

Oryginalny artykuł naukowy
Original Article

Data wpływu/Received: 5.04.2021

Data recenzji/Accepted: 3.05.2021/28.05.2021

Data publikacji/Published: 30.06.2021

Źródła finansowania publikacji: Konferencja Rachunkowość a Controlling

DOI: 10.5604/01.3001.0015.0046

Authors' Contribution:

(A) Study Design (projekt badania)

(B) Data Collection (zbieranie danych)

(C) Statistical Analysis (analiza statystyczna)

(D) Data Interpretation (interpretacja danych)

(E) Manuscript Preparation (redagowanie opracowania)

(F) Literature Search (badania literaturowe)

prof. nadzw. dr hab. Marcin Wierzbiński ^{A B C D E F}

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

ORCID 0000-0002-3046-4178

ZARZĄDZANIE STRONĄ POPYTOWĄ NA CIEPŁO SYSTEMOWE

DEMAND SIDE MANAGEMENT IN DISTRICT HEATING SYSTEM

Streszczenie: Autor podejmuje problem dotyczący możliwości informatycznego wspomaganie zarządzania stroną popytową na ciepło systemowe (*Demand Side Management* – DSM). Celem tego artykułu jest przedstawienie narzędzi wspomagających zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe, w tym przede wszystkim narzędzi informatycznych i z obszaru Internetu Rzeczy. W pierwszej części artykułu została przedstawiona istota *Demand Side Management*. W kolejnej części zaprezentowano funkcjonalność i architekturę systemu informa-

tycznego wspomagającego zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe. W podsumowaniu wskazano korzyści płynące z zastosowania systemów zarządzania stroną popytową na ciepło systemowe w praktyce.

Słowa kluczowe: zarządzanie stroną popytową, ciepło systemowe, Internet Rzeczy

Abstract: in the article author tries to scrutinize the problem regarding demand side management in district heating system. The aim of the article is to depict the ICT and IoT tools supporting demand side management in district heating. In the first part of the article the essence of demand side management was presented in particular in energy industry. After that the functionality and architecture of IT system supporting demand side management in district heating system were shown. In the last part of the article there were presented the benefits coming from implementation of such IT system in practice.

Keywords: demand side management, district heating, Internet of Things

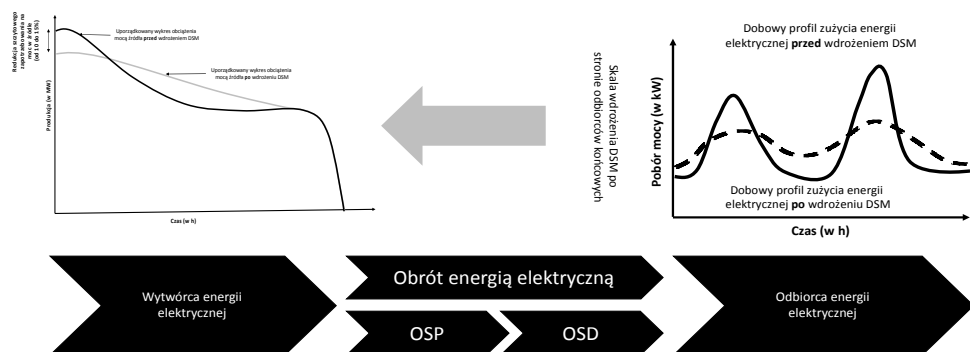
1. Istota zarządzania stroną popytową w sektorze energii

Pojęcie zarządzania stroną popytową (*Demand Side Managment* – dalej DSM) wywodzi się z rynku energii elektrycznej. Pierwszy definicję DSM sformułował Clark W. Gellings w latach 80. ubiegłego wieku¹. Przez DSM należy rozumieć działania podejmowane w sposób bezpośredni lub pośredni po stronie odbiorców energii elektrycznej (strona popytowa), które są stymulowane przez dostawcę tego produktu. Celem DSM jest przede wszystkim redukcja zapotrzebowania na moc elektryczną w okresach (godzinach) szczytowego jej poboru przy zachowaniu całkowitego popytu na ten produkt w ciągu dłuższego okresu (doby, miesiąca, roku) bez zmian lub nawet przy zwiększeniu sprzedaży tego produktu. Cel ten można osiągnąć poprzez przesunięcie poboru energii elektrycznej z okresów (godzin) szczytowego zapotrzebowania na nią na okresy (godziny), w których zapotrzebowanie na moc elektryczną jest mniejsze. Ogólna idea DSM została zaprezentowana na rysunku 1.

¹ C.W. Gellings, *The concept of demand side management for electric utilities*, Proceedings of the IEEE 1985 73:10, za: P. Warren, *A review of demand-side management policy in the UK*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2014, 29, s. 941-951.

Rysunek 1. Ogólna idea działania systemu zarządzania stroną popytową (DSM) na energię elektryczną

Figure 1. The general idea of Demand Side Management System in energy industry



*OSP – Operator Systemu Przesyłowego

**OSD – Operator Systemu Dystrybucyjnego

Źródło: opracowanie własne.

Przed wdrożeniem systemu DSM szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną w ciągu doby (najczęściej występują dwa szczyty: przedpołudniowy i popołudniowy) jest znacznie wyższe niż po wdrożeniu rozpatrywanego systemu. Implementacja systemu DSM przyczynia się do „spłaszczenia” zapotrzebowania na moc elektryczną przez odbiorcę w ciągu doby. Widoczne jest wyraźne przesunięcie przez odbiorcę zapotrzebowania na moc elektryczną z okresów szczytowych na godziny charakteryzujące się mniejszym zapotrzebowaniem na moc.

Wdrożenie systemu DSM w dużej skali, tj. u dużej liczby odbiorców końcowych, ma wpływ na obciążenie mocą całego systemu elektroenergetycznego, a także na obciążenie mocą poszczególnych źródeł energii w nim pracujących. Przed wdrożeniem DSM uporządkowany wykres obciążenia mocą danego źródła energii w ciągu doby wykazuje znacznie wyższe zapotrzebowanie na moc w szczycie niż po wdrożeniu DSM. Jednocześnie po wdrożeniu DSM w dużej skali następuje zazwyczaj zwiększenie zapotrzebowania na moc elektryczną w godzinach pozaszczytowych. Dzięki temu widoczne jest spłaszczenie zapotrzebowania na moc elektryczną w źródle, co bezpośrednio przekłada się na poprawę warunków eksploatacyjnych źródła.

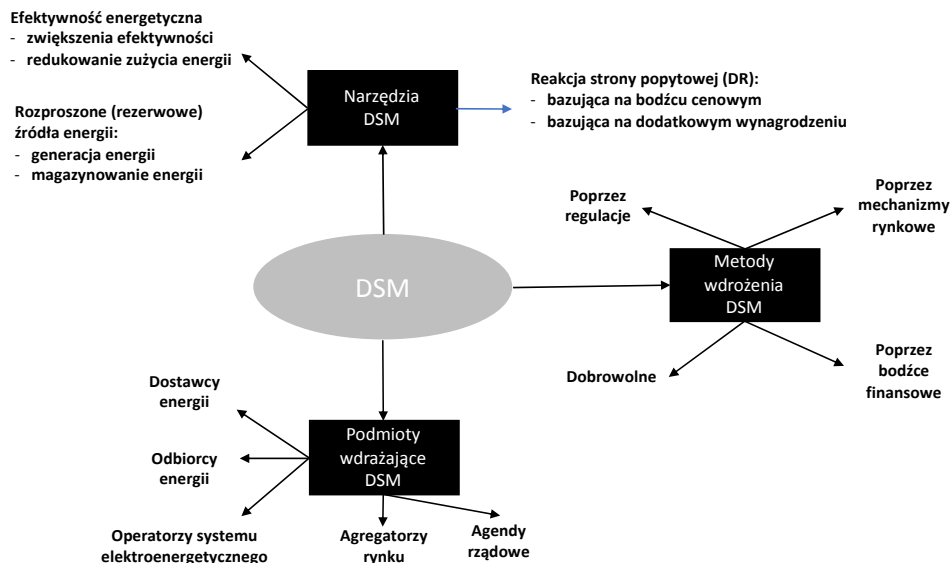
Koncepcję zarządzania stroną popytową można również odnieść do innego sektora energii, a mianowicie do ciepła systemowego. Celem wdrożenia mechanizmów zarządzania zużyciem ciepła po stronie odbiorców końcowych ciepła systemowego jest między innymi podnoszenie efektywności energetycznej, w tym poprzez wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, a także „spłaszczanie” profilu poboru przez nich mocy cieplnej, co przekłada się na ograniczenie czasu pracy szczytowych źródeł ciepła. Celem tego artykułu jest przedstawienie koncepcji i mechanizmów zarządzania stroną popytową na ciepło systemowe.

