

Wpływ sterowania węzłami ciepłymi na koszty eksploatacji zespołów nieruchomości

Streszczenie. Właściwe funkcjonowanie użytkowanych nieruchomości przyczynia się do stabilnej oraz bezpiecznej realizacji celów biznesowych przedsiębiorstw. Użytkownicy nieruchomości oczekują dostosowanych do ich potrzeb i oczekiwań warunków pracy, a osoby zarządzające budynkami powinny realizować procesy zarządzania nieruchomościami w sposób ekonomicznie zasadny. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących sterowania węzłami ciepłymi na ilość zużytej energii, co wprost przekłada się na obniżenie kosztów funkcjonowania tych budynków, przy czym uwzględnione zostało wymaganie zapewnienia komfortu cieplnego użytkownikom nieruchomości. Modernizacja systemu sterowania zdalnego węzłami ciepłymi obejmuje zastosowanie systemu TRAVOS, który umożliwia zdalną regulację parametrów węzłów ciepłych funkcjonujących w wielu lokalizacjach z wykorzystaniem łączności internetowej oraz przeglądarki internetowej. Opłacalność wprowadzonych zmian pokazano na przykładzie zróżnicowanych nieruchomości realizujących różne funkcje oraz zmodernizowanych w różnym stopniu. Uzyskane wyniki podają spadek zużycia energii w granicach 12 -50%, co potwierdziło zasadność wprowadzonych zmian.

Abstract. Proper functioning of the real estate used contributes to the stable and safe achievement of business goals of enterprises. Property users expect working conditions tailored to their needs and expectations, and building managers should implement property management processes in an economically viable manner. The paper presents the results of research on the control of thermal centres on the amount of energy consumed, which directly results in the reduction of operating costs of these buildings, while taking into account the requirement to ensure thermal comfort to users of the property. Modernization of the remote control system of thermal centres includes the application of the TRAVOS system, which enables remote regulation of parameters of thermal centres operating in many locations with the use of Internet communication and a web browser. Cost-effectiveness of the introduced changes has been shown on the example of various properties performing different functions and modernized to different degrees. Obtained results give a decrease in energy consumption in the range of 12 -50%, which confirmed the validity of the introduced changes. **Impact of district heating substation control on the operating costs of real estate complexes**

Słowa kluczowe: węzły ciepłe, sterowanie, koszty eksploatacji

Keywords: thermal centres, control, operating costs

Wstęp

Optymalizacja kosztów utrzymania budynków przy zachowaniu właściwego środowiska pracy jest dużym wyzwaniem dla firm eksploatujących nieruchomości. Obniżenie kosztów funkcjonowania budynków powinno być realizowane poprzez odpowiednią modernizację dostarczającą narzędzi i rozwiązań dla poprawy parametrów termicznych budynku, optymalizację funkcjonowania systemów utrzymania komfortu termicznego budynku oraz zmianę nawyków użytkowników obiektu.

Modernizacja parametrów termicznych budynków wiąże się ze znaczącym zaangażowaniem środków finansowych w poprawę właściwości termicznych przegród budynków. Aby uzyskać zadowalające efekty należy zastosować odpowiednie materiały posiadające dobre właściwości termiczne, zmodernizować ściany, stropy, wymienić okna, drzwi, zastosować rolety okienne. Wówczas można zmniejszać zapotrzebowanie na energię potrzebną do utrzymania komfortu cieplnego budynku [1]. Budynki posiadające lepsze parametry termiczne mogą zaoszczędzić znaczące ilości energii, co wprost przekłada się na obniżenie kosztów funkcjonowania tych obiektów. Właściwy dobór materiałów posiadających korzystne właściwości termiczne daje najlepsze efekty na etapie projektowania budynków [2]. Można wówczas korzystając z najnowszych metod optymalizacji zużycia energii uwzględnić właściwości materiałów budowanych, wydajność systemu HVAC (ang. heating, ventilation, air conditioning), oszczędności wynikające z wytwarzania energii, jej magazynowania oraz oszczędności wynikające z właściwego zaprojektowania budynku [3-5]

Inną istotną kwestią służącą zapewnieniu dobrej wydajności systemu HVAC i tym samym wpływającą na obniżenie zużycia energii niezbędnej dla utrzymania komfortu cieplnego budynku jest wydajność systemu sterowania systemem HVAC. W sterowaniu systemem

HVAC istotny jest zarówno czas, w którym powietrze nawiewane do pomieszczeń uzyskuje parametry niezbędne dla uzyskania pożądanej zadanej temperatury jak również dynamiczna wydajność systemu, ponieważ przykładowo wysokie przekroczenie temperatury chłodzenia skutkuje marnotrawstwem energii. Przekroczenie temperatury powietrza nawiewnego można zmniejszyć poprzez poprawę błędu śledzenia reakcji systemu HVAC [1].

