

doi:10.15199/48.2018.07.43

Interaktywne narzędzie do planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikro sieci niskiego napięcia

Streszczenie. W artykule zostało opisane zagadnienie planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikro sieci niskiego napięcia. Najpierw zostały omówione mikro sieci niskiego napięcia na obszarach wiejskich i zagadnienie optymalizacji ich struktur. Następnie zaprezentowano interaktywne narzędzie służące do planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikro sieci niskiego napięcia. W dalszej kolejności została opisana instalacja demonstracyjna i dane do obliczeń, jak również zaprezentowano uzyskane wyniki obliczeń optymalizacyjnych w tej instalacji. W ostatniej części artykułu przedstawiono podsumowanie i wnioski końcowe.

Abstract. Issue of planning of optimum structures of newly designed low voltage microgrids has been described in the paper. First low voltage microgrids in rural areas and issue of their structures optimization have been discussed. Then interactive tool serving for planning of optimum structures of newly designed low voltage microgrids has been presented. In the further part demonstration installation and data for calculations have been described, as well as obtained results of optimization calculations in this installation have been presented. In the last part of the paper summary and final conclusions have been given. (Interactive tool serving for planning of optimum structures of newly designed low voltage microgrids).

Słowa kluczowe: mikro sieci niskiego napięcia, struktury, projektowanie, optymalizacja, narzędzie interaktywne.

Keywords: low voltage microgrids, structures, designing, optimization, interactive tool.

Wstęp

Projektowanie i budowa mikro sieci niskiego napięcia na obszarach wiejskich w ramach rozwoju terenowych sieci dystrybucyjnych jest jedną z najczęściej rozpatrywanych koncepcji modernizacyjnych w kontekście wdrażania idei Smart Power Grids.

Z danych zawartych w [1] wynika, że przeważająca część obszaru Polski, jak i Europy to obszary o charakterze wiejskim. Obszary te charakteryzują się stosunkowo niskim zagęszczeniem infrastruktury elektroenergetycznej. Odległości pomiędzy odbiorcami końcowymi a głównymi punktami zasilającymi są na ogół dość duże, a sieć dystrybucyjna posiada strukturę promieniową. Wystąpienie zakłócenia w pojedynczej linii SN może skutkować utratą zasilania odbiorców na bardzo rozległym obszarze. Aby ograniczyć skutki awarii, część odbiorców we własnym zakresie instaluje rozproszone źródła energii, które, w razie utraty zasilania z sieci dystrybucyjnej, zapewnią pokrycie zasilania dla własnych potrzeb. Kolejnym krokiem w rozwoju infrastruktury elektroenergetycznej na obszarach wiejskich jest właśnie powstanie mikro sieci integrującej ze sobą prosumentów, odbiorców i wytwórców energii elektrycznej.

Realizowany w latach 2016 - 2018 międzynarodowy projekt badawczy RIGRID (ang. Rural Intelligent Grid) miał za zadanie m.in. opracowanie algorytmów i opartych na nich programów komputerowych do optymalnego projektowania i sterowania pracą tego typu sieci. Głównym celem wspomnianego projektu było opracowanie systemu informatycznego, wspierającego projektantów i operatorów mikro sieci w zakresie optymalizacji pod kątem wybranej funkcji celu, przy jednoczesnym spełnieniu ograniczeń technicznych, ekonomicznych i społecznych. Opracowane rozwiązania informatyczne zostały przetestowane w instalacji demonstracyjnej zlokalizowanej na terenie gminy Puńsk w północno-wschodniej Polsce [2].

Jak już wspomniano, prace badawcze były zasadniczo prowadzone w dwóch obszarach: optymalizacji struktur nowoprojektowanych mikro sieci niskiego napięcia oraz optymalizacji konfiguracji i punktów pracy funkcjonujących mikro sieci tego typu [2 - 6].

W niniejszym artykule zostaną omówione mikro sieci niskiego napięcia na obszarach wiejskich i zagadnienie

optymalizacji struktur tych mikro sieci. Zostanie także zaprezentowane interaktywne narzędzie służące do planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikro sieci niskiego napięcia. Ponadto zostanie opisana instalacja demonstracyjna i dane do obliczeń, jak również uzyskane wyniki obliczeń optymalizacyjnych w tej instalacji.

Artykuł zakończy się podsumowaniem i przedstawieniem wniosków końcowych.

Mikro sieci niskiego napięcia na obszarach wiejskich

Pod pojęciem mikro sieci należy rozumieć autonomiczny mikrosystem energetyczny wyposażony w źródła wytwórcze, zasobniki energii, sterowniki (przekształtniki energoelektroniczne) oraz odbiorniki energii. Szczegółowe informacje dotyczące mikro sieci niskiego napięcia prądu przemiennego można znaleźć m.in. w [7 - 15].