2. Narzędzia zarządzania stroną popytową w sektorze energii

System DSM może być wdrażany przy wykorzystaniu różnych narzędzi i polityk, a także przez różne podmioty działające w ramach rynku energii, co zaprezentowano na kolejnym rysunku.

Rysunek 2. Metody i narzędzia DSM

Figure 2. The methods and tools of Demand Side Management



Źródło: P. Warren, *A review of demand-side management policy in the UK*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2014, 29, s. 941-951.

W ramach DSM wykorzystywane są najczęściej następujące narzędzia:

- zmiana zachowania odbiorców poprzez wykorzystanie bodźców ekonomicznych,
- magazynowanie energii po stronie odbiorców końcowych,
- wykorzystanie rozproszonych źródeł energii do ograniczenia poboru mocy przez odbiorców w warunkach szczytowego zapotrzebowania na nią,
- podnoszenie efektywności energetycznej.

Pierwszy z wymienionych mechanizmów jest bezpośrednio związany z przesunięciem przez odbiorców końcowych poboru energii z okresów szczytowego zapotrzebowania na nią na okresy, w których to zapotrzebowanie jest mniejsze. Zmiana zachowania może polegać na:

- czasowym obniżeniu poboru mocy przez określone urządzenia, co dotyczy przede wszystkim zakładów przemysłowych,

- przesunięciu w czasie wykonywania określonych czynności, z którymi jest związane uruchomienie określonych urządzeń, co może być realizowane zarówno przez zakłady przemysłowe, jak i gospodarstwa domowe.

Przed wdrożeniem DSM przeprowadza się kategoryzację czynności i urządzeń pod względem możliwości przesunięcia zapotrzebowania na moc elektryczną lub ciepłą w ciągu doby czy tygodnia. W gospodarstwach domowych kategoryzacja czynności i związanych z nimi urządzeń, które są powiązane z DSM, może przedstawiać się następująco:

- czynności, które mogą być przesunięte w ciągu doby z perspektywy poboru energii elektrycznej (uruchomienie zmywarki, pralki, suszarki, prasowanie etc.),
- czynności, które nie mogą być przesunięte lub są trudne do przesunięcia w ciągu doby z perspektywy poboru energii elektrycznej (oświetlenie, oglądanie telewizji).

Podobnie w przedsiębiorstwach produkcyjnych, handlowych i usługowych można zidentyfikować czynności i wykorzystywane w ich ramach urządzenia, których wykonywanie może zostać przesunięte w czasie bez szkody dla wielkości czy jakości produkcji bądź świadczonych usług. Zarówno zakłady przemysłowe, jak i gospodarstwa domowe, kategoryzując czynności i powiązane z nimi urządzenia, mogą przesunąć w czasie część zapotrzebowania na moc elektryczną, co prowadzi do zmiany ich profilów poboru energii elektrycznej.

W przypadku sektora ciepłowniczego zmiana profilu poboru mocy cieplnej w kierunku pożądanym przez jego dostawcę (ograniczenie poboru mocy cieplnej w szczycie jej zapotrzebowania i zwiększenie w okresach pozaszczytowych) może się odbywać przy wykorzystaniu:

- akumulatorów ciepła instalowanych bezpośrednio w węzłach cieplnych w budynkach,
- możliwości akumulacji ciepła przez budynek,
- czasowych obniżen temperatur wewnątrz pomieszczeń poniżej temperatury normatywnej (21°C), szczególnie w godzinach nocnych lub w okresach, w których budynki nie są w pełni eksploatowane,
- uzupełniających źródeł energii instalowanych po stronie odbiorców końcowych, w tym źródeł odnawialnych (np. pomp ciepła zintegrowanych z fotowoltaiką),
- priorytetu dla poboru mocy cieplnej na potrzeby podgrzewania wody co celów użytkowych.

W celu stymulowania odpowiedniego zachowania odbiorców dostawcy energii elektrycznej i ciepła wykorzystują określone bodźce ekonomiczne. Bodźce te można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- bonifikaty lub specjalne premie wypłacane w zamian za zmniejszenie poboru energii elektrycznej lub ciepła w okresach szczytowego zapotrzebowania na nie,
- ceny dynamiczne, których wysokość jest uzależniona od popytu i podaży energii elektrycznej w określonych godzinach lub dłuższych okresach doby; w przypadku ciepła ceny mogą być kształtowane w różnej wysokości w zależności od temperatur zewnętrznych, które są ściśle skorelowane z popytem na moc cieplną.

W większości systemów DSM opartych na premiach wypłacanych dla odbiorców wykorzystuje się stałe wynagrodzenia miesięczne dla odbiorcy końcowego za każdy zadeklarowany MW obniżenia mocy po otrzymaniu wyprzedzającej informacji. Wdrożenie wynagrodzeń bazujących na dodatkowej płatności za każdą niepobrany MWh energii elektrycznej lub niepobrany GJ ciepła w warunkach szczytowego zapotrzebowania na moc jest trudne ze względu na problemy z określeniem ilości unikniętego poboru energii elektrycznej.

Bardziej zaawansowane systemy DSM bazują na cenach dynamicznych za energię elektryczną. W tych systemach cena energii elektrycznej zmienia się dla odbiorców końcowych w każdej godzinie doby w zależności od popytu i podaży. Innymi słowy, w tych systemach uwarunkowania cenowe z rynku hurtowego są przekładane przez sprzedawców energii elektrycznej na odbiorców końcowych. O ile duzi odbiorcy przemysłowi mogą się samodzielnie zaopatrywać w energię elektryczną na rynku hurtowym, a zatem korzystają z cen dynamicznych od dłuższego czasu, o tyle mniejsze przedsiębiorstwa i gospodarstwa domowe tym systemem kształtowania cen mogą być objęte wyłącznie w przypadku dokonania określonych zmian w prawie i w obszarze technologicznym (np. inteligentne opomiarowanie).

W przypadku sektora ciepłowniczego wdrożenie cen dynamicznych może polegać na tym, iż ceny ciepła w taryfie są zróżnicowane w zależności od tego, przy jakich temperaturach zewnętrznych następuje pobór mocy cieplnej przez odbiorcę. Najniższe ceny ciepła występują przy najwyższych temperaturach zewnętrznych (np. $T_{\text{zewn}} > 10^{\circ}\text{C}$), wyższe ceny ciepła są oferowane w zakresie temperatur zewnętrznych od $+10^{\circ}\text{C}$ do -10°C , a najwyższe ceny ciepła występują przy $T_{\text{zewn}} < -10^{\circ}\text{C}$. Przedstawione przedziały temperatur zewnętrznych mają jedynie charakter poglądowy. Przy takim kształtowaniu ceny za ciepło odbiorcy mają realną motywację do obniżenia poboru mocy cieplnej w szczycie zapotrzebowania na moc i do podejmowania działań na rzecz zwiększania poboru mocy cieplnej poza okresami szczytowymi (np. do celów związanych z chłodzeniem pomieszczeń).

Jeżeli zachowania odbiorców w zakresie poboru energii elektrycznej lub ciepła zmieniają się pod wpływem bodźców ekonomicznych, to mieszczą się one w ramach pojęcia reakcji strony popytowej (*Demand Response*). Mechanizmy *Demand Response* mieszczą się w szeroko pojętym DSM.

