

1. Wstęp

Niniejsza instrukcja dotyczy programu służącego do optymalizacji bilansu energii elektrycznej. W ramach dokumentu nakreślono:

- Sposób działania metody
- Wymagane wejścia do metody i zwracane wyjścia.
- Istotne szczegóły związane z funkcjonowaniem metody.

Wspomniany program został napisany w języku Python i wykonuje obliczenia 1-krokowe – z rozdzielczością 15 min. Jednocześnie, program ten stanowi główny człon obliczeniowy systemu wieloagentowego, zapewniającego w procesie obliczeń jedynie sposób wymiany danych pomiędzy urządzeniami. Tym samym, wyniki programu stanowią wyniki działania systemu wieloagentowego.

2. Wejścia do metody obliczeń

2.1. Wymagane dane wejściowe i ich specyfika

Do prawidłowego funkcjonowania programu wymagane są:

- Ograniczenia poszczególnych zmiennych – załącznik **bounds.xlsx**
- Role poszczególnych uczestników bilansowania w pliku **roles.xlsx**
- Prognozy na kolejne 15 min.

Ponieważ program wykonuje nadążną optymalizację, dla każdego uruchomienia wymaga on szeregu prognoz zmiennych wejściowych. W działaniu docelowym będą to dane pochodzące z bazy danych, lecz na potrzeby przeprowadzenia symulacji na prototypie narzędzia optymalizującego, zastosowano pobieranie takich danych z pliku (załącznik **MAS_tests_input_data_red.xlsx**). Wspomniany plik umożliwia zastosowanie prognoz za pomocą metody naiwnej, tj. wykorzystania ostatniego znanego zbioru pomiarów i potraktowania go jako estymatę nowego stanu wymaganych danych wejściowych na analizowany okres. W przypadku procesów o wysokiej rozdzielczości czasowej bezwładność zachodzących procesów powoduje, że takie przybliżanie wartości zmiennych jako prognozy jest zasadne.

Przykład użycia danych z zastosowaniem takiej metody oraz pliku wejściowego:

- obliczenia wykonywane na 2024-01-31 00:30

- dane z pliku wzięte z wiersza o kolumnie „Datetime” równej 2024-01-31 00:15

Należy podkreślić, że w każdym kroku algorytm wykorzystuje najświeższe możliwe pomiary z bazy danych, w tym:

- Moce czynne i bierne (punkty pracy) dla urządzeń: bystar1, bystar2, bysprint, mazak (czyli laserów), eh (grzałki), evcs (stacji ładowania pojazdów), inv1¹ (inwertera magazynu energii), pv (fotowoltaiki)
- Energie czynne i bierne za ostatnie 15 min, gdzie koniec okresu rozważanego dla tych energii to czas z którego pobierane są punkty pracy. Energie te odpowiadają wspomnianym wyżej urządzeniom, ale oprócz nich występują też wartości takie jak inv1_Eq (energia bierna inwertera 1), SOC_Ep² – energia zgromadzona/oddana za ostatnie 15 min magazynie, energie czynne i bierne obserwowalne na liczniku energii zakładu (MS_observ_Ep, MS_observ_Eq).³
- Stan naładowania magazynu energii wyrażony w procentach

Przed obliczeniami wszystkie dane zostały oczyszczone i sprowadzone do zakresów z pliku **bounds.xlsx**. Roboczo, przed zastosowaniem metody bilansowania należy jednak sprawdzić nowe dane czy spełniają one ograniczenia.

Plik roles.xlsx zawiera specyfikę pracy urządzeń, ich role w procesie bilansowania energii, zgodnie z koncepcją zastosowania systemu wieloagentowego, oraz ceny jednostkowe umożliwiające imitację procesu aukcji energii.

Wszystkie zmienne wejściowe występują w jednostkach mianowanych, tj. w kW/ kVar dla mocy czynnej/biernej oraz kWh/kVarh dla odpowiadających im energii. Do działania metody nie należy normalizować wartości zmiennych.

¹ W tym przypadku zastosowano zmienną SOC_Ep dla energii biernej oddawanej/pobieranej z magazynu, odtworzonej z stanu naładowania magazynu ze względu na trudności w odtworzeniu tej energii z punktów pracy inwertera

² Program do funkcjonowania wymaga spójnej notacji zmiennych, gdzie energia pobierana przez urządzenia ma znak plus (+), a oddawana minus (-).

³ Wszystkie wspomniane energii zostały obliczone poprzez całkowanie numeryczne z mocy na początku i końcu okresu odpowiadającego okresowi metody naiwnej, tj z chwil T-1 i T-2 jeśli przyjąć że T to czas na który jest wykonywana optymalizacja i prognoza. Przy zastosowaniu rzeczywistych pomiarów energii, metoda może być dokładniejsza lecz wyniki mogą różnić się od przykładowych ze względu na potencjalną nieliniowość zjawisk na przestrzeni 15 min.