Jednostki wytwórcze wchodzące w skład mikro sieci, nazywane również mikroźródłami, można podzielić na układy monogeneracyjne (wytworzące wyłącznie energię elektryczną), kogeneracyjne (wytworzące w skojarzeniu energię elektryczną i ciepło), trigeneracyjne (wytworzące w skojarzeniu energię elektryczną, ciepło i chłód) oraz poligeneracyjne (wytworzące w skojarzeniu energię elektryczną, ciepło, chłód oraz parę technologiczną) [2].

Przyłączenie znacznej części mikro źródeł i zasobników energii elektrycznej, a także części odbiorów mocy elektrycznej do sieci niskiego napięcia realizowane jest z wykorzystaniem przekształtników energoelektronicznych.

W zależności od lokalizacji mikro sieci preferowane są różne typy mikro źródeł i zasobników energii elektrycznej. W mikro sieciach zlokalizowanych na terenach wiejskich do najczęściej stosowanych mikro źródeł należy zaliczyć głównie odnawialne źródła energii (panele fotowoltaiczne, małe elektrownie wodne, mikro turbiny na biopaliwa oraz małe turboszespoły wiatrowe). Oprócz wspomnianych źródeł odnawialnych należy również wymienić źródła nieodnawialne, takie jak mikro turbiny zasilane gazem ziemnym oraz spalinowe agregaty prądotwórcze. Do najczęściej stosowanych zasobników energii elektrycznej należy zaliczyć baterie akumulatorów, superkondensatory oraz koła zamachowe [2, 4].

Dużą zaletą mikro sieci, z punktu widzenia ciągłości dostaw energii, jest możliwość pracy synchronicznej z

siecią dystrybucyjną, jak i w trybie pracy autonomicznej (wyspowej).

Mikrosieci, współpracujące synchronicznie z siecią dystrybucyjną, mogą być wykorzystywane do świadczenia usług systemowych, takich jak regulacja poziomów napięć w sieci dystrybucyjnej SN oraz stanowić źródło mocy biernej w tej sieci.

Mikrosieci zdolne do długotrwałej pracy w trybie autonomicznym znajdują zastosowanie głównie do zasilania odbiorców znacznie oddalonych od sieci dystrybucyjnej, np. osad, małych wsi. Prawidłowe zaprojektowanie tego typu mikrosieci jest znacznie trudniejsze z uwagi na fakt, że mikroźródła i zasobniki energii muszą być tak dobrane, aby samodzielnie pokryć zapotrzebowanie na moc, zarówno w normalnym stanie pracy, jak i w przypadku zakłócenia, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednich parametrów jakościowych energii elektrycznej. Projekt mikrosieci pracującej głównie w trybie autonomicznym wymaga również zwrócenia uwagi na wartości prądów zakłóceńowych tak, aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie zabezpieczeń nadprądowych [2, 4].

Przyłączenie mikrosieci niskiego napięcia do sieci dystrybucyjnej realizowane jest za pośrednictwem transformatora SN/nn. Moc znamionowa transformatora sprzęgającego mikrościeć z siecią dystrybucyjną powinna być tak dobrana, aby nie ulegał on przeciążeniu w przypadku szczytowego zapotrzebowania na moc mikrosieci oraz w przypadku eksportu nadwyżki generowanej mocy do sieci dystrybucyjnej SN. Punkt wspólnego przyłączenia mikrosieci, wyposażony w wyłącznik oddzielający, jest zlokalizowany po stronie uzwojenia górnego napięcia transformatora.

Sterowanie pracą elementów tworzących mikrościeć (mikroźródeł sterowalnych, zasobników energii oraz odbiorów sterowalnych) wymaga zastosowania odpowiednich strategii sterowania [4, 6, 7, 11-15]. Mikrościeć niskiego napięcia współpracująca z siecią dystrybucyjną jest traktowana przez operatora tej sieci jako odbiór sterowalny w sieci SN. Na życzenie operatora sieci dystrybucyjnej sterowaniu mogą podlegać poziomy mocy generowanej w mikroźródłach sterowalnych, harmonogram ładowania i rozładowywania zasobników energii oraz wielkość zapotrzebowania na moc odbiorów sterowalnych.

Zapewnienie prawidłowej współpracy mikrosieci z siecią dystrybucyjną wymaga również stworzenia odpowiedniej infrastruktury teleinformatycznej odpowiedzialnej za zbieranie danych pomiarowych (danych wejściowych dla algorytmów sterowania), a także przekazywanie nastaw do urządzeń sterujących (wyników działania algorytmów sterowania) [2, 4].

Zadanie optymalizacji struktur nowoprojektowanych mikrosieci niskiego napięcia

W celu przeprowadzenia obliczeń optymalizacyjnych dotyczących projektowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikrosieci niskiego napięcia, należy sformułować odpowiednią funkcję celu oraz zbiór warunków ograniczających.