Efektywne zarządzanie stroną popytową na energię elektryczną lub ciepło zawiera w sobie także wykorzystywanie magazynów energii i rozproszonych źródeł energii instalowanych przez odbiorców końcowych do spłaszczania profilu poboru mocy przez nich z systemu elektroenergetycznego lub ciepłowniczego. Domowe magazyny energii są coraz bardziej popularne, szczególnie z jednoczesną instalacją fotowoltaiki. Magazyn energii jest ładowany w godzinach niskiego zapotrzebowania na moc elektryczną, w których występują niższe ceny energii elektrycznej, a następnie zgromadzona w nich energia jest wykorzystywana w okresach szczytowego poboru mocy w systemie, kiedy ceny energii elektrycznej są najwyższe. Energię elektryczną można

także magazynować w postaci gorącej wody wykorzystywanej dla celów użytkowych lub do ogrzewania pomieszczeń. Coraz częściej w węzłach ciepłych instalowane są zasobniki (magazyny ciepła), których funkcja może być wieloraka:

- umożliwiają one gromadzenie ciepła w okresach niskiego zapotrzebowania na moc w systemie ciepłowniczym i ich rozładowywania w okresach szczytowych,
- umożliwiają one gromadzenie energii elektrycznej poprzez jej zamianę na energię ciepłą, która jest wykorzystywana do ogrzewania pomieszczeń (w tej sytuacji akumulator ciepła jest zintegrowany z grzałkami elektrycznymi),
- umożliwiają one gromadzenie ciepła ze źródeł odnawialnych, które może być wykorzystane w innym czasie zapotrzebowania na nie.

W systemach DSM są wykorzystywane również rozproszone źródła energii, szczególnie takie, które mogą zostać w szybkim tempie przywołane do pracy i odstawione w stan spoczynku. Do tych urządzeń zalicza się przede wszystkim agregaty na gaz ziemny lub olej napędowy, które w zakładach przemysłowych lub szpitalach stanowią rezerwowe źródło energii. W przypadku sektora ciepłowniczego do takich źródeł ciepła zalicza się głównie panele słoneczne i pompy ciepła zintegrowane z fotowoltaiką. Niektórzy autorzy w ramach koncepcji DSM uwzględniają także podnoszenie efektywności energetycznej po stronie odbiorców końcowych.

Konkludując część dotyczącą istoty DSM, należy stwierdzić, że koncepcja ta obejmuje szeroko pojętą efektywność energetyczną i mechanizmy *Demand Response*². Narzędzia DSM mogły się rozwinąć intensywnie w ostatnich latach dzięki postępowi technologicznemu, szczególnie w takich obszarach jak technologie telekomunikacyjne, sterowania i kontroli, Internetu Rzeczy. Dzięki wymienionym technologiom zarządzanie stroną popytową na energię elektryczną staje się coraz bardziej zautomatyzowane, a zatem również skuteczne. Rozwój i wdrażanie tych technologii przekłada się także na to, iż przesunięcia w popycie na energię elektryczną mogą się odbywać w zasadzie w sposób nie pogarszający jakości życia odbiorców tego produktu.

3. System informatyczny wspomagający zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe

Przedstawiany system powstał w ramach projektu badawczego pt. „System wspomagający zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe” sfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (program Iuser). Projekt ten był realizowany przez spółkę NG Heat Sp. z o.o. we współpracy z wiodącymi uczelniami w kraju. Ogólna istota opracowanego systemu została zaprezentowana na poniższym rysunku.

² M. Behrangrad, *A review of demand – side management business models in the electricity market*, “Renew Sustain Energy Rev.” 2015, 47, s. 270-283; R. Sharifi, S.H. Fathi, V. Vahidinasab, *A review on demand-side tools in electricity market*, “Renew Sustain Energy Rev.” 2017, 72, s. 565-572.

Rysunek 3. Ogólna istota systemu wspomagającego zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe

Figure 3. The general idea of Demand Side Management in district heating



Źródło: opracowanie własne.

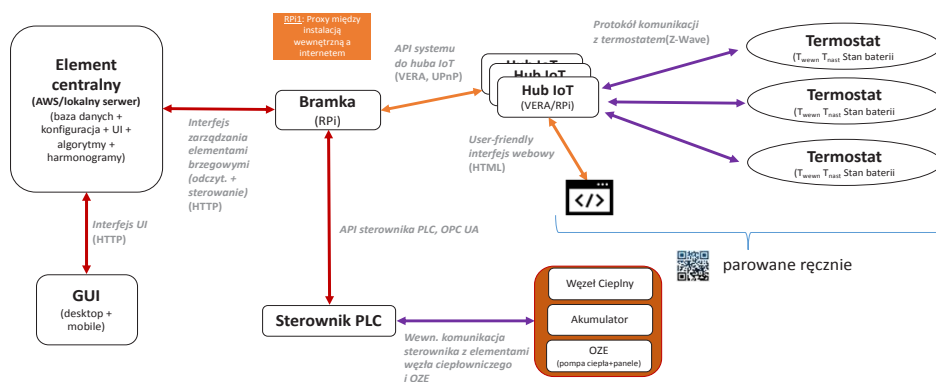
Rolą opracowanego systemu jest integracja ciepła systemowego z rozproszonymi odnawialnymi źródłami energii, a także wspomaganie podnoszenia efektywności energetycznej budynków poprzez cyfryzację ciepła systemowego od strony odbiorców końcowych. Dodatkowym celem wdrażania systemu będzie „spłaszczanie” profilu poboru mocy cieplnej w budynkach, co umożliwi optymalizację mocy zamówionej u dostawców ciepła dla celów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. W szczególności funkcjonalność instalowanego systemu informatycznego umożliwia:

- integrację pracy węzła cieplnego z rozproszonymi źródłami ciepła (panelami solarnymi i/lub pompami ciepła zintegrowanymi z fotowoltaiką) ukierunkowaną na minimalizowanie poboru ciepła z systemu ciepłowniczego i tym samym kosztów zakupu ciepła przez odbiorcę końcowego;
- automatyczną i zdalną realizację nastaw pożądaných temperatur wewnątrz poszczególnych pomieszczeń w budynku w zależności od sposobu i intensywności użytkowania obiektu, w tym poprzez udostępnienie użytkownikom pomieszczeń aplikacji na urządzenia mobilne;
- „spłaszczenie” profilu poboru mocy cieplnej z systemu ciepłowniczego przy zapewnieniu komfortu cieplnego w budynkach poprzez optymalne sterowanie ładowaniem i rozładowaniem zasobników zainstalowanych w węźle cieplnym;
- optymalizację krzywej grzewczej na wewnętrznej instalacji centralnego ogrzewania budynku w powiązaniu ze sposobem użytkowania obiektu i nastawami temperatur wewnątrznych na termostatach;
- zdalne sterowanie pompami obiegowymi c.w.u i innymi oraz zdalne sterowanie temperaturą referencyjną c.w.u;

- udostępnianie właścicielom/zarządcom budynków informacji o prognozowanych temperaturach zewnętrznych i o przewidywanym ich zapotrzebowaniu na moc cieplną 48h do przodu;
- udostępnianie właścicielom/zarządcom budynków informacji o zużyciu przez nich ciepła i mocy cieplnej w czasie rzeczywistym i w różnych, historycznych przekrojach czasowych;
- udostępnianie właścicielom/zarządcom budynków informacji o osiągniętych przez nich oszczędnościach dzięki wdrożeniu systemu IT oraz rozproszonych źródeł energii;
- detekcję zakłóceń w pracy instalacji wewnętrznej.

Ogólny schemat architektury systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe przedstawiono na poniższym rysunku.

Rysunek 4. Architektura systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe
Figure 4. The architecture of ICT system supporting Demand Side Management in district heating



Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji z NG Heat Sp. z o.o.