Sterowanie jest niezbędne dla działania systemów HVAC i można je podzielić na lokalne sterowanie i nadzór oraz optymalną kontrolę. Lokalne sterowanie służy do śledzenia predefiniowanych wartości zadanych dla lokalnych procesów i realizowany może być z wykorzystaniem algorytmów takich jak PI/PID, sterowanie rozmyte, lub sterowanie predykcyjne. Optymalna kontrola w czasie rzeczywistym, jako kontrola nadzorcza, jest skutecznym narzędziem poprawy efektywności energetycznej systemów HVAC. Zużycie energii lub koszty operacyjne systemów HVAC są wykorzystywane jako funkcje kosztowe, które należy zminimalizować lub zmaksymalizować. W literaturze opisane zostały relacje pomiędzy zmiennymi decyzyjnymi (takimi jak nastawy dla lokalnych pętli sterowania) a funkcją kosztu oraz w celu optymalizacji wykorzystania energii i tym samym optymalizacją kosztów energii [6].

Kolejnym czynnikiem wpływającym na zużycie energii niezbędnej dla utrzymania komfortu cieplnego są zachowania użytkowników budynku. Użytkownicy budynków mogą ze względu na swoje nawyki otwierać okna wpływając tym samym na zwiększenie zużycia energii. Poznanie realistycznych zachowań użytkowników pozwala lepiej zrozumieć wpływ użytkowników na zużycie energii potrzebnej dla utrzymania komfortu cieplnego budynku [7].

Oprócz zachowań użytkowników mających wpływ na zużycie energii należy brać pod uwagę kwestię stopień wykorzystania budynku w danym czasie. Informacja o tym przekazana do systemu sterowania wpływa także na

obniżenie energii zużywanej do utrzymania komfortu cieplnego. Dostosowanie harmonogramów pracy systemów HVAC do zadań realizowanych przez użytkowników oraz stałego utrzymania komfortu cieplnego wpływa na długofalowe oszczędności energii [8].

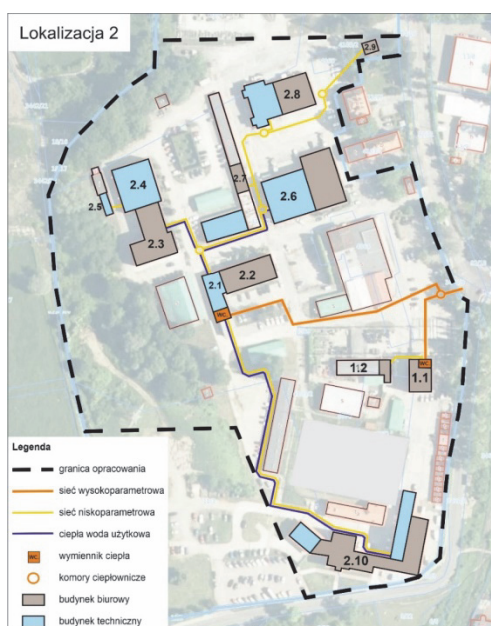
W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących sterowania węzłami cieplnymi na ilość zużytej energii, przy czym uwzględnione zostało wymaganie zapewnienia komfortu cieplnego użytkownikom nieruchomości. Modernizacja systemu sterowania zdalnego węzłami cieplnymi obejmuje zastosowanie systemu TRAVOS, który umożliwia zdalną regulację parametrów węzłów cieplnych funkcjonujących w wielu lokalizacjach z wykorzystaniem łączności internetowej oraz przeglądarki internetowej. Opłacalność wprowadzonych zmian pokazano na przykładzie zróżnicowanych nieruchomości realizujących różne funkcje oraz zmodernizowanych w różnym stopniu. Uzyskane wyniki podają spadek zużycia energii w granicach 12 -50%, co potwierdziło zasadność wprowadzonych zmian.