Celem zadania optymalizacyjnego jest minimalizacja kosztów całkowitych projektowanej mikrosieci niskiego napięcia, będących sumą kosztów stałych oraz kosztów zmiennych. Ogólna postać funkcji celu, jak również postać kosztów stałych i kosztów zmiennych, została zaprezentowana w [2, 4]. Przedstawiono tam również zbiór koniecznych do spełnienia warunków ograniczających, takich jak:

- wytyczenie tras linii elektroenergetycznych wyłącznie w korytarzach do tego przeznaczonych,

- zapewnienie promieniowej struktury projektowanej mikrosieci,
- zapewnienie zasilania wszystkich węzłów w sieci,
- spełnienie prądowego i napięciowego prawa Kirchhoffa,
- spełnienie bilansu mocy czynnej oraz mocy biernej,
- niedopuszczenie do przeciążenia poszczególnych elementów mikrosieci (linii nn oraz transformatora SN/nn),
- utrzymanie odpowiednich poziomów napięć węzłowych,
- utrzymanie odpowiednich poziomów napięć węzłowych po wystąpieniu operacji załączania/wyłączania mikroźródeł,
- niedopuszczenie do przeciążenia mikroźródeł,
- niedopuszczenie do przeciążenia zasobników energii,
- spełnienie warunku dotyczącego minimalnego i maksymalnego stosunku całkowitej mocy zainstalowanej czynnej mikroźródeł do szczytowego zapotrzebowania na moc odbiorców,
- spełnienie warunku dotyczącego maksymalnego stosunku zainstalowanej mocy czynnej poszczególnych typów mikroźródeł do szczytowego zapotrzebowania na moc odbiorców,
- spełnienie warunku dotyczącego minimalnego i maksymalnego stosunku mocy zainstalowanej czynnej zasobników energii do szczytowego zapotrzebowania na moc odbiorców,
- spełnienie warunku dotyczącego minimalnego całkowitego stosunku zainstalowanych pojemności poszczególnych typów zasobników energii do ich maksymalnych mocy czynnych.

Algorytm rozwiązania sformułowanego powyżej zadania optymalizacyjnego, wykorzystujący algorytm PSO, został przedstawiony w [2, 4].

Interaktywne narzędzie służące do planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikrosieci niskiego napięcia

Opracowany w ramach projektu RIGRID interaktywny system informatyczny wspierający planowanie optymalnych struktur nowoprojektowanych mikrosieci niskiego napięcia bazuje na trzech głównych kryteriach. Kryteria te uwzględniają aspekty techniczne, ekonomiczne oraz społeczne [2, 3].

Podstawą optymalizacji pod kątem kryterium technicznego są dane meteorologiczne, dane statystyczne oraz parametry znamionowe urządzeń rozważanych do zainstalowania w projektowanej mikrosieci. Posiadanie danych meteorologicznych, a w szczególności temperatury, nasłonecznienia i prędkości wiatru, jest niezbędne zarówno do oszacowania poziomów generacji części odnawialnych źródeł energii, jak i przedstawienia profili zapotrzebowania odbiorców na energię elektryczną i ciepło. Wykorzystanie danych statystycznych pozwala na określenie korelacji pomiędzy spodziewanymi obciążeniami a czynnikami społeczno-ekonomicznymi, wpływającymi na zachowanie się odbiorców. Oszacowanie właściwego, długoterminowego profilu zapotrzebowania na moc oraz spodziewanego poziomu generacji źródeł odnawialnych jest kluczowe w celu uniknięcia instalacji zbyt dużej lub zbyt małej liczby źródeł wytwórczych i zasobników energii w projektowanej mikrosieci [2, 3].

Ocena pod kątem ekonomicznym dokonywana jest na podstawie metody NPV. Wskaźnik ten przedstawia wartość ekonomiczną projektowanej mikrosieci.

Kryteria społeczne pozwalają ocenić, w jaki sposób proponowane rozwiązania zostaną zaakceptowane przez mieszkańców obszaru, na którym rozważana jest inwestycja. Aby ułatwić mieszkańcom podjęcie decyzji o

akceptacji projektu bądź konieczności wykonania modyfikacji, zdecydowano się na zastosowanie modułu rzeczywistości wirtualnej, odpowiedzialnego za wizualizację potencjalnych rozwiązań [2, 3].

Wartości uzyskane z oceny kryterium technicznego, ekonomicznego i społecznego zostaną wykorzystane w procesie decyzyjnym. Tak opracowane interaktywne narzędzie planistyczne będzie wspierać projektantów w wyborze najbardziej atrakcyjnego projektu, zarówno z technicznego, ekonomicznego jak i społecznego punktu widzenia.