System informatyczny jest zbudowany w technologii kontenerowej w chmurze Amazon Web Services (AWS). Architektura systemu od strony funkcjonalnej została zaprojektowana jako zbiór współpracujących ze sobą komponentów, które można podzielić ze względu na pełnione role, czyli są to: centralna aplikacja pracująca w wybranej chmurze obliczeniowej, posiadająca front-end w postaci webowej oraz towarzysząca jej aplikacja na urządzenia mobilne, jednostka lokalna (LU), sterownik PLC, bramka/hub IoT oraz bramka VPN pracujące po stronie obsługiwanego węzła ciepłego i budynku, elementy pomiarowe oraz wykonawcze, takie jak zdalnie sterowane termostaty, zawory, pompy obiegowe, czujniki temperatur, przepływu oraz ciepłomierze również pracujące po stronie obsługiwanego budynku.

Centralna aplikacja napisana jest w języku Java oraz wsparta bazą danych PostgreSQL. Aplikacja mobilna funkcjonuje na platformie Android. Architektura systemu od strony technicznej zaprojektowana jest jako IaC (ang. *Infrastructure as a Code*) z użyciem komponentów narzędzia Terraform. Pozwala to na dynamiczne skalowanie systemu w zależności od bieżących potrzeb obliczeniowych oraz jednocześnie zapewnia zautomatyzowane uruchamianie poszczególnych komponentów systemu bez konieczności manualnej ingerencji. Uruchamianie aplikacji w reżimie IaC dotyczy wszystkich komponentów systemu łącznie z komponentami pracującymi po stronie budynkowej. Jednym z elementów wykonawczych w budynku od strony zarządzania zużyciem ciepła w zależności od sposobu użytkowania pomieszczeń pozostają zdalnie sterowane termostaty. W systemie użyte są zdalnie sterowane termostaty pracujące w technologii sieci Z-Wave, która jest bezprzewodowym standardem komunikacyjnym stosowanym w instalacjach inteligentnych budynków oraz Internetu Rzeczy (IoT). Niewątpliwą zaletą stosowania protokołu Z-Wave jest możliwość budowania sieci kratowej, czyli możliwość wykorzystywania niektórych węzłów sieci nie tylko jako elementów wykonawczych, ale również jako elementów pośredniczących w komunikacji z pozostałymi częściami sieci, niebędącymi bezpośrednio w zasięgu głównej bramki/huba Z-Wave.

Wszystkie wymienione powyżej funkcjonalności są realizowane za pomocą paneli systemu udostępnianych poszczególnym jego użytkownikom. System informatyczny posiada następujące panele dla poszczególnych ról:

1. Panel Super Administratora, którym jest osoba wskazana przez operatora i właściciela systemu; rolą Super Administratora jest:

- konfiguracja systemu w kolejnych obiektach (konfiguracja klienta, węzła cieplnego, termostatów, urządzeń odnawialnych źródeł energii etc.)

- realizacja usługi zarządzania zużyciem ciepła w budynku (opcja, z której może skorzystać klient), w tym usługi sterowania urządzeniami odnawialnych źródeł energii świadczona na rzecz właścicieli/zarządców budynków poprzez układanie planów pracy dla:

- termostatów w poszczególnych pomieszczeniach,
- odchylen temperatury nośnika wychodzącego na instalację c.o. od temperatur zgodnych z krzywą grzewczą,
- temperatury ciepłej wody użytkowej,
- pompy cyrkulacyjnej,
- urządzeń odnawialnych źródeł energii,
- ładowania i rozładowania akumulatora ciepła,

a także poprzez włączanie trybu automatycznego w zakresie pracy wymienionych powyżej urządzeń (zgodnie z zaimplementowanymi algorytmami),

- nadzór nad pracą termostatów / węzła cieplnego / urządzeń OZE,
- rozwiązywanie problemów powstałych po stronie właściciela/zarządcy bu-

dynków związanych z pracą systemu lub pracą węzła / termostatów / odnawialnych źródeł energii,

- analiza raportów dotyczących zużycia ciepła w budynkach, produkcji ciepła przez OZE, zrealizowanych oszczędności, zakłóceń w pracy instalacji wewnętrznej,
- doradzanie właścicielom/zarządcom budynków w zakresie optymalizacji zużycia ciepła.

2. Panel Zarządcy Węzła, którym jest osoba wskazana przez właściciela/zarządcę budynków; Panel ten jest udostępniany właścicielowi/zarządcy budynku, w którym znajduje się węzeł cieplny, w przypadku gdy nie powierza on zarządzania zużyciem ciepła w budynkach operatorowi systemu informatycznego, lecz realizuje to zadanie samodzielnie; rolą Zarządcy Węzła jest:

- konfigurowanie termostatów w poszczególnych pomieszczeniach budynków,
- nadzór nad pracą termostatów / węzła cieplnego / urządzeń OZE,
- zarządzanie zużyciem ciepła w budynku, w tym sterowanie urządzeniami odnawialnych źródeł energii, jeżeli właściciel/zarządca budynków nie powierzył Super Administratorowi pełnienia tej funkcji (opcja, z której może skorzystać klient); w Panelu Zarządcy Węzła osoba wskazana przez właściciela/zarządcę budynków może realizować plany pracy dla:

- termostatów w poszczególnych pomieszczeniach,
- odchylen temperatury nośnika wychodzącego na instalację c.o. od temperatur zgodnych z krzywą grzewczą,
- temperatury ciepłej wody użytkowej,
- pompy cyrkulacyjnej,
- urządzeń odnawialnych źródeł energii,
- ładowania i rozładowania akumulatora ciepła,

a także może przełączać pracę systemu w tryb automatyczny dotyczący pracy wymienionych powyżej urządzeń (zgodnie z zaimplementowanymi algorytmami),

- analiza raportów dotyczących zużycia ciepła w budynku, produkcji ciepła przez OZE, zrealizowanych oszczędności, zakłóceń w pracy instalacji wewnętrznej.

3. Panel Obserwatora Węzła, którym jest osoba wskazana przez właściciela/zarządcę budynków. Panel ten jest udostępniany właścicielowi/zarządcy budynku, w którym znajduje się węzeł cieplny, w przypadku gdy powierza on usługę zarządzania zużyciem ciepła w budynkach operatorowi systemu informatycznego (Super Administratorowi); rolą Obserwatora Węzła jest:

- podgląd pod bieżącą pracę węzła cieplnego/termostatów/urządzeń OZE,
- przegląd raportów dotyczących zużycia ciepła w budynku, produkcji ciepła przez OZE, zrealizowanych oszczędności, zakłóceń w pracy instalacji wewnętrznej.

4. Panel aplikacji na urządzenia mobilne, który jest udostępniany użytkownikom poszczególnych pomieszczeń w budynku; za pomocą tej aplikacji istnieje możliwość:

- podglądu pod aktualne temperatury wewnętrzne w poszczególnych pomieszczeniach,
- podglądu pod aktualne nastawy temperatur wewnętrznych w poszczególnych pomieszczeniach,
- zmiany aktualnych nastaw temperatur wewnętrznych w poszczególnych pomieszczeniach,
- tworzenia planu pracy dla termostatów w poszczególnych pomieszczeniach (tylko w budynkach mieszkalnych),
- automatycznego obniżania i zwiększania nastaw temperatur wewnętrznych w poszczególnych pomieszczeniach przy wykorzystaniu funkcji geolokalizacji użytkowników aplikacji (do skorzystania z tej funkcji konieczna jest zgoda użytkownika aplikacji mobilnej).