2.2. Obliczanie zmiennych cząstkowych

W ramach metody bilansowania należało uwzględnić szereg wymagań uwzględnionych w różnych pakietach roboczych. Jednym z wymagań było śledzenie efektywności energetycznej analizowanego zakładu przemysłowego.

Założonymi metrykami efektywności były:

- $T_g(\phi)$ rozważanego zakładu
- Oszczędność energii obserwowalna na głównym liczniku energii zakładu
- Autokonsumpcja energii elektrycznej wyprodukowanej z PV przez zakład

W celu obliczenia dwóch pierwszych metryk wymagane było posiadanie pierwotnego zapotrzebowania zakładu na energię elektryczną (MS_{Ep} , MS_{Eq}). By je uzyskać najpierw należało obliczyć pierwotne zapotrzebowanie rozdzielnic pierwszej, przez odjęcie od jej zapotrzebowania szeregu inwertera 1 (odpowiednio dla energii czynnej lub biernej). Następnie do szeregu nowego inwertera należało dodać szereg inwertera, szeregi pozostałych rozdzielnic oraz odjąć przycięty do zera (wartości pozostawione tylko ≤ 0) szereg generacji PV.

Całościowo równania te zostały opisane w raporcie związanym z efektywnością energetyczną i jej prognozami. Taki sposób obliczeń wynikał z łatwiejszej prognozowalności zapotrzebowania pozbawionego wpływu generacji i magazynu energii. Działania te wykonano zarówno dla mocy jak i energii. Przetwarzanie energii na wartości obserwowalne (z uwzględnieniem pracy magazynu energii i PV) odbywało się już wewnątrz programu.

2.3. Istotne uwagi

Opracowane na etapie prognoz oczekiwanej efektywności energetycznej modele zostały stworzone dla energii czynnych i biernych paneli fotowoltaicznych, energii pierwotnej rozdzielnic głównej oraz rozdzielnic oddziałowej pierwszej. Takie prognozy umożliwiały koncepcyjnie dokładniejsze odwzorowanie pracy zakładu, bez zaszumiającego szeregi czasowe zapotrzebowania wpływu fotowoltaiki i magazynu energii. Na etapie tworzenia tych prognoz dostępne były jednak jedynie 4 miesiące danych z sezonu wiosenno-letniego, więc modele te były właściwe dla podobnych okresów. Co więcej, na tym etapie nie były dostępne i zgromadzone dane urządzeń zakładu (grzałki, stacji ładowania, laserów, etc.), które ze względu na znaczną losowość pracy nie byłyby prognozowalne złożonymi metodami. W momencie w którym otrzymano komplet pomiarów umożliwiających stworzenie metody bilansowania, stworzenie nowych modeli nie było możliwe ze względu na ramowe ograniczenia czasowe projektu. Praktycznym rozwiązaniem braku prognoz było więc zastosowanie prostej prognozy predykatorem naiwnym.

3. Wyjścia z metody obliczeniowej

3.1. Postać i format wyjścia z metody obliczeń

Obiekt typu JSON został wybrany jako wyjściowy z obliczeń. Było to podyktowane możliwością obsługi przez system wieloagentowym jako plik wymiany danych oraz możliwością stworzenia zagnieżdżonej struktury danych czytelnej dla użytkownika, co jest szczególnie istotne podczas debugowania opracowanych rozwiązań.

3.2. Zawartość wyjścia

Wyniki przykładowych obliczeń optymalizacyjnych pokazano w załączniku test_sample_out.json. Obliczenia przykładowe wykonano na 2024-01-31 00:30.

Obiekt wyjściowy zawierał następujące sekcje:

- **datetime** – czas na który jest wykonywana optymalizacja pracy zakładu
- **working_points** – moce czynne [kW] i bierne [KVar] sterowalnych urządzeń dla chwili na którą się optymalizuje
- **energies** – energie czynne i bierne za 15-min okres zwięźzony czasem na który następuje optymalizacja
- **statuses** – informacja odnośnie pracy urządzeń. **Q_block** : flaga blokady pracy urządzenia na skutek problemu z gospodarką mocą bierną w zakładzie; **res_supply**: oznaczenie czy urządzenie jest całościowo zasilane z nadmiarowej energii z OZE; **Q_problem**: określenie czy laser po wyłączeniu w danym okresie pomógłby odciążyć pracę zakładu przy problematycznej sytuacji z gospodarką mocą bierą; **lamp_color**: sygnalizacja czy laser powinien pracować w danej sytuacji problemów z mocą bierną – kolor według flagi problemu, jeśli True, to kolor czerwony, jeśli False – zielony.
- **pv_energy_effect** – stopień autokonsumpcji energii z PV określony jako podział wyprodukowanej energii przez pierwotne zapotrzebowanie zakładu na energię. Obliczenia wykonywane osobno dla energii czynnej lub biernej. Jeśli Znak ujemny to PV importuje energię, jeśli dodatni to zakład konsumuje energię z PV.
- **saved_net_energy** – zaoszczędzona w kwancie 15-min energia obserwowalna na liczniku głównym energii zakładu. Wartość wyrażona w KWh/ kVarh. Jeśli wartość dodatnia to energia zaoszczędzona, jeśli ujemna to pobrana (np. na ładowanie magazynu)

- MS_workpoint – punkt pracy zakładu na czas optymalizowany , zawiera chwilową moc czynną [kW] i bierną [kVar] zakładu produkcyjnego oraz tangens kąta mocy.