W celu wspomaganie procesu planowania, monitorowania, analizy oraz eksploatacji mikrosieci niskiego napięcia została opracowana platforma narzędziowa EMACS [2]. W ramach tej platformy można wyróżnić następujące elementy składowe (rys. 1) [2]:

- portal klienta (portal internetowy),
- stacja inżynierska (aplikacja desktopowa),
- broker komunikatów (szyna danych),
- baza danych,
- moduły analityczne służące do optymalizacji planowania struktury mikrosieci oraz procesów jej sterowania,
- implementacje protokołów komunikacyjnych umożliwiających komunikację z fizycznymi urządzeniami współtworzącymi instalacje elektryczne (mikrosieć).

Dostęp do systemu EMACS możliwy jest z poziomu portalu WWW lub oprogramowania stacji inżynierskiej.

Ponieważ całość systemu EMACS składa się z wielu różnych komponentów, a poszczególne komponenty powinny mieć możliwość łatwego i szybkiego komunikowania się ze sobą, użytecznym okazało się wykorzystanie oprogramowania pośredniczącego typu MOM (Message-Oriented Middleware) w postaci brokera komunikatów, w elastyczny sposób integrującego ze sobą wszystkie jednostki funkcjonalne. Broker pośredniczy w wymianie danych pomiędzy wszystkimi komponentami. Komunikacja odbywa się w sposób asynchroniczny (poszczególne elementy oprogramowania reagują na zdarzenia, takie jak napływ nowych danych do przetworzenia) [2].

Jedynymi istotnymi komponentami, które nie są zintegrowane z resztą systemu bezpośrednio za pomocą brokera są moduły analityczne. Komunikują się one natomiast z bazą danych. Praca modułów analitycznych wywoływana jest z poziomu usługi systemu Windows, posiadającej dostęp do szyny danych.

Użytkownik ma możliwość edycji danych wejściowych oraz zmiany parametrów algorytmów optymalizacyjnych poprzez oprogramowanie stacji inżynierskiej. W momencie wywołania dowolnego z modułów analitycznych przez usługę systemu Windows, usługa ta umieszcza całość danych wejściowych w odpowiednich tabelach danych, uruchamia algorytm, czeka na zakończenie obliczeń, a następnie czytuje wyniki z innych tabel (rys. 2). Same algorytmy komunikują się jedynie z bazą danych. Wyniki obliczeń zostają z kolei wyprowadzone przez usługę na szynę danych, do wizualizacji przez punkty styku z użytkownikiem końcowym. Opisany schemat działania w przypadku modułu analitycznego wspierającego proces planowania struktury mikrosieci realizowany jest jednokrotnie, w dowolnym momencie, na żądanie [2].

Edycja danych wejściowych możliwa jest przede wszystkim z poziomu oprogramowania stacji inżynierskiej, a także w pewnej części z poziomu portalu klienta (portal WWW). Obserwacja danych wyjściowych możliwa jest zarówno z poziomu portalu klienta, jak i oprogramowania stacji inżynierskiej. Portal klienta wizualizuje najważniejsze

rezultaty obliczeń. Wyniki szczegółowe dostępne są z poziomu stacji inżynierskiej.

Opis instalacji demonstracyjnej i dane do obliczeń optymalizacyjnych

Obliczenia optymalizacyjne łącznie z analizą uzyskanych rezultatów zostały przeprowadzone dla instalacji demonstracyjnej (mikrosieci niskiego napięcia) zlokalizowanej w Puńsku. Instalacja demonstracyjna obejmuje sieć kablową oraz instalacje elektryczne niskiego napięcia w obiektach na terenie oczyszczalni ścieków. Linia średniego napięcia oraz transformator SN/nn należą w tym przypadku do Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD); ich parametry nie podlegają procesowi optymalizacji. Dlatego całkowite koszty tych elementów sieci nie są brane pod uwagę w obliczeniach optymalizacyjnych. Ponadto założono, że przekroje poszczególnych linii kablowych niskiego napięcia w mikrosieci mogą być różne.

Celem prowadzonych obliczeń optymalizacyjnych jest zaprojektowanie optymalnej struktury mikrosieci, obejmującej: linię kablową nn wychodzącą z transformatora SN/nn i zasilającą rozdzielnicę główną oczyszczalni; 4 linie kablowe wychodzące z rozdzielnic głównej i zasilające rozdzielnice oddziałowe; linie kablowe zasilające: spalinowy agregat prądotwórczy, baterijny zasobnik energii, zestaw paneli fotowoltaicznych, turbozespół wiatrowy; a także obejmującej spalinowy agregat prądotwórczy; baterijny zasobnik energii; zestaw paneli fotowoltaicznych; turbozespół wiatrowy.