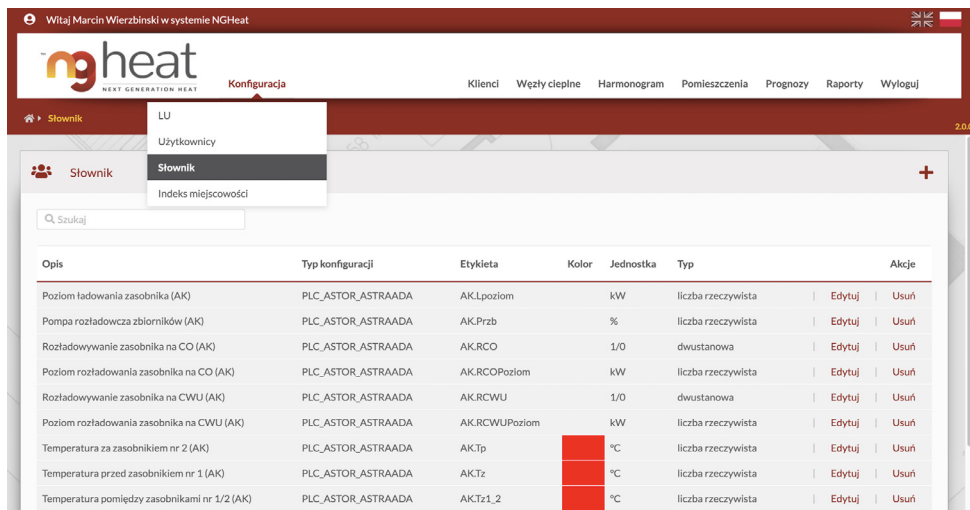
Wdrożenie systemu w kolejnym budynku/węźle cieplnym rozpoczyna się od konfiguracji systemu. Konfiguracja systemu w kolejnym węźle cieplnym wymaga:

- dodania kolejnej miejscowości, w której znajduje się budynek z wdrażanym systemem,
- dodania nowego węzła cieplnego i użytkowników (w zależności od pełnionej przez nich roli),
- dodania kolejnej bramki (Local Unit – LU) umożliwiającej łączność węzła cieplnego z chmurą AWS,
- uzupełnienie w słowniku zmiennych charakterystycznych dla danego węzła cieplnego,
- konfigurację wszystkich zmiennych w węźle cieplnym, w tym poprzez określenie:
 - obszaru węzła, do którego należy dana zmienna (Sieć Ciepłownicza, Instalacja CO, Instalacja CWU, Instalacja Akumulacji Ciepła, Instalacja OZE, Pomieszczenia)
 - etykiety zmiennej,
 - typu zmiennej,
 - jednostki zmiennej,
 - uprawnień (odczyt, zapis lub odczyt i zapis),
 - interwału logowania danych,
- konfigurację wszystkich zmiennych na termostatach (Temperatura wewnętrzna, Temperatura Nastawiona, Stan Baterii).

Przykładowe widoki panelu Super Administratora, które służą do realizacji powyższych zadań, zostały zaprezentowane na poniższych rysunkach.

Rysunek 5. Widok konfiguracji systemu w kolejnym węźle ciepłym (1)

Figure 5. Configuration Panel of ICT system supporting DSM in heat station (1)



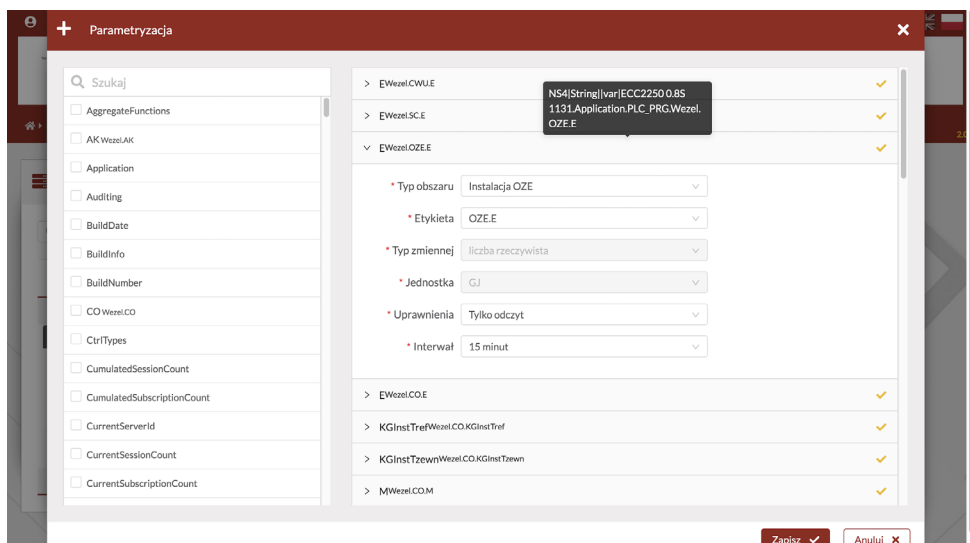
The screenshot shows the 'Konfiguracja' (Configuration) panel of the NG Heat system. A dropdown menu is open under 'Słownik' (Dictionary), showing options: 'LU', 'Użytkownicy', 'Słownik', and 'Indeks miejscowości'. The main table lists various system parameters with columns for description, configuration type, label, color, unit, type, and actions.

Opis	Typ konfiguracji	Etykieta	Kolor	Jednostka	Typ	Akcje
Poziom ładowania zasobnika (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.Lpoziom		kW	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń
Pompa rozładowca zbiorników (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.Przb		%	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń
Rozładowywanie zasobnika na CO (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.RCO		1/0	dwustanowa	Edytuj Usuń
Poziom rozładowania zasobnika na CO (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.RCOPoziom		kW	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń
Rozładowywanie zasobnika na CWU (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.RCWU		1/0	dwustanowa	Edytuj Usuń
Poziom rozładowania zasobnika na CWU (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.RCWUPoziom		kW	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń
Temperatura za zasobnikiem nr 2 (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.Tp		°C	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń
Temperatura przed zasobnikiem nr 1 (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.Tz		°C	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń
Temperatura pomiędzy zasobnikami nr 1/2 (AK)	PLC_ASTOR_ASTRADA	AK.Tz1_2		°C	liczba rzeczywista	Edytuj Usuń

Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Rysunek 6. Widok konfiguracji systemu w kolejnym węźle ciepłym (2)

Figure 6. Configuration Panel of ICT system supporting DSM in heat station (2)



The screenshot shows the 'Parametryzacja' (Parameterization) panel. On the left is a search bar and a list of parameters with checkboxes. On the right, the configuration for 'EWezel.OZEE' is shown, including a dropdown for 'Typ obszaru' (Area type) set to 'Instalacja OZE', 'Etykieta' (Label) set to 'OZE.E', 'Typ zmiennej' (Variable type) set to 'liczba rzeczywista', 'Jednostka' (Unit) set to 'GJ', 'Uprawnienia' (Permissions) set to 'Tylko odczyt', and 'Interwał' (Interval) set to '15 minut'. A tooltip shows the variable name: 'NS4String[war|ECC2250 0.85 1131:Application-PLC_PRG.Wezel.OZEE.E]'. At the bottom are 'Zapisz' (Save) and 'Anuluj' (Cancel) buttons.

Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

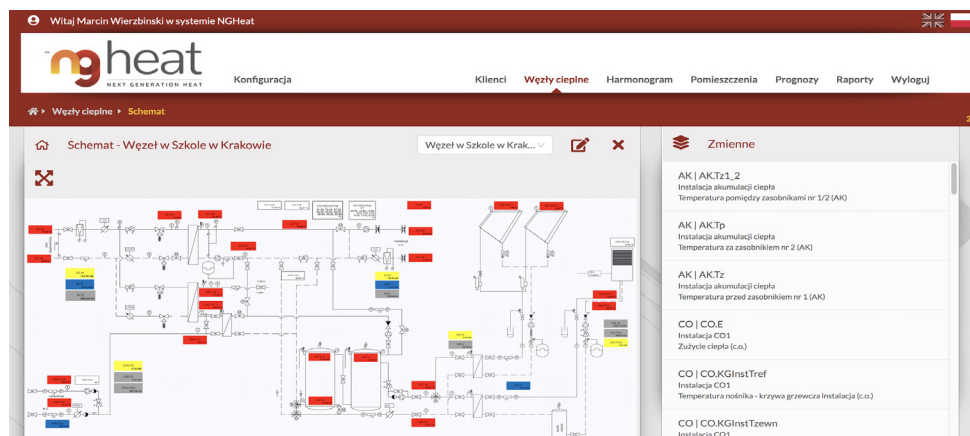
Po skonfigurowaniu zmiennych w węźle ciepłym następuje ich przypisanie do poszczególnych urządzeń na schemacie synoptycznym. Skonfigurowanie zmiennych umożliwia wyświetlenie ich aktualnych wartości na wykresie synoptycznym. Po

skonfigurowaniu zmiennych istnieje także możliwość kalibracji stałych parametrów algorytmów sterujących pracą poszczególnych obszarów węzła ciepłego. Do zaimplementowanych algorytmów zalicza się:

- algorytm sterujący termostatami,
- algorytm optymalizujący krzywą grzewczą w zależności od sposobu użytkowania budynku i nastaw T_{wewn} na termostatach,
- algorytmy prognostyczne (moc CO, CWU),
- algorytm ładowania i rozładowania zasobników (spłaszczanie poboru mocy z sieci),
- algorytm sterowania OZE,
- algorytm detekcji zakłóceń pracy instalacji wewnętrznej i termostatów.