Zawartość pliku wynikowego dla wspomnianego czasu zawarto poniżej.

```
{
  "datetime": "2024-01-31 00:30",
  "working_points": {
    "pv": {
      "P": 0.06026202364918892,
      "Q": 0.0
    },
    "eh": {
      "P": 0.0,
      "Q": 0.0
    },
    "evcs": {
      "P": 0.0,
      "Q": 0.0
    },
    "inv1": {
      "P": 101.72320135498072,
      "Q": 0.0
    },
    "bystar1": {
      "P": 9.886739826176616,
      "Q": -6.564756170926016
    },
    "bysprint": {
      "P": 0.0,
      "Q": -0.006881517604990928
    }
  }
}
```

```
,
"bystar2": {
  "P": 6.66484507434152,
  "Q": -2.9625967704760185
},
"mazak": {
  "P": 2.484846162153567,
  "Q": 3.9317539032181252
}
},
"energies": {
  "pv": {
    "Ep": 0.01506550591229723,
    "Eq": 0.0
  },
  "eh": {
    "Ep": 0.0,
    "Eq": 0
  },
  "evcs": {
    "Ep": 0.0,
    "Eq": 0.0
  },
  "inv1": {
    "Ep": 1.500689256727026,
    "Eq": 0.0
  },
  "bystar1": {
    "Ep": 2.471684956544154,
    "Eq": -1.641189042731504
  },
  "bysprint": {
    "Ep": 0.0,
    "Eq": -0.001720379401247732
  },
  "bystar2": {
    "Ep": 1.66621126858538,
    "Eq": -0.7406491926190046
  },
  "mazak": {
    "Ep": 0.6212115405383918,
    "Eq": 0.9829384758045313
  },
  "MS_observ": {
    "Ep": 29.944664812226392,
```

```

        "Eq": 6.064382889819506
    },
    "statuses": {
        "eh": {
            "Q_block": false,
            "res_supp": false
        },
        "evcs": {
            "Q_block": false,
            "res_supp": false
        },
        "bystar1": {
            "Q_problem": false,
            "lamp_color": "green"
        },
        "bysprint": {
            "Q_problem": false,
            "lamp_color": "green"
        },
        "bystar2": {
            "Q_problem": false,
            "lamp_color": "green"
        },
        "mazak": {
            "Q_problem": false,
            "lamp_color": "green"
        }
    },
    "pv_energy_effect": {
        "Ep": -0.0005033647713793127,
        "Eq": 0.0
    },
    "saved_net_energy": {
        "Ep": -6.249745210122224,
        "Eq": -8.087015028301892e-05
    },
    "MS_workpoint": {
        "P": 119.77865924890557,
        "Q": 24.257531559278025,
        "tg": 0.20251964508026224
    }
}

```

Opisany format został wcześniej uzgodniony z liderem krajowym jako format wymiany danych.

3.3. Weryfikacja poprawności przetworzenia informacji

Po uruchomieniu programu użytkownik powinien otrzymać plik `test_sample_out.json` o zawartości jak w poprzednim punkcie. Plik ten został też załączony jako załącznik do dokumentacji.

Dodatkowo w pliku **test_frame_short.xlsx** załączono jedną dobę okresów 15 min tak by umożliwić testy programu na więcej niż jednym okresie. Należy przy tym pamiętać, że program optymalizując pracę zakładu na czas T w założeniu nadpisuje stan i energię czynną magazynu, a resztę wartości z okresów 15-min pobiera jako najświeższe pomiary z okresu $T-1$. Inaczej mówiąc, w pliku pokazany jest wynik ciągłej serii działań programu – wywołując tylko wybrany czas obliczeń w programie (poza najwcześniejszym czasem) nie nastąpi seria nadpisań stanu magazynu i wyniki nie będą się zgadzać.

4. Działanie programu

4.1. Założenia

Założenia metody prezentowały się następująco:

1. Należy zmniejszać zapotrzebowanie szczytowe zakładu
2. Należy śledzić efektywność energetyczną zakładu, w tym autokonsumpcję energii z OZE oraz energię zaoszczędzoną w wyniku działania algorytmu
3. Należy zapewnić prawidłową gospodarkę mocą bierną zakładu i śledzić tg kąta mocy zakładu
4. Optymalizacja pracy zakładu jest jednokrokowa, z horyzontem 15-min
5. W celu prawidłowych obliczeń należy aktualizować stan naładowania i bieżącą energię w magazynie
6. Magazyn energii pracuje z przedziale 20-100% pojemności.
7. Energia oddawana/ładowana do magazynu w okresie 15-min nie może przekraczać wartości wynikającej z charakterystyki kotłowej inwertera magazynu, tj. 12.5 kWh.
8. Należy uwzględnić charakterystyki i ograniczenia wyjściowe inwerterów dla paneli fotowoltaicznych i magazynu energii (ograniczenia energii biernych przy zadanych energiach czynnych)
9. Moce maksymalne i minimalne urządzeń sterowalnych nie mogą być przekroczone