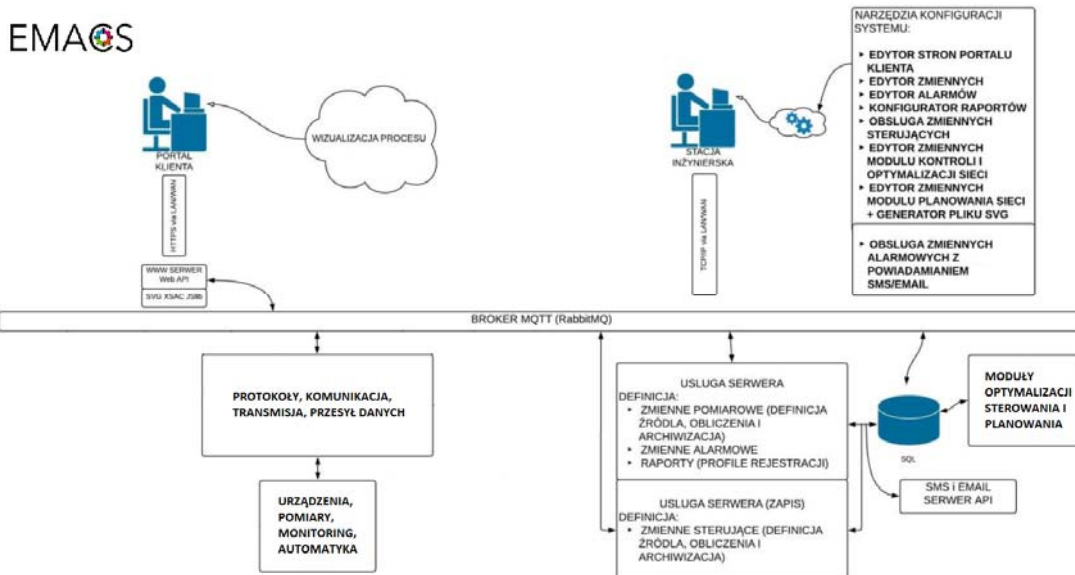
Założono, że dane są [2]:

- długości zdefiniowanych linii kablowych nn na terenie oczyszczalni ścieków,
- obciążenia rozdzielnic głównej oraz rozdzielnic oddziałowych oczyszczalni,
- trzy typy linii kablowych nn (do wyboru),
- pięć typów agregatów prądotwórczych (do wyboru),
- trzy typy zestawów paneli fotowoltaicznych (do wyboru),
- trzy typy turbozespołów wiatrowych (do wyboru),
- cztery typy bateryjnych zasobników energii (do wyboru),
- dane dotyczące dobowych profili nasłonecznienia i generacji słonecznej w panelach,
- dane dotyczące dobowych profili prędkości wiatru oraz krzywe generacji mocy w możliwych do wyboru turbozespołach wiatrowych
- dane dotyczące dobowych profili zapotrzebowania na moc rozdzielnic głównej oraz rozdzielnic oddziałowych,
- wymagane dane ekonomiczne, a w szczególności jednostkowy koszt mocy oraz jednostkowy koszt energii.

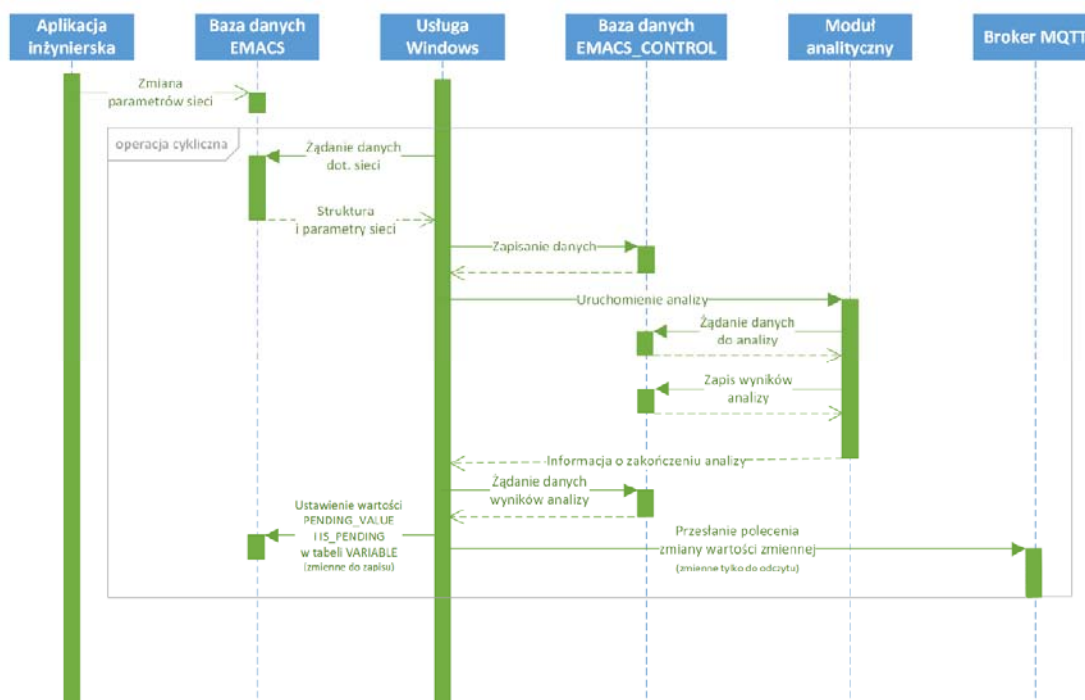
Schemat zadania planistycznego na platformie EMACS przedstawiono na rys. 3. Przykład edycji danych odnoszących się do zakładanych istniejących odbiorów pokazano z kolei na rys. 4.