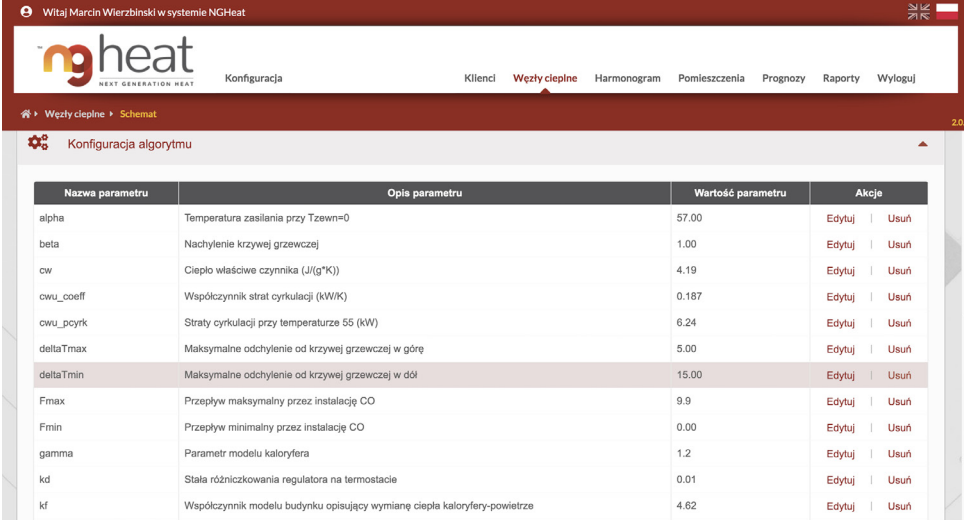
Przed aktywacją algorytmów w kolejnym węźle ciepłym konieczne jest przeprowadzenie identyfikacji pomieszczeń i niektórych urządzeń w węźle ciepłym. Widok schematu synoptycznego węzła ciepłego po konfiguracji zmiennych oraz widok panelu ze stałymi parametrami algorytmów został przedstawiony na poniższych rysunkach.

Rysunek 7. Widok schematu synoptycznego węzła ciepłego wraz z naniesionymi zmiennymi
Figure 7. Panel of ICT system supporting DSM with synoptic chart of heat station



Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Rysunek 8. Widok stałych wartości parametrów zaimplementowanych algorytmów
Figure 8. Panel of ICT system supporting DSM with parameters of algorithms



Nazwa parametru	Opis parametru	Wartość parametru	Akcje
alpha	Temperatura zasilania przy Tzew=0	57.00	Edytuj Usuń
beta	Nachylenie krzywej grzewczej	1.00	Edytuj Usuń
ow	Ciepło właściwe czynnika (J/(g*K))	4.19	Edytuj Usuń
owu_coeff	Współczynnik strat cyrkulacji (kW/K)	0.187	Edytuj Usuń
owu_poyrk	Straty cyrkulacji przy temperaturze 55 (kW)	6.24	Edytuj Usuń
deltaTmax	Maksymalne odchylenie od krzywej grzewczej w górę	5.00	Edytuj Usuń
deltaTmin	Maksymalne odchylenie od krzywej grzewczej w dół	15.00	Edytuj Usuń
Fmax	Przepływ maksymalny przez instalację CO	9.9	Edytuj Usuń
Fmin	Przepływ minimalny przez instalację CO	0.00	Edytuj Usuń
gamma	Parametr modelu kaloryfera	1.2	Edytuj Usuń
kd	Stała różniczkowania regulatora na termostacie	0.01	Edytuj Usuń
kf	Współczynnik modelu budynku opisujący wymianę ciepła kaloryfery-powietrze	4.62	Edytuj Usuń

Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Po skonfigurowaniu zmiennych w termostatach można je przypisać do poszczególnych pomieszczeń na rzucie budynku. Wykonanie tego zadania wymaga:

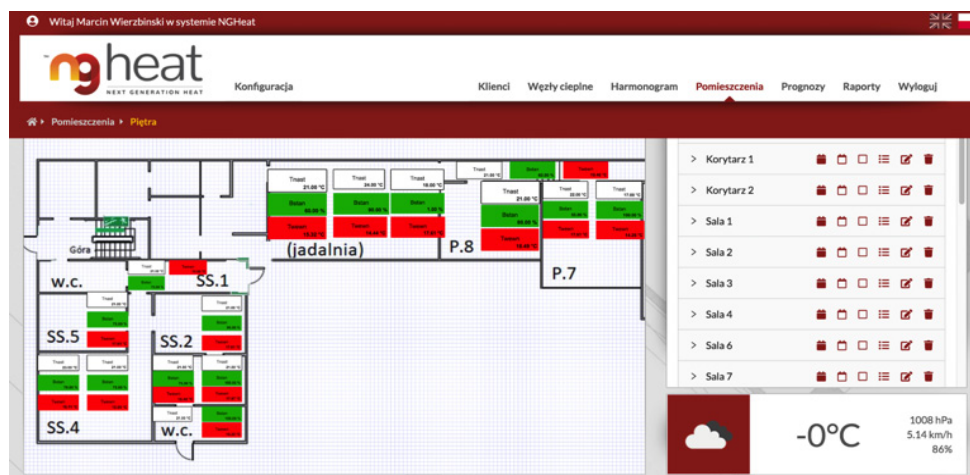
- importu do systemu schematu rzutów poziomych pięter budynku,
- zdefiniowania nazw pomieszczeń na poszczególnych piętrach budynku,
- przypisania termostatów do poszczególnych pomieszczeń i obiegów instalacji CO,
- zdefiniowania, czy dane pomieszczenie będzie traktowane jako referencyjne – dane dotyczące temperatur wewnętrznych i zrealizowanych nastaw temperatur w takich pomieszczeniach są uwzględniane w optymalizacji krzywej grzewczej instalacji CO.

Konfiguracja termostatów w poszczególnych pomieszczeniach umożliwia wyświetlenie aktualnych wartości zmiennych, które są z nimi związane. Do tych zmiennych zalicza się:

- temperaturę nastawioną (T_{nast}),
- temperaturę wewnętrzną (T_{wewn}),
- stan baterii (B_{stan}).

Wszystkie zmienne z termostatów są wyświetlane na rzutach poziomych pięter budynku.