10. Ograniczenia mocy czynnej i biernej dla urządzeń z pliku **bounds.xlsx** nie mogą być przekroczone
11. Urządzenia sterowalne pracują w stanie 0/1, tj. z mocą i energią zerową, albo maksymalną
12. Urządzenia sterowalne (grzałka **eh** i stacja ładowania pojazdów **evcs**) są załączane tylko jeśli według prognoz ich pobór energii czynnej był większy od zera oraz jeśli istnieje produkcja z OZE przekraczająca moc zapotrzebowania całego zakładu, o wartości naddatku umożliwiającego zasilanie odbioru sterowalnego.
13. W bilansowaniu uwzględniana jest gospodarka mocą bierną. Jeśli moc bierna jest pojemnościowa, algorytm próbuje zbić ją za pomocą inwerterów PV i BESS. W przypadku mocy indukcyjnej następuje zbijanie jej poziomu tylko jeśli przekracza ona wartości, przy których $\text{tg}(\phi) = 0.4$
14. Przy zbijaniu mocy indukcyjnej w pierwszej kolejności manipuluje się inwerterami PV i BESS, a następnie jeśli jest to dalej wymagane odłącza się odbiory sterowalne. Następnie poczynając od lasera o największym poborze mocy biernej tworzy się listę laserów których wyłączenie rozwiązałoby problem z mocą bierną. Analogicznie przy mocy pojemnościowej. Ze względu na to, że potencjalne koszty wyłączenia w danym momencie (trudne do przewidzenia), algorytm nie wyłącza laserów, a jedynie określa poradę dla operatorów, od których zależy czy ją zastosują. Tym samym wartości na wyjściu algorytmu zawsze uwzględniają tylko najbardziej prawdopodobny stan pracy zakładu, tj. taki w którym lasery zawsze pracują. Sama moc i energii laserów nigdy nie jest zmieniana.
15. Magazyn energii posiada swój harmonogram ładowania który można nadpisać w programie. Magazyn planowo rozładowuje się między 8:00 a 18:00 a w pozostałych okresach doby łąduje się z sieci.
16. Harmonogram ładowania magazynu zostaje nadpisany ładowaniem z PV, jeśli istnieje naddatek generacji z OZE ponad zapotrzebowanie pracy zakładu. Jeśli magazyn jest pełny to następuje próba zasilenia naddatkiem energii grzałki lub stacji ładowania pojazdów
17. W przypadku problemów z mocą bierną skutkujących wyłączeniem grzałki lub stacji ładowania, następuje przeliczenie bilansu energii bez tych urządzeń.

4.2. Działanie

Na początku działania programu następuje wczytanie danych i ich przydział do odpowiednich struktur danych. Wczytywane na tym etapie są między innymi pierwotne Stany pracy zakładów w tym zapotrzebowanie całego zakładu na energię. Następnie rozpoczyna się właściwe bilansowanie. Najpierw jest wykonywane bilansowanie energii czynnej, po którym następuje bilansowanie energii biernej.

W ramach bilansowania energii czynnej program integracyjny przechodzi przez urządzenia, tj. panele fotowoltaiczne, magazyn energii, grzałkę i stacje ładowania pojazdów, lasery po raz końcową przez sieć energetyczną. Kolejność urządzeń wynika z cen zastosowanych w pliku roles.xlsx i imituje działanie aukcji energii. W ramach swojego działania program określa nowe stany pracy urządzeń, przez co po określeniu różnic pomiędzy nowym a starym stanem pracy możliwe staje się określenie m.in. pożądanych metryk efektywności energetycznej.

Bilansowanie energii czynnej

Na początku program sprawdza czy dla analizowanego okresu występuje naddatek energii czynnej z fotowoltaiki ponad zapotrzebowanie na energię czynną zakładu. Jeśli tak, następuje podjęcie próby naładowania magazynu. W przypadku powodzenia następuje naładowanie magazynu z uwzględnieniem ograniczeń ładowania, nadpisanie harmonogramu ładowania na import energii oraz pomniejszenie naddatku. Następnie występują próba zasilania z naddatku grzałki lub stacji ładowania pojazdów. Jeśli naddatek wystarczy aby pokryć maksymalne zapotrzebowanie tych urządzeń, to zostają one zasilone i uwzględnione w bilansie energii biernej.