Opis badanego obiektu

Badania wpływu zdalnego sterowania komfortem cieplnym na zróżnicowanych nieruchomościach komercyjnych przeprowadzono dla przykładowych obiektów zlokalizowanych w południowej Polsce w obszarze województwa śląskiego. W celu przeprowadzenia obserwacji i pomiarów w pierwszym etapie prowadzenia badania wytypowano zespół budynków położonych w dwóch różnych miastach w Obszarze Podbeskidzia. Wytypowano do badań złożone obiekty (lokalizacje) realizujące zadania budynków biurowych oraz warsztatowo – magazynowych. Wszystkie opisywane lokalizacje zasilane są z miejskich sieci ciepłowniczych. Miejscem dostarczenia energii cieplnej przez dostawcę są wymiennikownice centralne dla danej lokalizacji. Poszczególne budynki w każdej z lokalizacji zasilane są z wymiennikowni centralnej wewnętrznymi rurociągami, które doprowadzają ciepło do wymiennikowni poszczególnych budynków, gdzie jest ono rozprowadzane do lokalnych systemów ciepłowniczych. Rysunki Rys.1 i Rys.2 obrazują dwie z badanych lokalizacji.



Rys.1. Zespół budynków użyty do przeprowadzenia analizy, zawierający głównie budynki biurowe.



Rys.2. Zespół budynków użyty do przeprowadzenia analizy zawierająca budynki realizujące funkcje biurowe, warsztatowe i magazynowe.

Tabela 1. Charakterystyka podstawowych parametrów technicznych obiektów Lokalizacji 1 przedstawionych na rysunku Rys. 1.

Numer budynku	Nazwa budynku	Funkcja ogrzewanej części budynku	Zasilanie z wymiennika	Rok budowy	Powierzchnia użytkowa [m ²]	Ilość kondygnacji	Konstrukcja ścian	Ocieplenie ścian	Dach	Stolarka okienna i drzwiowa
1.1	Budynek administracyjny	budynek biurowy	W1	1963	3056,47	5	murowana cegła/pustak	styropian 10cm	strop monolityczny żelbetowy, dach z płyt korytkowych krytych papą	PCV, AL i drewniana
1.2	Budynek byłego warsztatu C	budynek biurowy	W1	1910	1206,37	3	murowana cegła pełna	brak	strop żelbetowy kryty blachą	drewniana i stalowa
2.1	Budynek magazynowy – wymiennik ciepła	budynek techniczny	W2	1946	36,92	1	murowana	styropian 10cm	stropodach kryty blachą	drewniana i stalowa
2.2	Budynek biurowo-administracyjny D	budynek biurowy	W2	1910	689,44	4	murowana	brak	strop drewniany kryty blachą	drewniana i AL
2.3	Budynek portierni 1	budynek biurowy	W2	1947	23,32	1	murowana cegła pełna	brak	strop drewniany kryty dachówką ceramiczną	drewniana
2.4	Budynek biurowy E	budynek biurowy	W2	1924	339,28	2	murowana cegła	styropian 10cm	strop żelbetowy kryty papą	PCV i AL
2.5	Budynek garaży	budynek techniczny	W2	1952	49,34	1	murowana siporeks	brak	blacha trapezowa T-35	drewniana

Jak widać na rysunkach 1 i 2 badane obiekty posiadają różną ilość budynków realizujących różne funkcje użytkowe. W zależności od przeznaczenia budynku niektóre budynki realizują dwie funkcje – biurową oraz warsztatową lub magazynową. W każdym z omawianych budynków rozprowadzone zostały instalacje centralnego ogrzewania oparte o system grzejników konwekcyjnych, utrzymujących temperatury dostosowane do funkcji realizowanej przez dany budynek lub jego część.

We wszystkich badanych lokalizacjach budynki zbudowane zostały w różnych okresach począwszy od wczesnych lat dwudziestego wieku skończywszy na budynkach wybudowanych na początku dwudziestego pierwszego wieku. Taka rozpiętość w zakresie lat budowy budynków powoduje, że posiadamy populację obiektów wykonanych w różnych technologiach, z użyciem różnorodnych materiałów konstrukcyjnych oraz w różnym stopniu zmodernizowanych termicznie. Tabela 1i stanowią zestawienie podstawowych parametrów technicznych obiektów przedstawionych odpowiednio na rysunkach 1 i 2..

