – EMS) to układ do monitorowania i sterowania przepływami energii w dowolnym systemie. Jest jednostką nadrzędną, planującą pracę systemu, zawierającą reguły i/lub tworzącą harmonogramy pracy poszczególnych podległych mu urządzeń.

iEMS jest systemem dedykowanym do zarządzania energią w instalacjach wyposażonych w:

- instalacje wytwórcze,
- magazyny energii,
- ładowarki pojazdów elektrycznych,
- systemy grzewcze,
- odbiory energii.

Zasadniczym celem działania systemu jest optymalizacja kosztów energii. Prawidłowe kształtowanie profilu pracy urządzeń w odniesieniu do dynamicznie zmieniających się cen zakupu i sprzedaży energii elektrycznej pozwala na minimalizację kosztów zakupu oraz maksymalizację przychodu ze sprzedaży energii. System STAY-ON® *iEMS* wykorzystuje w tym celu:

- Predykcję bilansu energii (profilu obciążenia oraz generacji PV),
- Profil cen energii Rynku Dnia Następnego (lub na życzenie inne źródło cen energii).

Sercem *iEMS* jest bazujący na modelu matematycznym optymalizator, który wykorzystuje powyższe dane, aby wyznaczyć harmonogram pracy magazynów energii i sterowalnych odbiorów maksymalizujący wynik ekonomiczny.

iEMS pozwala także na sprzężenie instalacji z agregatorami usług regulacji popytu (np. rynek mocy), dzięki czemu klient może czerpać dodatkowe korzyści z realizacji usługi czasowego obniżenia poboru energii.

Ponadto *iEMS* może realizować funkcje techniczne takie, jak:

- strażnik mocy – minimalizacja opłaty za mocy zamówioną,
- kompensacja mocy biernej – uniknięcie opłat za przekroczenia mocy biernej,
- symetryzacja prądów – zmniejszenia strat przesyła i transformacji.

Obszary aplikacji *iEMS* to m.in.:

- Instalacje prosumenckie:
 - gospodarstwa domowe i rolne,
 - budynki użyteczności publicznej,
 - małe firmy.
- Sektor C&I:
 - obiekty handlowe i biurowe,
 - obiekty hotelowe i gastronomiczne,
 - zakłady przemysłowe,

- Energetyka zawodowa:
 - jednostki wytwórcze OZE,
 - samodzielne magazyny energii,
 - infrastruktura ładowania EV.

1.2 Strategia systemu iEMS

W obliczu rosnącej dynamiki zmian cen energii pasywne podejście do zużycia i produkcji energii prowadzi do zwiększenia kosztów zużycia energii elektrycznej i zmniejszenia zysków z instalacji wytwórczych. W szczególności instalacja lokalnego źródła PV staje się coraz mniej opłacalna – nadwyżki produkcji skorelowane są z niską rynkową ceną energii. Kluczową strategią obniżającą koszty energii jest w takim wypadku przesunięcie w czasie poboru energii na doliny cenowe, a oddawania energii – na szczyty.

Rozwiązanie tego problemu wymaga to aktywnego podejścia do zarządzania zużyciem energii. Potencjalnym rozwiązaniem jest instalacja magazynu energii gromadzącego nadwyżki produkcji z OZE i następnie zasilającego nimi odbiory. Konwencjonalne strategie oparte są jedynie na bilansie energii na przyłączy i nie uwzględniają dynamiki zmian cen energii ani profili produkcji i zużycia energii. W odróżnieniu od konwencjonalnej strategii bilansowania nadwyżek, system *iEMS* dzięki zaawansowanym algorytmom wyznacza dla magazynu energii harmonogram optymalny z punktu widzenia ekonomicznego.

Dodatkowo, *iEMS* w procesie optymalizacji bierze pod uwagę ograniczenia techniczne wynikające z:

- z warunków przyłączenia do sieci elektroenergetycznej,
- preferencji użytkownika związanych z utrzymaniem zapasu energii na zasilanie rezerwowe,
- parametrów pracy magazynu energii, które wpływają na jego żywotność. Dzięki temu magazyn energii sterowany przez system *iEMS* charakteryzuje się wydłużoną żywotnością.