W drugiej kolejności sprawdzany jest inwerter magazynu energii. Jeżeli według harmonogramu powinien on oddawać energię, następuje określenie dysponowanej energii zgodnie z ograniczeniami rozładowania magazynu. Energia jest przy tym oddawana stopniowo, tak by umożliwić redukcję szczytu zapotrzebowania w jak największej liczbie okresów. Jeżeli magazyn powinien zamiast tego się ładować (i nie nastąpiło to przy użyciu źródła) energia jest pobierana z sieci w wolumenie równym połowie maksymalnej energii ładowania, tak by umożliwić w następnym okresie potencjalne naładowanie z OZE.

Tak jak opisano wcześniej, w dalszej kolejności sprawdzane są urządzenia sterowalne, tj. Grzałka i stacja ładowania pojazdów. Jeżeli według prognoz, urządzenia te pobierają energię czynną i istnieje naddatek energetyczny z paneli fotowoltaicznych wystarczający na zasilanie ich energią maksymalną, to zostają one zasilone i uwzględnionych w bilansowaniu energii biernej. Jeżeli naddatek energetyczny nie wystarcza do ich zasilania, lub były one zasilone, ale ich praca została zablokowana na etapie bilansowania energii biernej ze względu na problemy z energią bierną, to urządzenia te zostają określone jako wyłączone.

Ostatnim krokiem bilansowanie energii czynne jest sprawdzenie czy nie występuje nadatek przekracza aktualne zapotrzebowanie zakładu, i jeżeli tak to następuje wysterowanie falownika tak aby zbilansować zapotrzebowanie zakładu na zero. Ewentualna reszta zapotrzebowania (jeżeli występuje) jest określona jako pobierane z sieci.

Bilansowanie energii biernej

Dla energii biernej następuje najpierw dodanie do zapotrzebowania na energię bierną urządzeń sterowanych, jeżeli wcześniej zostały one określone jako włączone. Następnie program wylicza nowe zapotrzebowanie na energię czynną i bierną poprzez dodanie określonych wcześniej nowych energii czynnych urządzeń oraz zastanych energii biernych. Na podstawie tego pozostaje dalej określone czy wypadkowe zapotrzebowanie na energię bierną zakładu jest pojemnościowe czy indukcyjne.

Dla zapotrzebowania indukcyjnego, następuje określenie energii którą należy zbić, aby osiągnąć tangens kąta mocy równy 0,4. Jeżeli energia ta jest ujemna, to stan pracy pozostaje bez zmian. Jeśli energia ta jest jednak dodatnia następuje próba wysterowania inwerterów fotowoltaiki oraz magazyn energii w sposób umożliwiając jak największą redukcję pobieranej energii biernej, a w następnej kolejności sprawdzenie czy wyłączenie urządzenia sterowanego spowoduje redukcję zapotrzebowania na energię bierną. Jeżeli urządzenie to posiadało zapotrzebowanie na energię bierną i poprawi to sytuację, to urządzenie to jest wyłączane i określana jest blokada dla tego urządzenia ze względu na moc bierną. W dalszej kolejności blokada taka powoduje, że program jeszcze raz przelicza bilans energii tym razem bez uwzględniania w bilansie tego urządzenia.

W przypadku energii pojemnościowej następuje jedynie próba wysterowania inwerterów tak aby zwiększyć import energii biernej indukcyjnej. W przypadku dalszych problemów zarówno z mocą indukcyjną jak i pojemnościową następuje określenie które lasery powinny zostać wyłączone aby jak najbardziej zbliżyć się do rozwiązania problemu.

Obliczenie metryk jakości działania algorytmu

Po zakończeniu bilansowania energii następuje obliczenie wskaźników jakości działania algorytmu. Obliczane są auto to konsumpcja energii z fotowoltaiki przez zakład, nowe tangens kąta mocy, nowe punkty pracy, a dane są restrukturyzowane w celu osiągnięcia postaci zaprezentowanej w pliku wyjściowym.

Schemat działania programu został przedstawiony na schemacie blokowym w załączniku **block_diagram.png**

4.3. Istotne uwagi

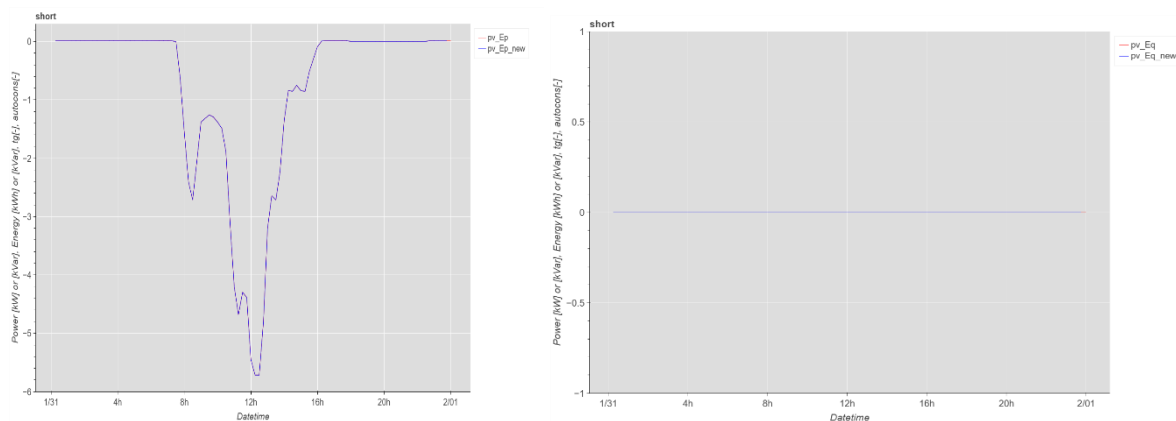
Można oczekiwać że oszczędność energii wynikająca z działania algorytmu oraz efektywność energetyczna uzyskano w wyniku jego działania będą się nie zależały od warunków pogodowych, a więc i okresu roku. W okresach w których można oczekiwać że