Niektóre z analizowanych budynków (lub ich części) wyposażone są w systemy klimatyzacji, jednak systemy te nie są używane do ogrzewania budynków.

Opis zastosowanego narzędzia (systemu)

Narzędzie niezbędne do realizacji celów związanych z optymalizacją kosztów powinno umożliwiać zdalną regulację parametrów węzłów zasilających, funkcjonujących w wielu lokalizacjach z użyciem łączności internetowej i z wykorzystaniem przeglądarki internetowej. Ponadto powinno umożliwiać realizację zmian charakterystyki grzewczej oraz przepływu wody w możliwie najprostszy sposób. Po analizie dostępnych rozwiązań wybrano system z regulatorami TRAVOS.

W wyniku wdrożenia wybranego rozwiązania, w celu uzyskania możliwości zdalnego sterowania węzłami cieplnymi istniejące regulatory pogodowe zastąpiono regulatorami TROVIS 5573-1, które mogą sterować węzłami jedno- i dwufunkcyjnymi (co + cwu). Regulatory te wymagają czujników Pt1000, dlatego wraz z regulatorami dokonano wymiany czujników temperatury. Dokonano analizy potrzeby rozbudowy systemu w zakresie

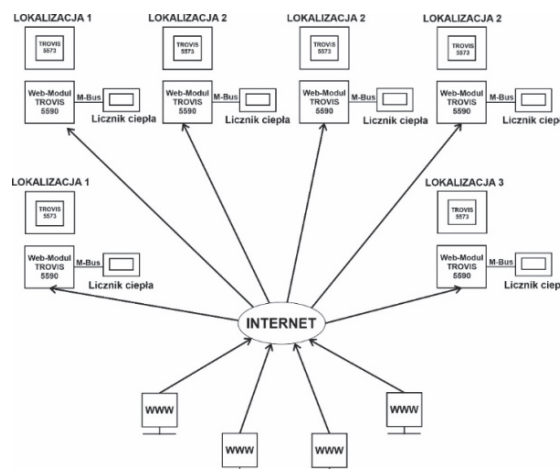
monitorowania ciśnienia w instalacji, gdyż opisany regulator współpracuje z tego typu czujnikami.

Przedstawione rozwiązania telemetrii węzłów cieplnych umożliwiają zarówno podgląd, jak i zdalną zmianę parametrów. Użytkownik posiada dostęp do danych bieżących, historycznych i alarmów.

Podczas wdrażania systemu przyjęto – zgodnie ze stanem istniejącym, że budynek jest wyposażony w „łącza internetowe”. Wymagane jest łącze ze stałym, publicznym adresem IP o minimalnej przepustowości 256 Kbitów/s w obydwu kierunkach.

W każdym obiekcie zastosowany został moduł telemetryczny Web-Modul TROVIS 5590-1 będący serwerem WWW, zapewniającym bezpieczny dostęp do danych z nielimitowanej liczby komputerów wyposażonych w przeglądarkę internetową. Web-Modul TROVIS 5590-1 pozwala na podłączenie regulatora pogodowego TROVIS 5573-1 oraz maksymalnie 6 liczników ciepła wyposażonych w moduł komunikacji M-Bus.