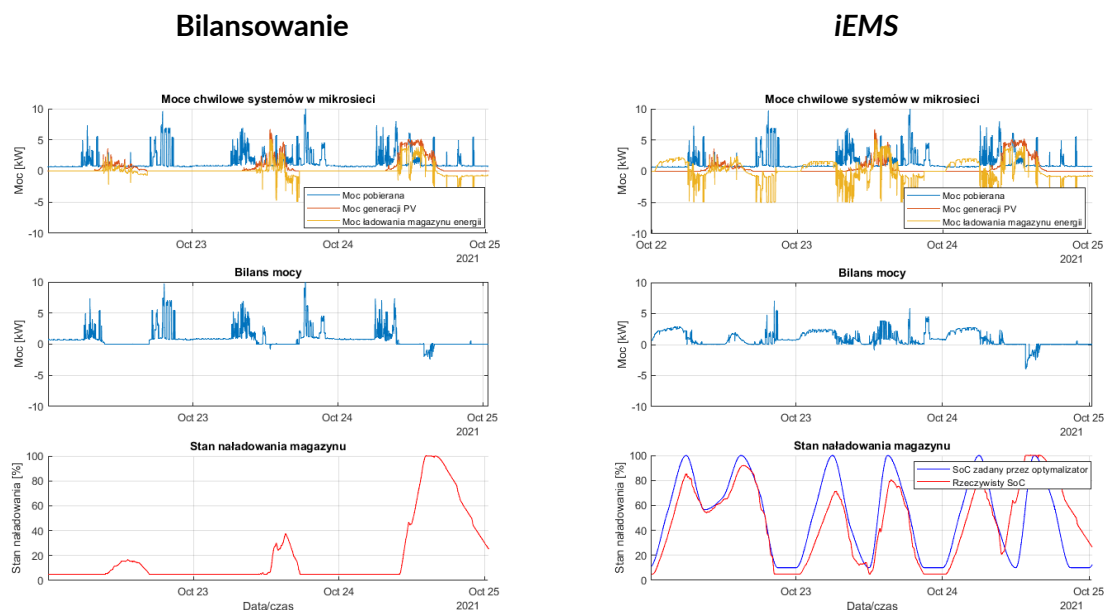
Przykład ukazany na Rysunek 1 ilustruje działanie *iEMS* w instalacji prosumenckiej przy zastosowaniu taryfy G12. W przypadku prostego bilansowania magazyn energii pozostaje przez większość czasu rozładowany, co nie tylko niekorzystnie wpływa na jego żywotność, ale także nie pozwala na realizację funkcji zasilania rezerwowego. System *iEMS* wykorzystuje funkcję arbitrażu, aby minimalizować zakup energii w taryfie szczytowej (wykazano 20% redukcję kosztów energii w stosunku do bilansowania) oraz unika ekstremalnych stanów naładowania baterii (wydłuża żywotność baterii).

iEMS realizuje także strategie w powiązaniu z rynkowymi cenami energii. Na poniższych rysunkach przedstawiono rzeczywisty scenariusz instalacji przemysłowej wyposażonej w instalację PC oraz magazyn energii. System *iEMS*:

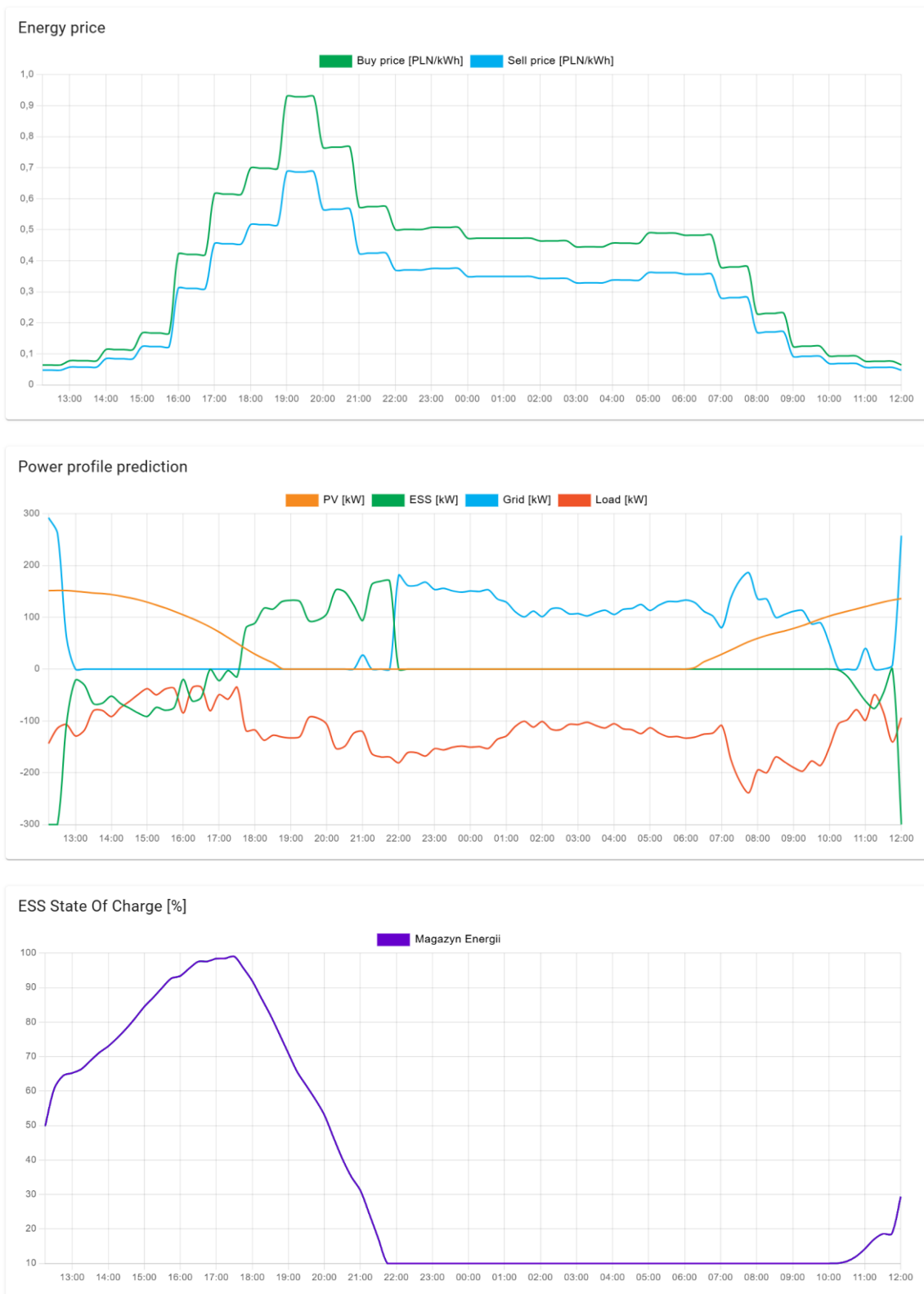
- bierze pod uwagę końcowe wartości cen energii wynikające z notowań giełdowych, marży spółki obrotu i innych składników zmiennych, w tym dystrybucji (*buy price, sell price*),
- wyznacza na podstawie danych pogodowych profil produkcji energii z OZE (PV),
- z pomocą algorytmów uczenia maszynowego wyznacza profil zużycia energii (*Load*),

- wykorzystując model optymalizacyjny wyznacza optymalną kosztowo strategię ładowania/rozładowania magazynu energii (ESS) oraz wynikowy bilans energii na przyłączy do sieci energetycznej (Grid).

W rezultacie magazyn ładowany jest nadwyżkami energii z PV oraz energią z sieci w dolinach cenowych, a rozładowywany w szczytach cenowych. W poniższym przypadku uwzględniony jest warunek 'zero export'.



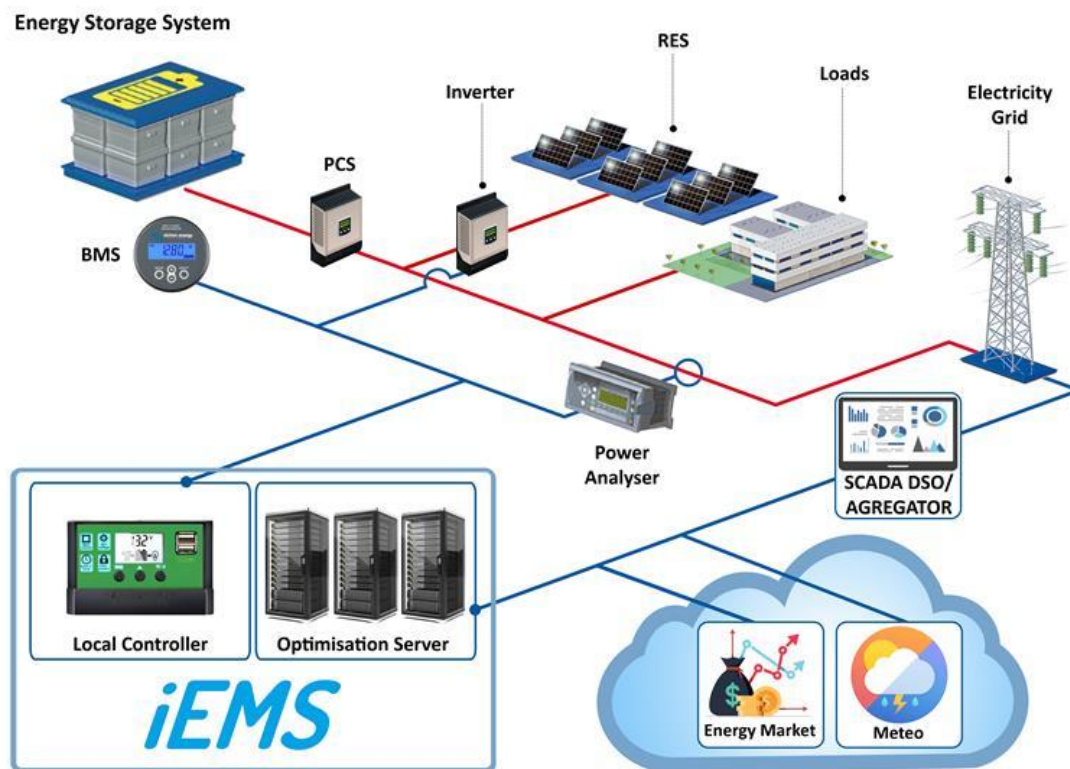
Rysunek 1. Algorytm optymalizacyjny iEMS porównany do algorytmu bilansowania.