Prezentacja wyników obliczeń optymalizacyjnych w instalacji demonstracyjnej

Podczas obliczeń optymalizacyjnych, wykonywanych w ramach projektu RIGRID, przeprowadzono badania dla 6 różnych wariantów obliczeniowych dotyczących okresu zimowego oraz letniego. Dla okresu zimowego badane były warianty z możliwą instalacją jednego zestawu paneli fotowoltaicznych oraz jednego turbozespołu wiatrowego (1), jak również z możliwą instalacją maksymalnie 2 zestawów paneli fotowoltaicznych oraz maksymalnie 2 turbozespołów wiatrowych (2).



Rys. 1. Jednostki funkcjonalne współtworzące platformę narzędziową EMACS; opracowano na podstawie [2].

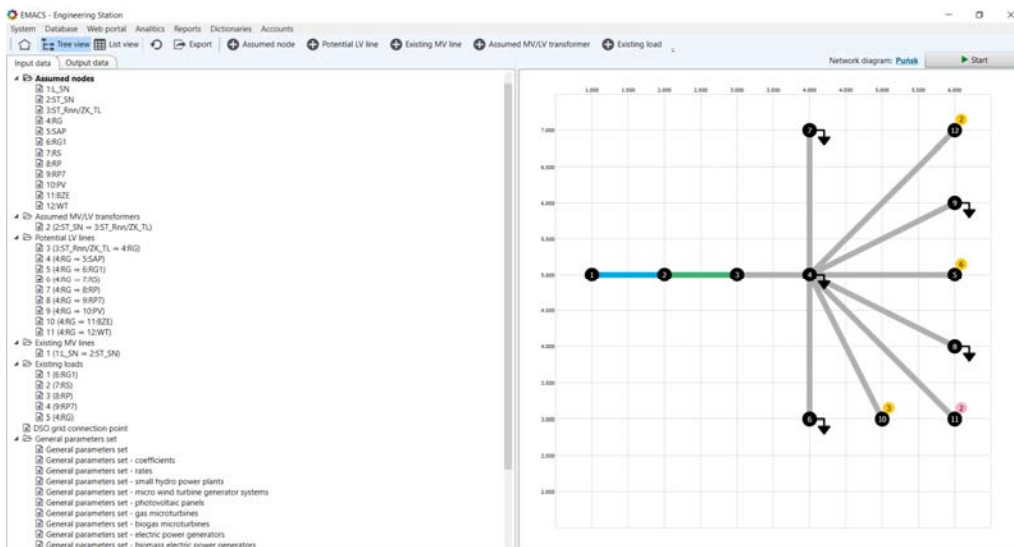


Rys. 2. Przebieg wywołania dowolnego z modułów analitycznych (do planowania optymalnej struktury mikrosieci niskiego napięcia lub do wyznaczania optymalnych punktów pracy dla mikrosieci niskiego napięcia) z poziomu platformy narzędziowej EMACS [2].

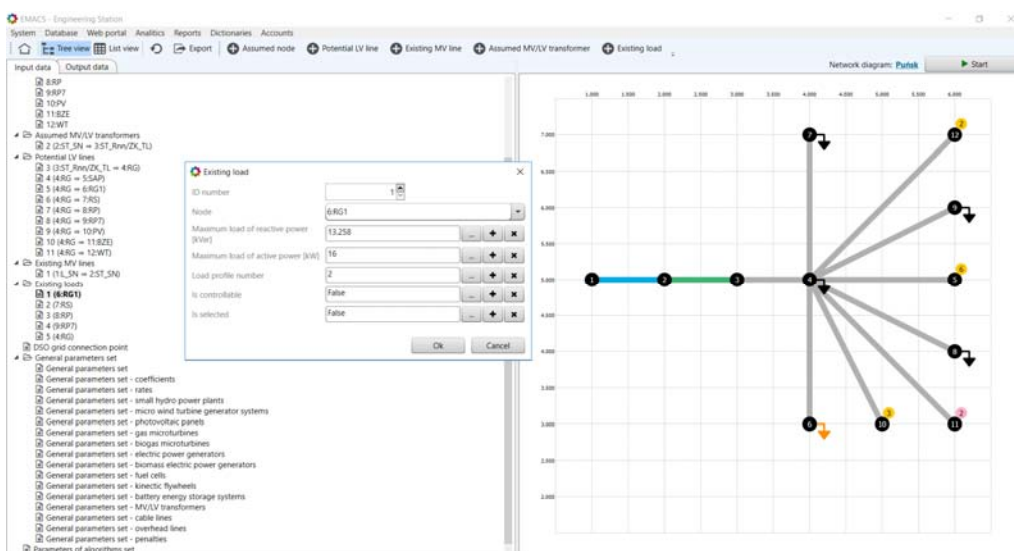
Jeden z badanych wariantów (1) dotyczył okresu zimowego, podczas którego źródło referencyjne musi być zdolne do dostarczenia co najmniej 25% mocy szczytowej projektowanej mikrosieci w instalacji demonstracyjnej. Obciążenie szczytowe projektowanej mikrosieci wynosiło około 43 kW. Źródła wytwórcze były wybierane losowo z przedziału (43 kW; 43 kW + 50 kW), zaś zasobniki energii z przedziału (8,3 kW; 8,3 kW + 35 kW). Tymczasowy (przejściowy) zasobnik referencyjny pokrywał zawsze 25% mocy szczytowej mikrosieci. We wszystkich przeprowadzonych obliczeniach założono, że liczba cząstek w algorytmie PSO wynosi 50, zaś liczba iteracji w tym algorytmie wynosi 500.