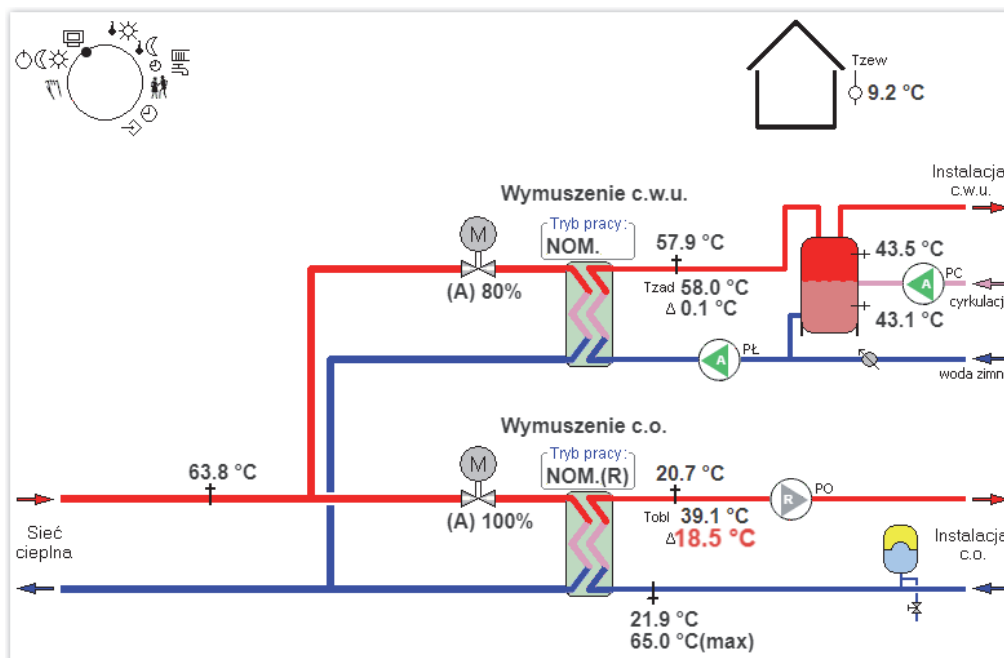
Poniżej przedstawiono schemat ideowy zastosowanego rozwiązania (Rys. 3).



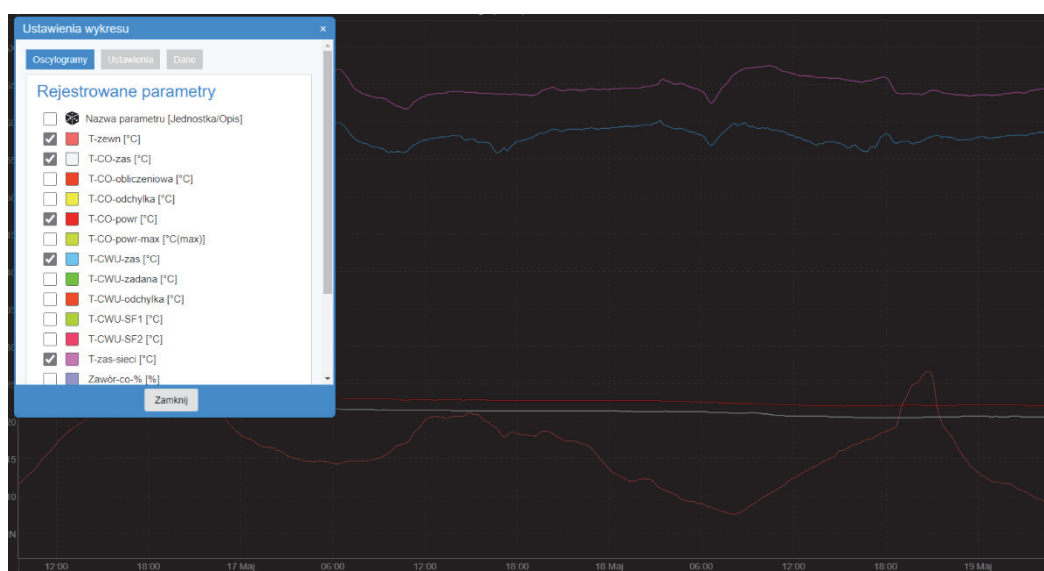
Rys. 3. schemat ideowy systemu telemetrii węzłów cieplnych.

Tabela 2 Charakterystyka podstawowych parametrów technicznych obiektów Lokalizacji 2 przedstawionych na rysunku Rys. 2