Rysunek 2. Algorytm optymalizacyjny iEMS w zastosowaniu do instalacji przemysłowej pracującej przy dynamicznych cenach energii.

2 Architektura

Struktura iEMS opiera się na architekturze klient-serwer. W lokalizacji fizycznej instalacji klienta umieszczony jest lokalny sterownik połączony z infrastrukturą użytkownika. Sterownik posiada stałe połączenie z serwisem chmurowym stanowiącym centralny punkt systemu. Serwis chmurowy odpowiedzialny jest za obróbkę i prezentację danych pomiarowych pochodzących z instalacji a także za wyznaczanie harmonogramów pracy urządzeń.

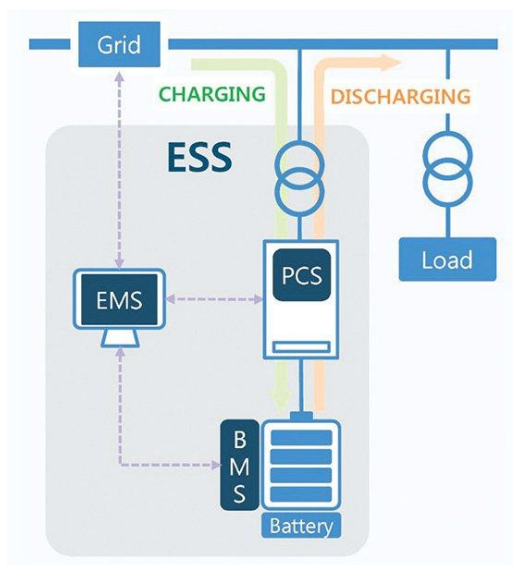


2.1 Sterownik lokalny

Sterownik lokalny w zależności od aplikacji ma formę komputera przemysłowego lub sterownika PLC. Jego zadania to przede wszystkim:

- Realizacja fizycznej komunikacji z modułami instalacji:
 - Analizatory parametrów sieci i/lub liczniki,
 - Układy BMS baterii, falowniki bateryjne,
 - Falowniki fotowoltaiczne, data loggery,
 - Stacje ładowania EV,
 - Inne odbiory sterowalne, w tym HVAC.
- Monitoring i krótkoterminowa archiwizacja danych z modułów, bieżąca wysyłka danych do chmury,
- Realizacja harmonogramów pracy magazynu energii i odbiorów sterowalnych,
- Regulacja bieżąca uwzględniająca ograniczenia techniczne:
 - Strażnik mocy z wykorzystaniem magazynu, a w krytycznej sytuacji ograniczanie mocy PV lub odłączenie odbiorów,

- Kompensacja mocy biernej, symetryzacja prądów sieci.



Rysunek 3. Architektura sterownika lokalnego iEMS

W zależności od wymagań Klienta sterownik lokalny może:

- Współpracować z istniejącym loggerem farmy PV oraz realizować w koordynacji z nim funkcję kontroli mocy na przyłączy, w tym 'zero export',
- Zawierać regulator parku energii certyfikowany wg. kodeksu sieciowego NC RfG,
- Wykorzystywać urządzenia certyfikowane wg. standardów cyberbezpieczeństwa EN62443,
- Integrować się z urządzeniami telemechaniki/telemetrii, zapewniając sterowanie i udostępniając parametry wymagane przez OSD,
- Integrować urządzenia oraz systemy pomiarowe strony trzeciej,
- Zapewniać integrację z systemami SCADA/BMS/ERP,
- Zapewniać inne dedykowane funkcjonalności.