Rysunek 9. Widok wartości zmiennych z termostatów na rzucie poziomym piętra budynku
 Figure 9. Panel of ICT system supporting DSM with parameters of intelligent thermostates



Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

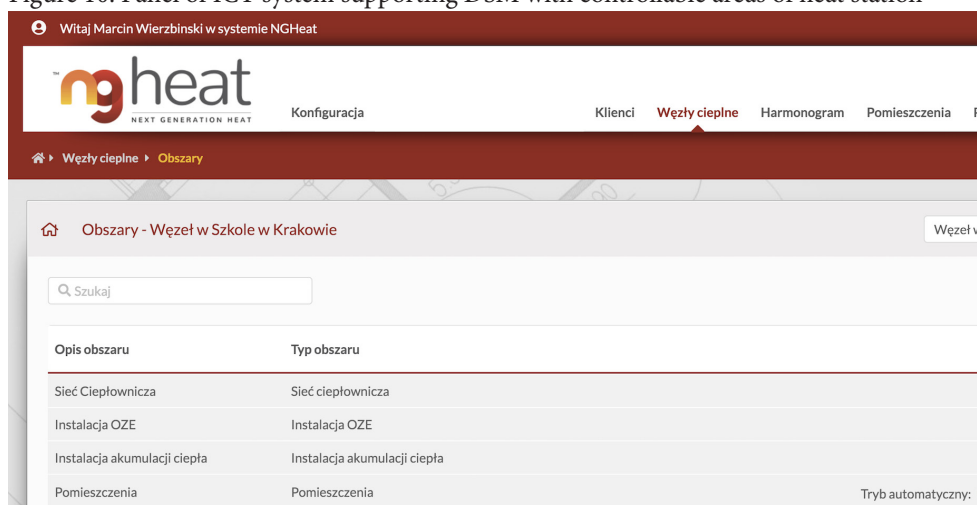
Po skonfigurowaniu termostatów i zmiennych w węźle cieplnym można przystąpić do ułożenia planów pracy, od których będzie uzależnione osiąganie oszczędności w zużyciu ciepła i zakupie ciepła systemowego. Plany pracy mogą być tworzone przez użytkowników systemu dla:

- nastaw temperatur wewnętrznych w poszczególnych pomieszczeniach w zależności od sposobu użytkowania budynku oraz jego funkcji,
- odchylen temperatury nośnika wychodzącego na poszczególne obiegi c.o. od temperatur zgodnych z krzywą grzewczą,
- temperatury ciepłej wody użytkowej w poszczególnych obiegach c.w.u.,
- pracy pompy cyrkulacyjnej w poszczególnych obiegach c.w.u.,
- urządzeń odnawialnych źródeł energii (pompa ciepła, panele słoneczne),
- ładowania i rozładowania akumulatora ciepła.

Poszczególne obszary węzła cieplnego, w których różne urządzenia podlegają sterowaniu za pomocą opracowanych planów pracy, przedstawiono na poniższym rysunku.

Rysunek 10. Widok obszarów węzła ciepłowniczego, w których różne urządzenia podlegają sterowaniu

Figure 10. Panel of ICT system supporting DSM with controllable areas of heat station



Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Przykładowy sposób tworzenia planu pracy dla obiegu CO (odchylenia temperatury nośnika od temperatur zgodnych z krzywą grzewczą) zaprezentowano na kolejnym rysunku. Konfigurując plany pracy dla dowolnej zmiennej (urządzenia) podlegającej sterowaniu należy:

- określić hierarchię harmonogramów (np. kalendarz podstawowy, święta i dni wolne od pracy, wakacje),
- określić listę reguł (np. dni robocze, weekendy),
- zdefiniować harmonogram nastaw dla danej zmiennej z uwzględnieniem daty jego rozpoczęcia, cykliczności powtarzania itp.

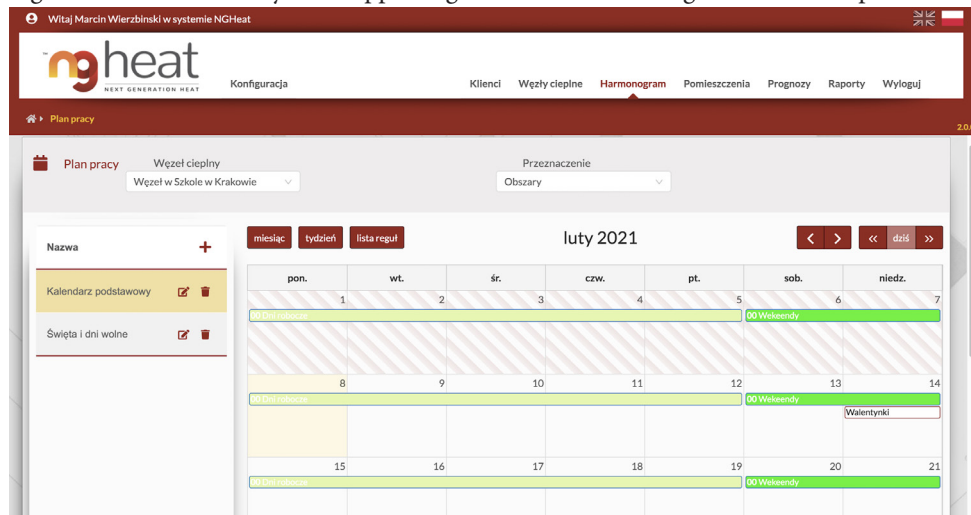
Po skonfigurowaniu harmonogramu dla danej zmiennej istnieje możliwość podglądu pod plan pracy, który można wyświetlić w dwóch wariantach:

- plan pracy w trybie statycznym – plan określony przez użytkownika (nastawy w kolorze zielonym),
- plan pracy w trybie dynamicznym – plan pracy zgodny z poprawkami wprowadzonymi przez algorytm (nastawy w kolorze niebieskim).

Algorytm optymalizuje nastawy danej zmiennej na 48 godzin do przodu, biorąc pod uwagę szereg parametrów, w tym prognozę temperatur zewnętrznych, nastawy temperatur wewnętrznych w poszczególnych pomieszczeniach i szereg innych. Użytkownicy systemu mają możliwość przełączania się pomiędzy pracą systemu w trybie statycznym (tryb zgodny z planami pracy określonymi przez użytkowników) i w trybie dynamicznym (tryb zgodny z poprawkami do planu pracy wprowadzonymi przez algorytm). Na kolejnych rysunkach przedstawiono widoki z panelami dotyczącymi tworzenia planów pracy.

Rysunek 11. Widok panelu z hierarchią harmonogramów oraz regułami w określonych w ich ramach

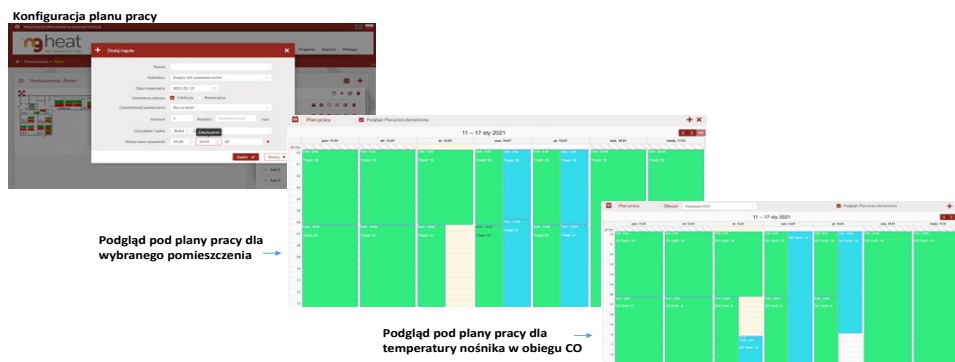
Figure 11. Panel of ICT system supporting DSM with scheduling of heat station parameters



Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Rysunek 12. Przykładowy schemat konfiguracji planu pracy wraz z podglądami pod niego