Numer budynku	Nazwa budynku	Funkcja budynku ogrzewanej części budynku	Zasilanie z wymiennika	Rok budowy	Powierzchnia użytkowa [m ²]	Ilość kondygnacji	Konstrukcja ścian	Ocieplenie ścian	Dach	Stolarka okienna i drzwiowa
1.1	Budynek magazynu głównego	budynek biurowo-techniczny	W1	1951	764,00	4	Konstrukcja żelbetowa wykonana na mokro, ściany cegła pełna	styropian 10cm	strop żelbetowy docieplony, pokrycie z papy	PCV, AL. i drewniana
1.2	Budynek wiaty magazynowej	budynek techniczny	W1	1965	254,00	1	pustak gazobetonowy	brak	Dach w konstrukcji stalowej z płytą	PCV
2.1	Budynek gospodarczy	budynek techniczny	W2	1965	294,45	1	cegła ceramiczna pełna	brak	strop monolityczny gęsto żebrowany	
2.2	Budynek biurowy	budynek biurowy	W2	1965	678,12	2	Murowana cegła pełna	brak	strop monolityczny gęsto żebrowany	
2.3	Budynek biurowy	budynek biurowy	W2	1982	403,79	2	tradycyjna, pustak	brak	strop z płyt kanałowych w izolacji termicznej	PCV, AL i drewniana
	Budynek magazynowy	budynek biurowy	W2	1982	859,79	3	konstrukcja żelbetowa	brak	Żelbetowe płyty panwiowe ocieplone wełną min. 15 cm, kryty papą	drewniana i AL
2.4	Budynek warsztatu elektrycznego	budynek techniczny	W2	1982	501,83	2	konstrukcja żelbetowa	styropian 10cm	strop w konstrukcji stalowej z belek	stalowa (ocieplana) AL
2.5	Budynek wielofunkcyjny przemysłowy	budynek techniczny	W2	2002	48,46	1	tradycyjna	styropian 10cm	blacha trapezowa ocieplona wełną mineralną	stalowa
2.6	Budynek stacji obsługi pojazdów	budynek techniczno-biurowy	W2	1979	1451,68	3	konstrukcja żelbetowa	brak	płyty dachowe panwiowe, dach kryty papą	drewniana i metalowa
2.7	Budynek biurowy	budynek biurowy	W2	2004	81,40	1	murowana cegła pełna	styropian 10cm		
2.8	Budynek Stacji Kontroli Pojazdów pow. 3,5 dmc	budynek techniczny	W2	1980	175,00	1	konstrukcja żelbetowa, ściany z pustaków PGS, fragment osłonięty blachą trapezową	Brak		AL.
	Budynek garaży specjalnych	budynek techniczny	W3	1980	313,73	1	konstrukcja żelbetowa	Brak	płyty dachowe panwiowe, dach kryty papą	
	Budynek lakierni samochodowej	budynek techniczny	W4	1980	195,78	1	konstrukcja żelbetowa	Brak	płyty dachowe panwiowe, dach kryty papą	
2.9	Budynek portierni 2	budynek biurowy	W2	1980	37,20	1	murowane gazobeton	Brak	strop z płyty P2 kryty papą na lepiku	drewniana
2.10	Budynek biurowo-administracyjny	budynek biurowo-techniczny	W2	1954	2666,18	3	pryzemie żelbetowe i w części z betonu B-15, pozostałe murowane cegła pełna 25cm+styropian 3cm+cegła dziurawka 12cm	Brak	strop żelbetowy monolityczny żebrowo-płytowy, więźba drewniana, pokrycie dachówka typu alpejskiego	drewniana, stalowa i AL



Rys. 4. Przykład wizualizacji Web-Modul TROVIS 5590-1 (Źródło: program „Web-Modul-Editor”).



Rys. 5 Przykład wizualizacji w zakresie historii regulacji w Web-Modul TROVIS 5590-1 (Źródło: program „Web-Modul-Editor”).

Na potrzeby telemetrii w wymiennikowni zastosowano moduł telemetryczny Modbus IO. Posiada on 6 wejść pomiarowych, które mogą być wykorzystane jako wejścia binarne, analogowe 0-10V, np. do kontroli ciśnień (4 szt.) i temperatury (2 szt.). Moduły telemetryczne Modbus IO podłączono do odpowiedniego modułu komunikacyjnego: Web-Modul TROVIS 5590-1. Jeżeli w wymiennikowniach występowały liczniki ciepła, zostały one będą wyposażone w płytki MBus i podłączone do systemu. Proponowane rozwiązanie pozwala na podgląd parametrów wymiennikowni.