2.2 Chmura

Serwis chmurowy jest centralnym punktem systemu iEMS. Jego zadania to przede wszystkim:

- Łączność ze sterownikiem lokalnym:
 - Odbieranie danych pomiarowych oraz zdarzeń z modułów,
 - Konfiguracja/parametryzacja modułów,
 - Wysyłka konfiguracji i harmonogramów pracy modułów,
- Archiwizacja, prezentacja i analityka danych historycznych,
- Gromadzenie danych z rynku energii/spółek obrotu, sygnałów od agregatorów usług oraz prognoz z serwisów pogodowych,
- Wykonywanie algorytmów predykcyjnych oraz optymalizacyjnych,
- Autoryzacja użytkowników z uwzględnieniem poziomów dostępu,
- Realizacja interfejsu użytkownika opisanego w sekcji 3,

- Obsługa alertów e-mail.

Serwer obsługujący system zlokalizowany jest na terenie Unii Europejskiej.

2.3 Algorytmy

System *iEMS* realizuje swoje funkcje dzięki zastosowaniu zaawansowanych algorytmów. Planowanie odbywa się z wyprzedzeniem 24h lub większym i wymaga zastosowania predykcji przyszłych warunków pracy instalacji.

Chmura w celu predykcji wielkości generacji z instalacji OZE posługuje się danymi z serwisów pogodowych i kalkuluje przebieg mocy w czasie. Ponadto wykonywana jest predykcja przebiegu wielkości poboru energii. Wykorzystuje ona algorytmy uczenia maszynowego bazujące na historycznych przebiegach poboru. Z powyższych informacji syntetyzowany jest przewidywany przebieg bilansu energii na przyłączy do sieci.

Następnie algorytm optymalizacyjny biorąc pod uwagę zmienność bilansu oraz cen energii w czasie wyznacza harmonogram pracy magazynu energii i ew. innych odbiorów i źródeł sterowalnych. Funkcją celu optymalizatora jest maksymalizacja zysku uwzględniająca nie tylko koszty energii ale także degradację magazynu energii związaną z jego warunkami pracy.

Rezultatem działania optymalizatora są harmonogramy pracy magazynu i ładowarek dla kolejnych 24 godzin. Są one przesyłane do realizacji przez sterownik lokalny.

Algorytm może wykorzystywać przebiegi cen energii w postaci:

- Taryf wielostrefowych,
- Informacji z rynku dnia następnego,
- Innego źródła cen wskazanego przez klienta.

W algorytmie optymalizacyjnym wykorzystywane są informacje o ograniczeniach technicznych magazynu (moc, pojemność, graniczne stany naładowania), i sieci (maksymalne dostępne moce pobierane i wprowadzane do sieci). Użytkownik ma możliwość wpływu na poziom 'agresywności' strategii pracy magazynu bilansując pomiędzy krótkoterminowym zyskiem a degradacją pojemności magazynu energii, a także wskazywać preferowany poziom rezerwy na zasilanie awaryjne.



Sterownik lokalny po odebraniu harmonogramu dąży do jego realizacji. Ponieważ naturalnym zjawiskiem jest występowanie rozbieżności pomiędzy predykcją a rzeczywistymi warunkami pracy sterownik wykorzystuje reguły sterowania rozmytego aby w łagodny sposób adaptować się do bieżących danych. Jednocześnie sterownik lokalny odpowiada za reakcję na twarde ograniczenia fizyczne występujące w czasie rzeczywistym (w tym ograniczenia mocy przyłączeniowej oraz awarie modułów).

3 Interfejs użytkownika

Domyślnym sposobem interakcji pomiędzy użytkownikiem, a systemem iEMS jest serwis www.

Na życzenie klienta mogą zostać opracowane inne formy dostępu np. lokalny panel HMI, aplikacja mobilna.

3.1 Serwis www

Serwis www dostępny jest pod adresem:

<https://iems.stay-on.pl/>

3.1.1 Logowanie i konta użytkowników

Serwis dostępny jest tylko dla zarejestrowanych użytkowników.