Figure 12. Panel of ICT system supporting DSM with schedules



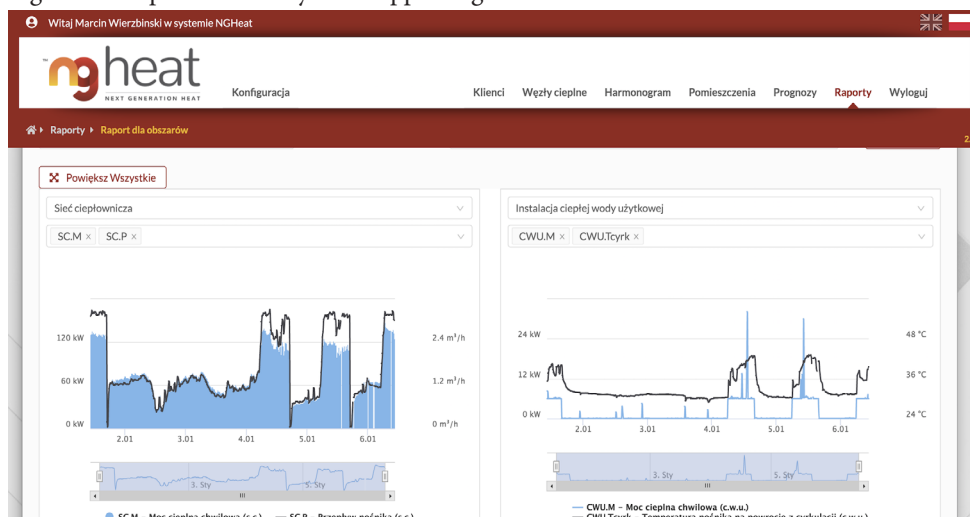
Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Użytkownicy systemu mają stały dostęp do informacji i danych z węzła cieplnego oraz pomieszczeń, które mogą służyć do optymalizacji tworzonych planów pracy. Dostęp do tych danych jest możliwy poprzez generowanie raportów dotyczących:

- danych historycznych związanych z poszczególnymi zmiennymi skonfigurowanymi w węźle cieplnym i w termostatach, które są przyporządkowane do poszczególnych obszarów, w tym do:
 - Sieci Ciepłowniczej,

- Poszczególnych obiegów CO,
 - Poszczególnych obiegów CWU,
 - Instalacji Akumulacji Ciepła,
 - Instalacji OZE,
 - Pomieszczeń.
 - bilansu ciepłego budynku, który obejmuje po stronie podażowej dostawę ciepła z sieci ciepłowniczej i instalacji OZE, a po stronie popytowej zużycie ciepła w obiegach CO, CWU, cyrkulacji CWU,
 - oszczędności w zużyciu ciepła,
 - alarmów związanych z nieprawidłową pracą termostatów lub instalacji wewnętrznej CO (np. zapowietrzenie się grzejnika).
- Widok z przykładowym raportem przedstawiono na poniższym rysunku.

Rysunek 13. Raport z danymi historycznymi wybranych zmiennych
Figure 13. Reports in ICT system supporting DSM



Źródło: system informatyczny NG Heat Sp. z o.o.

Przedstawiony powyżej system wspomagający zarządzanie stroną popytową na ciepło systemowe umożliwia osiągnięcie istotnych korzyści związanych ze zmniejszeniem zakupu ciepła z systemu ciepłowniczego poprzez realizację funkcji sterowania zużyciem ciepła w budynku, zintegrowanie ciepła systemowego z rozproszonymi OZE.

Podsumowanie i wnioski

Systemy DSM wywodzą się z rynku energii elektrycznej. Niemniej jednak w wyniku rozwoju technologii informatycznych i telekomunikacyjnych tego typu rozwią-

zania znajdują coraz częściej zastosowanie również w innych sektorach gospodarki, w tym w sektorze ciepłowniczym.

Systemy DSM umożliwiają wspomaganie zarządzania popytem na określony produkt po stronie odbiorcy. Niemniej jednak poprzez oddziaływanie na wielkość i strukturę popytu na produkt w czasie systemy te wpływają także na wysokość i strukturę kosztów przedsiębiorstw. Systemy DSM poprzez przesunięcie popytu w czasie przyczyniają się przede wszystkim do ograniczenia koniecznych do utrzymywania zdolności produkcyjnych. Zatem systemy DSM przyczyniają się do zwiększenia stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnych i do ograniczenia kosztów stałych ich utrzymywania. Po stronie odbiorców końcowych energii systemy DSM umożliwiają z kolei podnoszenie efektywności energetycznej i ograniczenie kosztów zakupu energii.

Wdrożenie systemu DSM bezpośrednio wiąże się zatem z zarządzaniem kosztami i wynikami. W przypadku przedsiębiorstw z sektora ciepłowniczego system DSM ma największy wpływ na koszty oraz wyniki wytwórców ciepła. Wdrożenie systemu DSM przekłada się na przesunięcie popytu na ciepło z okresów, w których występuje szczytowe zapotrzebowanie na moc cieplną, na okresy (godziny w ciągu doby) charakteryzujące się mniejszym popytem. Zmniejszenie poboru z systemu ciepłowniczego mocy cieplnej w szczycie przekłada się na skrócenie czasu pracy i zmniejszenie produkcji ciepła przez kotły szczytowe w źródłach ciepła, co umożliwia ograniczenie głównie kosztów zmiennych ich eksploatacji. Jest to istotna korzyść dla wytwórców ciepła, ponieważ najczęściej koszty jednostkowe zmienne produkcji ciepła przez kotły szczytowe są wyższe od przeciętnych cen ciepła. Stałe zredukowanie zapotrzebowania na moc cieplną w szczycie przekłada się również na możliwość zmniejszenia mocy zainstalowanych w kotłach szczytowych, co z kolei powoduje ograniczenie ponoszenia kosztów stałych z nimi związanych.

W przypadku odbiorców końcowych systemy DSM przyczyniają się do obniżenia kosztów nabycia ciepła. W wyniku realizacji funkcji sterowania zużyciem ciepła w budynku można osiągnąć około 20% oszczędności w zużyciu ciepła, w tym poprzez optymalizację planów pracy termostatów, odchylen temperatury nośnika wychodzącego na instalację CO od temperatur zgodnych z krzywą grzewczą, optymalizację nastaw temperatury referencyjnej c.w.u, okresowych wyłączeń pompy cyrkulacyjnej c.w.u. Dodatkowo system pozwala obniżyć o około 20% moc zamówioną u dostawcy ciepła, co wynika z jednej strony z realizowanej funkcji sterowania różnymi urządzeniami, a z drugiej z wykorzystania akumulatora ciepła. Dodatkowe oszczędności są związane z instalacją odnawialnych źródeł energii. Skala tych oszczędności jest uzależniona od mocy cieplnej zainstalowanej w tych urządzeniach, co jest kwestią indywidualną dla poszczególnych obiektów.

Bibliografia

Behrangrad M., *A review of demand – side management business models in the electricity market*, “Renew Sustain Energy Rev.” 2015, 47, s. 270-283.

Gellings C.W., *The concept of demand side management for electric utilities*, Proceedings of the IEEE 1985 73:10.

Sharifi R., Fathi S.H., Vahidinasab V., *A review on demand-side tools in electricity market*, “Renew Sustain Energy Rev.” 2017, 72, s. 565-572.

Warren P., *A review of demand-side management policy in the UK*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2014, 29, s. 941-951.

Nota o Autorze:

Dr hab. Marcin Wierzbński jest profesorem nadzwyczajnym Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu pracującym w Katedrze Rachunku Kosztów, Zarządzania Podatkami i Controllingu. Specjalizuje się w modelach biznesowych, rachunkowości zarządczej, systemach zarządzania kosztami i systemach zarządzania przez wartość. Od wielu lat prowadzi działalność doradczą, głównie dla sektora energetycznego. Od 2016 roku jest prezesem Zarządu NG Heat Sp. z o.o., która zrealizowała innowacyjny projekt związany z opracowaniem systemu IT wspierającego zarządzanie zużyciem ciepła w budynkach, a także integrację ciepła systemowego z rozproszonymi odnawialnymi źródłami energii (projekt był dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju).

Author's resume:

Dr hab. Marcin Wierzbński is an associate professor at Wrocław University of Economics. He works at the Department of Cost Accounting, Tax Management and Controlling. Dr hab. Marcin Wierzbński specializes in business model, management accounting, cost management methods and value-based management methods. For many years he has been working as a strategy consultant for many companies, in particular operating in energy industry. Since 2016 he is also a President of Management Board of NG Heat Ltd that is a company realizing innovation IT system aimed at supporting energy efficiency management in buildings supplied with heat from district heating systems (this project was financed by National Centre for Research and Development).

Kontakt/Contact:

e-mail: marcin.wierzbinski@ue.wroc.pl