Dla wariantu (1) uzyskano następujące rezultaty:

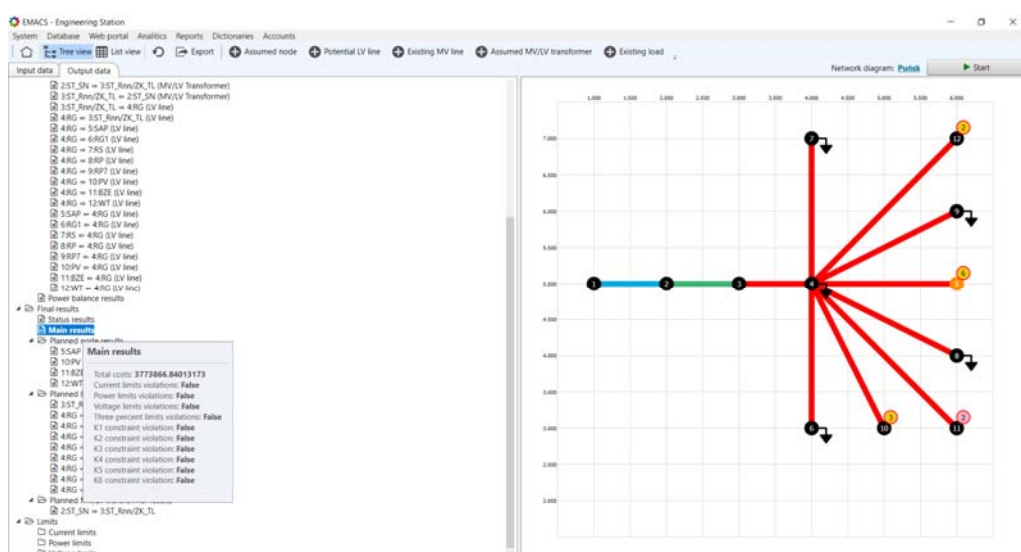
- przekroje wszystkich linii kablowych nn zostały dobrane prawidłowo (kable typu YKY o przekrojach z zakresu: 5x16, 5x35, 5x50 mm²);
- nie zaobserwowano naruszenia jakichkolwiek zdefiniowanych ograniczeń;
- w procesie optymalizacji wybrano: agregat prądowłóczy o mocy 32 kW, zasobnik energii o mocy 18 kW i pojemności 18,6 kWh, zestaw paneli fotowoltaicznych o mocy zainstalowanej 60 kW oraz turboszpół wiatrowy o mocy zainstalowanej 20 kW;
- całkowite koszty zaprojektowanej mikrosieci (koszty stałe plus koszty zmienne) w okresie 25 lat eksploatacji wyniosły nieco poniżej 3,8 mln zł.



Rys. 3. Schemat zadania planistycznego – zrzut ekranu z platformy EMACS.



Rys. 4. Edycja danych odnoszących się do zakładanych istniejących odbiorów – zrzut ekranu z platformy EMACS.



Rys. 5. Wizualizacja uzyskanego rozwiązania - schemat koniecznych do zbudowania połączeń oraz lokalizacje mikroźródeł i zasobników koniecznych do zainstalowania; zrzut ekranu z platformy EMACS.

Podsumowanie i wnioski

W artykule zostały opisane: mikrosieci niskiego napięcia na obszarach wiejskich, zagadnienie optymalizacji struktur mikrosieci, interaktywne narzędzie służące do planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikrosieci niskiego napięcia, instalacja demonstracyjna, dane do obliczeń oraz uzyskane wyniki obliczeń optymalizacyjnych w instalacji demonstracyjnej.