Konto zatwierdzone jest przez administratora, który także przypisuje użytkownikowi jeden z poziomów dostępu:

- *user* – dostęp tylko do odczytu do bieżących parametrów oraz historii instalacji – przeznaczony dla użytkownika
- *service* – j.w. + możliwość modyfikacji parametrów instalacji i podgląd paneli serwisowych – przeznaczony dla służb technicznych zajmujących się uruchomieniem i utrzymaniem ruchu instalacji
- *manager* – poziom *service* z dostępem do wielu instalacji – przeznaczony dla zarządcy wielu instalacji np. spółki instalatorskiej, agregatora czy operatora spółdzielni/klastra

Po zalogowaniu użytkownik przenoszony jest na stronę domową, na której widnieją przypisane do niego instalacje.

3.1.2 Panele użytkownika

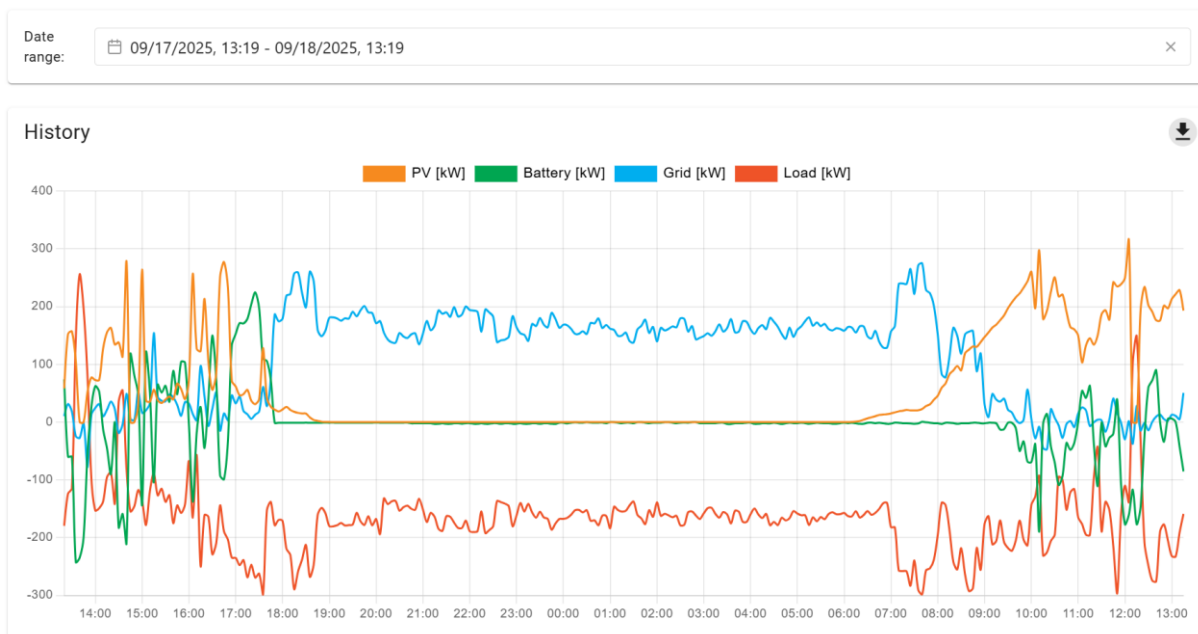
Użytkownik z przypisanym poziomem *user* ma po zalogowaniu i wybraniu instalacji dostęp do następujących paneli:

- **DASHBOARD** – umożliwia podgląd bieżących przepływów energii w systemie oraz stanu naładowania baterii.



Rysunek 4. Widok panelu Dashboard

- **CHARTS** – podgląd historycznych profili mocy w systemie z możliwością wyboru zakresu dat