produkcja ze źródła fotowoltaicznego będzie największa, to jest wiosną i latem istnieje największa szansa na ewentualne doładowanie magazynu ze źródła słonecznego, zasilanie dodatkowych odbiorów i ogólnej redukcji zapotrzebowania.

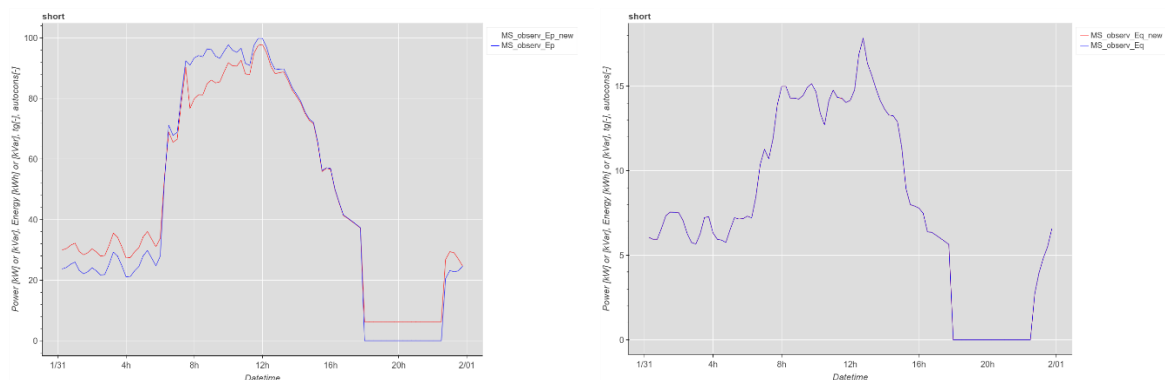
Można też oczekiwać że uzysk z przesuwania szczytów zapotrzebowania na doliny zapotrzebowania będzie większy w przypadku taryf energii o różnych cenach energii dla różnych okresów doby. W innym przypadku największą korzyść z redukcji szczytu zapotrzebowania będzie mógł zaobserwować najprawdopodobniej operator systemu dystrybucyjnego, co jest przyczynkiem do ewentualnej partycypacji właściciela zakładu w programach redukcji zapotrzebowania (i otrzymywania benefitów z tym związanych).

4.4. Prezentacja działania wyników na przykładowej dobie

Na potrzeby zilustrowania przykładowego działania algorytmu w sposób ciągły, pokazano wyniki dla losowo wybranej doby.