Web-Modul TROVIS 5590-1 jest urządzeniem pozwalającym na komunikację za pośrednictwem sieci TCP/IP ze sterownikami posiadającymi interfejs szeregowy (np. regulatorami serii TROVIS stosującymi protokół MODBUS RTU) oraz licznikami ciepła posiadającymi interfejs M-Bus, zgodny z normą EN1434. Moduły wymagają przydziału indywidualnych adresów sieciowych IP i mogą realizować następujące funkcje:

- *Serwer WWW* – dzięki tej funkcji dostęp do danych obiektowych jest możliwy z poziomu przeglądarki internetowej. Funkcja ta wymaga zalogowania się do urządzenia. Wartości pomiarowe mogą być wizualizowane w postaci graficznej na tle schematu synoptycznego. W przypadku posiadania odpowiednich uprawnień możliwa jest obok odczytu wartości, również zdalna zmiana parametrów (np. nastaw regulatorów).
- *Alarmowanie* – dzięki tej funkcji moduł komunikacyjny nadzoruje wartości parametrów i w przypadku przekroczenia wartości granicznych następuje wpis do dziennika historii alarmów. Ponadto odpowiedni użytkownicy otrzymują zgłoszenia o alarmach w postaci wiadomości e-mail. Generowanie alarmów może nastąpić bezzwłocznie po przekroczeniu wartości granicznych lub po określonym czasie, o ile wartość nieprzerwanie przekracza zadany próg alarmowy.
- *Buforowanie danych* – dzięki tej funkcji dane obiektowe mogą być gromadzone w wewnętrznym buforze pamięci z

zadaną częstotliwością i wyprowadzane w postaci skalowalnego wykresu w przeglądarce internetowej. Dzięki funkcji eksportu do pliku CSV dane za wybrany okres mogą zostać przeniesione na dysk komputera w formacie zrozumiałym dla wszystkich programów kalkulacyjnych.

Przykład wizualizacji Web-Modul TROVIS 5590-1 przedstawiona na rysunku Rys. 4, a przykład wizualizacji w zakresie historii regulacji na rysunku Rys. 5.

Opis metod regulacji

Stan przed modernizacją

Przed wdrożeniem opisywanego w powyższym rozdziale rozwiązania regulacja temperatury obiektów sprowadzała się do ustawienia przepływu wody obiegowej w taki sposób, aby w najgorzej docieplonym obiekcie w danej lokalizacji uzyskać wymagane przepisami prawa temperatury. W zależności od lokalizacji oraz ilości węzłów centralnych (wysokociśnieniowych) regulacja prowadzona była dla wszystkich obiektów centralnie (jeden węzeł wysokociśnieniowych dla wszystkich budynków), lub odrębnie dla części budynków podpiętych do tego samego węzła obiektu.

Pomiar temperatury prowadzony był lokalnie. Działania wyżej opisane prowadzone były lokalnie i wymagały wizyty administratora, który cyklicznie z częstotliwością zależną od zmian temperatury większych niż 10°C dokonywał regulacji nastaw.

Działanie takie powodowało, że budynki posiadające znacząco lepsze właściwości izolacyjne były w większości czasu przegrzane.

Przegrzanie budynku wpływa na zachowania użytkowników. W przypadku powierzchni biurowych użytkownicy obniżali lub odcinali temperaturę z wykorzystaniem dostępnych regulatorów, a następnie otwierali okna. Nie obserwowano załączania klimatyzacji w okresie zimowym.

W przypadku budynków warsztatowych lub magazynowych użytkownicy nie używali kurtyn ciepłych redukujących dopływ zimnego powietrza podczas otwarcia bram wjazdowych, a czas otwarcia bram był dużo dłuższy niż wymagały tego konkretne potrzeby. Działanie takie powodowało nadmierne zużycie energii.

Stan po modernizacji

Obecna metoda regulacji polega na połączeniu doświadczenia administratora obiektu oraz możliwości sterowania zdalnego. Dla sterowania systemami ciepłymi wykorzystuje się prognozę pogody oraz zdalne pomiary temperatury zewnętrznej i wewnętrznej w budynkach. Nadal sterowanie prowadzone jest na węzle centralnym zasilającym część lub wszystkie budynki w danej lokalizacji. Polega ono na regulacji temperatury czynnika roboczego niskiego parametru na wyjściu wymiennika.

Zmiana sterowania polega na zastosowaniu narzędzia umożliwianego administratorowi obiektu zdalną regulację nastaw, ich kontrolę, zmianę charakterystyki grzewczej oraz gromadzenie danych historycznych.

Pozyskane w narzędziu dane umożliwiają analizę wpływu temperatury zewnętrznej na odbiór ciepła z węzła cieplnego. Analizując różnice temperatury można dokonywać regulacji przepływu czynnika, tak aby różnica temperatur na zasilaniu i powrocie do wymiennika po stronie niskiego ciśnienia oscylowała w granicach 10°C. Wówczas budynki odbierają ciepło i nie następuje ich przegrzanie. Gdy różnica temperatury zasilania i powrotu jest mniejsza od 5°C należy dokonać zmiany przepływu zaworem regulacyjnym.