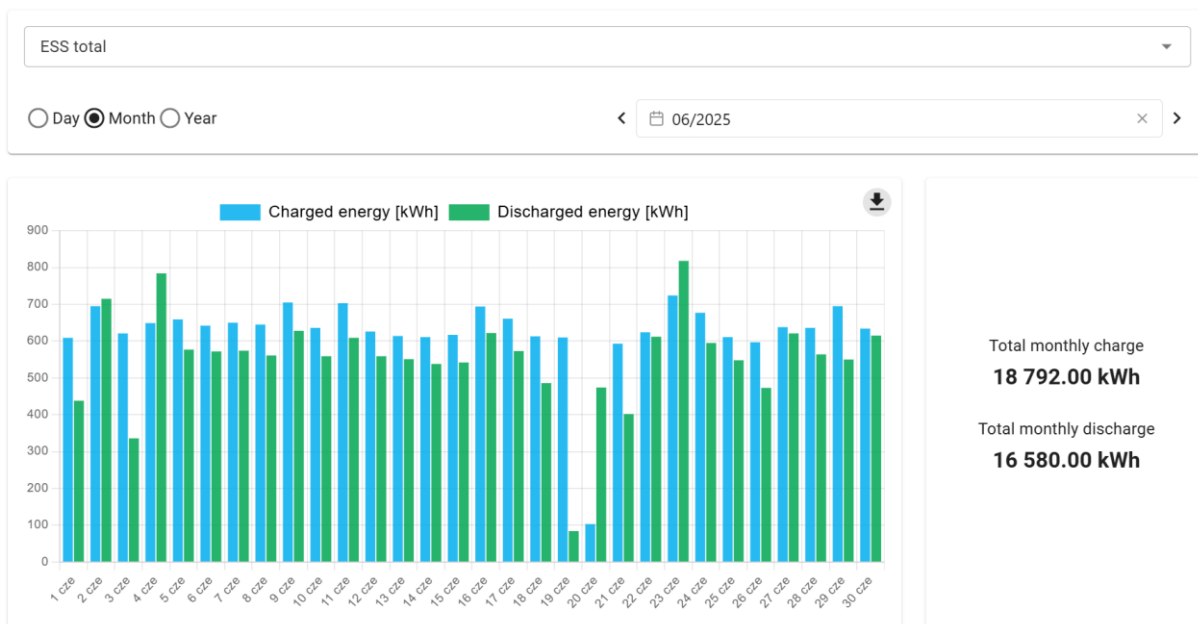


Rysunek 5. Widok panelu Charts

3.1.3 Panele serwisowe

Z poziomu serwisowego w serwisie www.stay-on.pl dostępne są następujące panele:

- **OPTIMIZATION** – podgląd predykcji przebiegów generacji i zużycia oraz planowanego harmonogramu pracy magazynu. Przykład wykresów pokazano na Rysunek 2.
- **STATISTICS** – podgląd statystyk energetycznych dla każdego z modułów instalacji.



Rysunek 6. Widok panelu Statistics

- **DETAILS** – podgląd oraz edycja parametrów i nastaw instalacji.
- **EVENTS** – podgląd aktywnych alarmów oraz dziennika zdarzeń i alarmów

Active events						
Module class	Module ID	Type	Status	Code	Message	Timestamp
No data available						

Events log						
Search message...						
Filter by module class		Filter by event type		Filter by event status		
Module class	Module ID	Type	Status	Code	Message	Timestamp
ESS	Magazyn Energii moduł #2	Warning	Inactive	455805	STS operation status off-grid	18.09.2025, 07:40:17
ESS	Magazyn Energii moduł #3	Warning	Inactive	455805	STS operation status off-grid	18.09.2025, 07:40:17
ESS	Magazyn Energii moduł #1	Warning	Inactive	455805	STS operation status off-grid	18.09.2025, 07:40:16
ESS	Magazyn Energii moduł #3	Warning	Active	455805	STS operation status off-grid	18.09.2025, 07:38:42

Rysunek 7. Widok panelu Events

- **NOTIFICATIONS** – konfiguracja powiadomień email o zdarzeniach i alarmach.

- **MODULES** – podgląd bieżący pełnej listy parametrów przekazywanych z poszczególnych modułów

Magazyn Energii moduł #1			^
ESS daily charge	85	kWh	
ESS daily discharge	36	kWh	
ESS total charge	34296	kWh	
ESS total discharge	29041	kWh	
Battery 1 current	47.3	A	
Battery 1 power	37000	W	
ESS power	36000	W	
Battery 1 SOC	30	%	
Battery 1 temperature	25	°C	
Battery 2 temperature	28	°C	
Ambient temperature	19.2	°C	

Rysunek 8. Widok panelu Modules

3.2 API

iEMS posiada możliwość utworzenie zewnętrznych API do współpracy z systemami zewnętrznymi np. celem wymiany danych z zewnętrznymi systemami SCADA, pobierania danych cenowych, sygnałów DSR itp.

Obecnie zaimplementowane są:

- jest mechanizm bezpośredniego zadawania harmonogramu pracy magazynu energii z poziomu zewnętrznych systemów,
- dostęp do historycznych danych z instalacji.