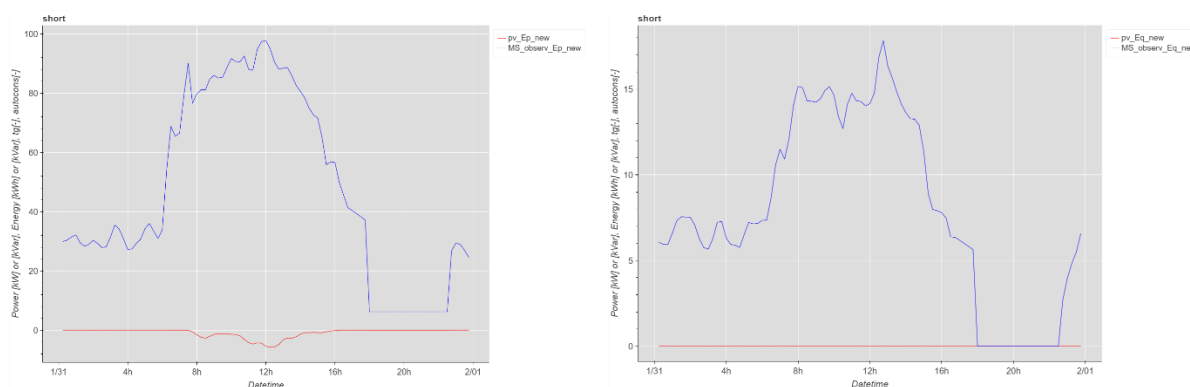


Rys. 2 Wartości przed i po optymalizacji pracy zakładu dla energii z PV



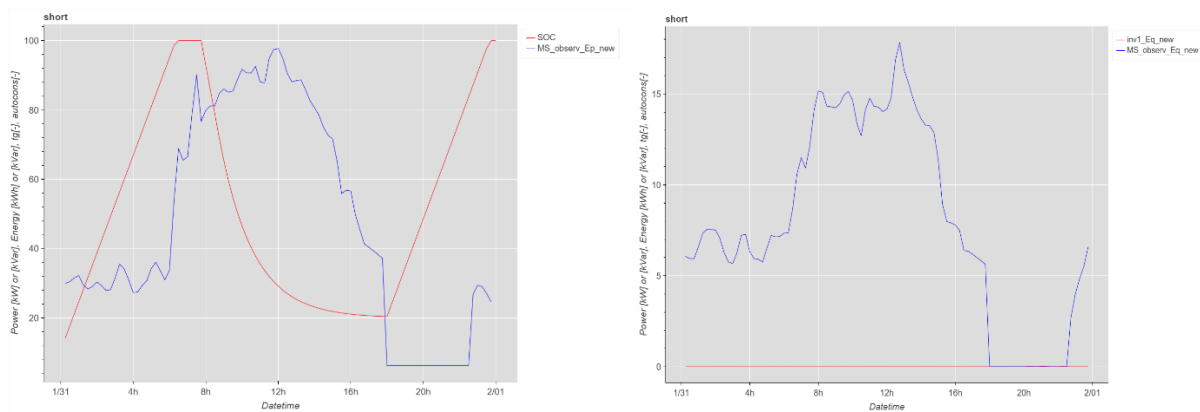
Rys. 3 Wartości przed i po optymalizacji pracy zakładu dla zapotrzebowania na energię obserwowalnego zakładu

Jak można zauważyć na rys. 3, zgodnie z założeniami metody magazyn energii był ładowany pa podczas doliny porannej i wieczornej, co można było zaobserwować w formie zwiększonego zapotrzebowania w tych okresach. Oddawanie energii przez magazyn można było natomiast zaobserwować w formie redukcji zapotrzebowania na energię w jego szczycie. Jednocześnie, zapotrzebowanie na energię bierną nie uległo zmianie, ze względu na zerowe energie bierne sterowanych urządzeń w analizowanym okresie. W okolicach godziny 20:00 można było dla energii biernej zaobserwować spadek wartości zapotrzebowania do zera, co miało dalsze konsekwencje w postaci pustych wartości dla dalej obliczanych miar stosunkowych obliczanych zużyciem dzielenia przez energię bierną.



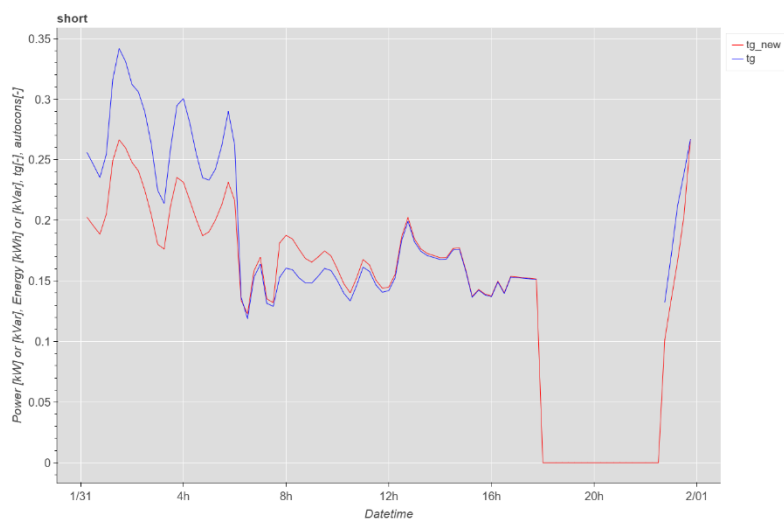
Rys. 4 Wartości po optymalizacji pracy zakładu dla energii z PV oraz zapotrzebowania obserwowalnego zakładu

Jak można zauważyć na rys. 4 w ciągu zaprezentowany dobre źródło nigdy nie przekraczało generacjom wartości zapotrzebowania całego zakładu. Tym samym, zgodnie z założeniami w okresie szczytu obciążenia (okresie w którym magazyn ma według początkowego planu oddawać energię) nie występowało ładowanie magazynu mocą z paneli słonecznych ani zasilanie urządzeń sterowalnych.