Budowa mikrosieci niskiego napięcia na terenach wiejskich może się przyczynić do istotnej poprawy wskaźników niezawodności dostawy energii elektrycznej, jak również parametrów jakościowych energii elektrycznej.

Proces projektowania mikrosieci powinien uwzględniać zarówno zagadnienia techniczne, jak i kwestie ekonomiczne oraz akceptacji społecznej rozważanych rozwiązań projektowych.

Istotnym czynnikiem wpływającym na wybór określonego rozwiązania projektowego (struktury mikrosieci) w procesie optymalizacji jest przyjęcie odpowiedniej postaci funkcji celu oraz zbioru warunków ograniczających.

Przeprowadzone obliczenia optymalizacyjne pokazały, że opracowane, w ramach projektu RIGRID, narzędzie interaktywne (EMACS) jest efektywnym narzędziem do planowania optymalnych struktur nowoprojektowanych mikrosieci niskiego napięcia.

Podziękowania

Niniejszy artykuł jest finansowany ze środków przewidzianych na realizację projektu RIGRID (Rural Intelligent Grid). Projekt ten jest realizowany w ramach inicjatywy ERA-Net Smart Grids Plus, przy wsparciu Programu Horyzont 2020 Unii Europejskiej.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Mirosław Parol, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: miroslaw.parol@ien.pw.edu.pl; mgr inż. Łukasz Rokicki, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: lukasz.rokicki@ien.pw.edu.pl; mgr inż. Rafał Parol, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: parolr@ee.pw.edu.pl; inż. Mariusz Piotrowski, Electrum Sp. z o. o., ul. Watykańska 13, 15-638 Białystok, E-mail: mpiotrowski@electrum.pl

LITERATURA

- [1] <http://ec.europa.eu/eurostat>
- [2] Raporty merytoryczne z realizacji międzynarodowego projektu badawczego RIGRID (Intelligentne Sieci Elektroenergetyczne na obszarach wiejskich) w latach 2016-2018. Prace niepublikowane.
- [3] Arendarski B., Lombardi P., Mencke N., Komarnicki P., Parol M., Połacki M., Rokicki Ł., Poptawska M., Luto M., Piotrowski M., Ramczykowski M., Concept of

- Rural Intelligent Grid Interactive Planning Methodology, Scientific-Technical Conference "Electrical Power Networks - EPNet 2016", September 19-21, 2016, Szklarska Poręba, Poland
- [4] Parol M., Rokicki Ł., Połacki M., Parol R., Komarnicki P., Arendarski B., Piotrowski M., Projektowanie i optymalne sterowanie pracą mikrosieci niskiego napięcia na obszarach wiejskich, Konferencja Naukowa „Energetyka Prosumencka w Wymiarach Zrównoważonego Rozwoju – EPwWZR 2016”, 9 listopada 2016 r., Koszęcin
 - [5] Parol R., Parol M., Rokicki Ł., Implementation issues concerning optimal operation control algorithms in low voltage microgrids, 5th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering - ISEEE-2017, October 20-22, 2017, Galați, Romania, Page(s): 7 pp.
 - [6] Parol M., Rokicki Ł., Parol R., Optimal operation control in low voltage microgrids in rural areas functioning on the basis of centralized control logic, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 94, NR 3/2018, 134-138
 - [7] *Mikrosieci niskiego napięcia. Praca zbiorowa pod redakcją Mirosława Parola.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013
 - [8] Parol M., Mikrosieci – przyszłościowe struktury sieci dystrybucyjnych, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 92, NR 8/2016, 1-5
 - [9] Lasseter R., Akhil A., Marnay Ch., Stephens J., Dagle J., Guttromson R., Meliopoulos A.S., Yinger R., Eto J., White Paper on Integration of Distributed Energy Resources: "The CERTS MicroGrid Concept", April 2002, on-line: <http://certs.lbl.gov>
 - [10] Parol M., Inteligentne sieci elektroenergetyczne, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „INVENTION. Innowacyjność w Elektroenergetyce”, Ustroń 25-26 października 2007, Energetyka, 2007, Zeszyt tematyczny nr XIII, 121-126
 - [11] Hatzigargyriou N. D., Dimeas A., Tsikalakis A. G., Pecos Lopes J. A., Kariniotakis G., Oyarzabal J., Management of Microgrids in Market Environment, CD Proceedings of the International Conference on Future Power Systems, November 16-18, 2005, Amsterdam
 - [12] Dimeas A.L., Hatzigargyriou N.D., Operation of a Multiagent System for Microgrid Control. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 3/2005, 1447-1455
 - [13] Katiraei F., Iravani R., Hatzigargyriou N.D., Dimeas A.L., Microgrids Management. Control and Operation Aspects of Microgrids. IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3/2008, 54-65
 - [14] Katiraei F., Iravani R., Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 4/2006, 1821-1831
 - [15] Pecos Lopes J.A., Moreira C.L., Madureira A.G., Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 2/2005, 916-924