4 Aplikacje iEMS

4.1 Systemy all-in-one

iEMS jest integralną częścią w pełni zintegrowanych systemów zasilania z magazynem energii opracowanych przez STAY-ON serii:

- **PFH** – Power for Home
 - Zabudowa IP20
 - Falownik hybrydowy 5 - 12 kW
 - Baterie LFP 10 - 30 kWh
- **PFBi** – Power for Business indoor
 - Zabudowa IP20
 - Falownik hybrydowy 20 - 50 kW
 - Baterie LFP 30 - 60kWh
- **PFBo** – Power for Business outdoor
 - Zabudowa IP54
 - Falownik hybrydowy 30 – 100 kW
 - Baterie LFP 60 – 240 kWh

W magazynach PFH i PFB wbudowany jest lokalny sterownik w postaci komputera przemysłowego. iEMS jest w tych produktach przystosowany do jego uruchomienia i parametryzacji przez przeszkolonego instalatora.



4.2 Instalacje przemysłowe, energetyka zawodowa

iEMS w systemach w skali przemysłowej oraz w energetyce jest częścią systemu sterowania i automatyki instalacji wytwórczej odpowiedzialnym za planowanie harmonogramu pracy magazynu energii.

Sposób integracji oraz protokół komunikacji są uzgadniane indywidualnie.

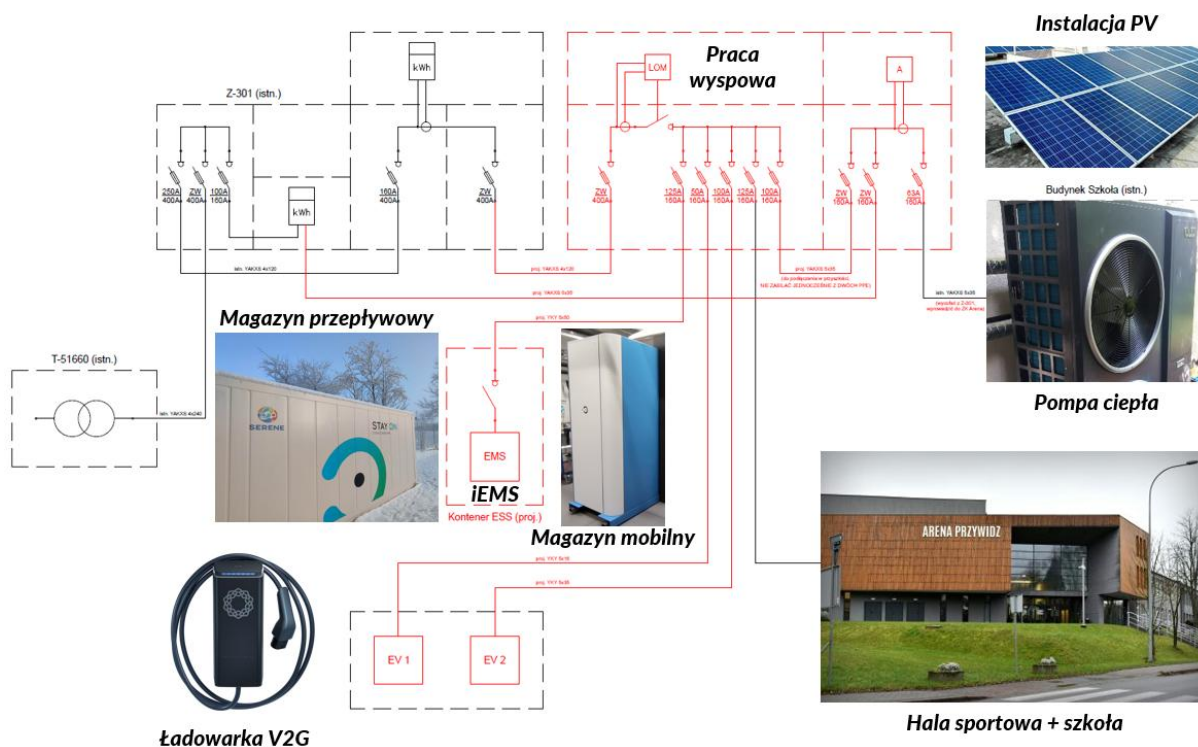
4.3 Budynki publiczne, spółdzielnie energetyczne

Na bazie systemu iEMS wdrożone są dedykowane rozwiązania dla budynków użyteczności publicznej oraz wspólnot energetycznych.

Prace rozwojowe oraz demonstracyjne nad rozszerzeniem funkcjonalności iEMS prowadzone były w ramach projektów Horyzont 2020:

- [Serene \(h2020serene.eu\)](https://serene.h2020serene.eu)
- [H2020 Sustenance Project](https://h2020sustenance-project.eu)

Otwarty demonstrator systemu pracuje także w Centrum Badawczym PAN KEZO w Jabłonnie pod Warszawą.



Rysunek 9. Przykład aplikacji iEMS w budynku użyteczności publicznej