Rys. 5 Wartości przed i po optymalizacji pracy zakładu dla energii z PV oraz zapotrzebowania obserwowalnego zakładu

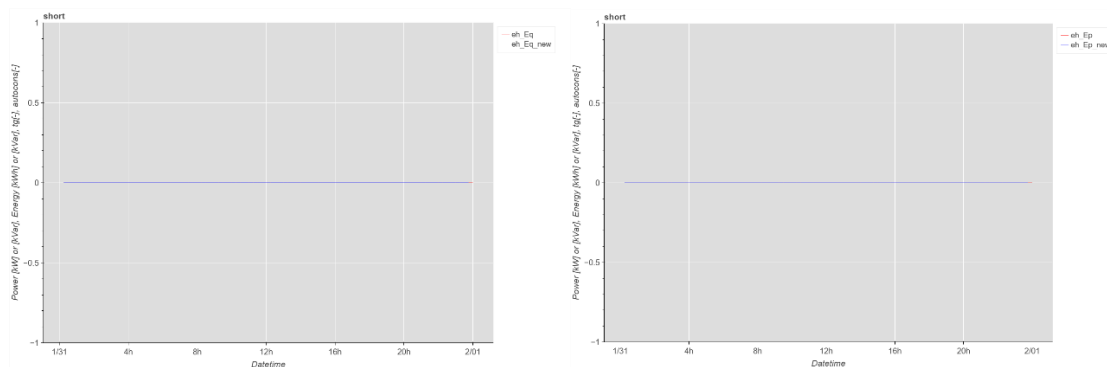
Jak można zauważyć na rys. 5 Magazyn energii wykonywał w czasie doby operacje planowe, tj. Ładował się w dolinie porannej aż ok. godziny 6:00 naładował się do pełna. Następnie od godziny 8:00 magazyn oddawał energię do zakładu zmniejszając jego zapotrzebowanie na energię czynną, by od godziny 18:00 zacząć znów się ładować. Całościowo, w ramach jednego cyklu ładowanie rozładowanie trwającego od północy analizowanej doby do 18:00 zaoszczędzono 5.321 kWh.



Rys. 6 Wartości przed i po optymalizacji pracy zakładu dla tg(phi) zakładu

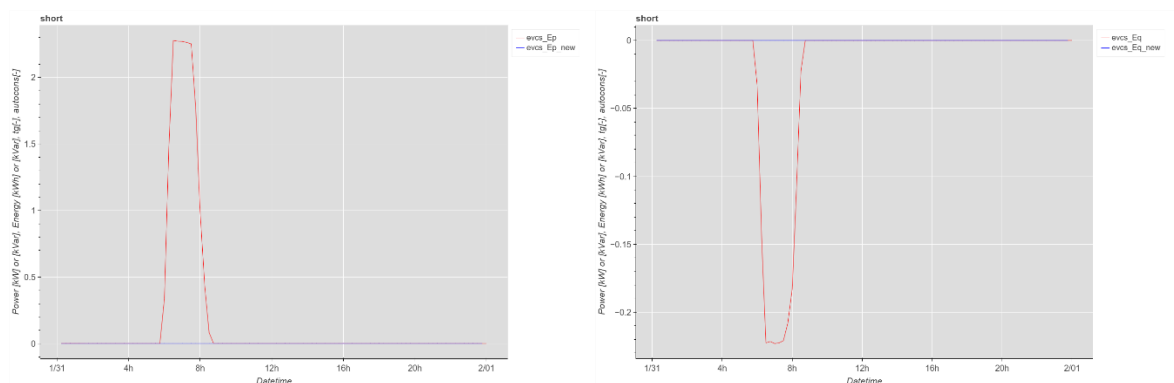
Można zauważyć że w całym analizowanym zakresie wartości mocy biernej powodowały że zakład pobierał moc indukcyjną o wolumenie nie wymagającym jej kompensacji. Tłumaczy to pracę inwertera co do energii biernej magazynu energii przedstawioną na prawej stronie rys. 5. Ze względu na brak potrzeby kompensacji, inverter ten był cały czas wystawiany na zerową nas bierną. Jednocześnie na rys. 6 Można było w okolicach godziny 20:00 zauważyć brakujące wartości zastanego tangensa kąta mocy. Brakujące wartości wynikały w tym przypadku z zerowej energii czynnej pobieranej pierwotnie przez zakład w tym okresie. Po działaniu algorytmu (ze względu na wzrost zapotrzebowania skonsumowany na ładowanie magazynu energii w dolinie nocnej) zapotrzebowanie na

energię czynną nie było zerowe, przez co wartości tangensa były obliczone. Ostatnim aspektem pracy algorytmu było wysterowanie urządzeń sterowanych przedstawione na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7 Wartości przed i po optymalizacji pracy zakładu dla zapotrzebowania na energię grzałki(eh)

Wspominając zaobserwowany brak nadatku energetycznego ze źródła odnawialnego, można zauważyć że zgodnie z założeniami algorytmu grzałka nie była zasilana.



Rys. 8 Wartości przed i po optymalizacji pracy zakładu dla zapotrzebowania na energię Stacji ładowania pojazdów(evcs)

Dla stacji ładowania pojazdów sytuacja wyglądała inaczej. Ponieważ nie występował nadatek energetyczny umożliwiający zasilanie stacji ładowania, a według prognoz stacja wykazywała stan ładowania pojazdów, zgodnie z założeniami algorytmu urządzenie zostało wyłączone co można było zaobserwować w postaci redukcji chwilowego zapotrzebowania.