Przykład regulacji temperatury na węzłach ciepłych w analizowanych obiektach obrazuje poniższa tabela (Tabela 3).

Tabela 3. Dobór charakterystyk grzewczych, stopnia otwarcia zaworów regulacyjnych przepływu oraz charakterystyki grzewczej przy temperaturach zewnętrznych poniżej -10°C na węzłach ciepłych badanych obiektów

Lokalizacja	Temp. zew. [°C]	Temp. zasilania (Dostawca) [°C]	Temp. zasilania (Odbiorca) [°C]	Temperatura powrotu [°C]	Różnica [°C]	Otwarcie zawodu [°C]	Krzywa grzania
1A	-13,0	105,5	76,2	65,0	11,2	54,0	1,6
1B	-17,0	87,5	79,0	65,9	13,1	100,0	1,4
2	-12,5	105,5	74,0	65,1	8,9	100,0	1,4
3	-13,2	105,5	46,4	43,1	3,3	100,0	2,0
4A	-12,5	105,4	74,2	65,4	8,8	100,0	1,4
4B	-13,8	105,4	68,3	58,4	9,9	81,0	1,1

Tabela 4. Czynności regulacyjne wpływające na zmiany harmonogramów grzewczych.

L.p.	Nazwa parametru	Wartości w badanym układzie	Czynności regulacyjne
1.	T-zewn. Wyłączenie C.O. dla dnia	15,0°C	Korekta tego parametru następuje w zależności od prognozy pogodny przyjmuje się okres max. 7 dni.
2.	T-zewn. Wyłączenie C.O. dla nocy	10,0°C	Korekta tego parametru następuje w zależności od prognozy pogodny przyjmuje się okres max. 7 dni.
3.	Krzywa grzania - nachylenie	1,2°C	Przedział nachylenia krzywej grzania dla omawianego układu w zakresie od 1,0-1,2 w badanym okresie
4.	Krzywa grzania - przesunięcie	0,0°C	Należy przesunąć ją w górę, pamiętając jednak, że każda zmiana grzania o 1 st. wiąże się ze wzrostem zużycia ciepła. W sytuacji, gdy temperatura odczuwalna wystarczająco się podniesie należy wybrać krzywą o większym nachyleniu.
	Maksymalna Temp. Zasilania C.O.	90,0°C	Parametry zależne od typu układu zasilania
	Minimalna Temp. Zasilania instalacji C.O.	20,0°C	Parametry zależne od typu układu zasilania
	Programy czasowe	Godz. 3.30: temperatura załączenie Godz. 21.30: temperatura wyłączenie	Czas załączenia i wyłączenia układu dobrany empirycznie na podstawie analizy zużycia ciepła przez obiekty

Analizując zestawienie danych z tabeli 3 można zwrócić uwagę, że obiekt w wierszu 1 (Lokalizacja 1A) posiada najlepiej dopasowane parametry regulacyjne. Obiekt ten przy otwarciu zaworu na 54% odbiera energię z węzła, gdyż różnica temperatury zasilania i powrotu jest większa niż 10°C. Obiekt z wiersza ostatniego (Lokalizacja 4B) wymaga zmiany parametrów regulacyjnych.

W celu właściwego doboru nastaw w zakresie stopnia otwarcia zaworu zasilającego oraz doboru charakterystyki grzewczej niezbędne jest uzyskanie doświadczenia przez osobę dokonującą regulacji. Oprócz doświadczenia w zakresie obsługi narzędzia związanego z przygotowaniem stref czasowych niezbędnym jest poznanie dobowego i tygodniowego cyklu pracy budynków w danej lokalizacji, a co za tym idzie potrzeb użytkowników. W badanych obiektach, w celu rozpoznawania możliwości ułożenia harmonogramów automatycznej regulacji temperatury zanalizowano:

- godziny pracy pracowników biurowych oraz potrzeby w zakresie statystycznej długości pracy w nadgodzinach,
- czas pracy serwisów sprząających,
- zakres budynków i pomieszczeń w których praca prowadzona jest zmianowo,
- zakres działań realizowanych na poszczególnych zmianach.

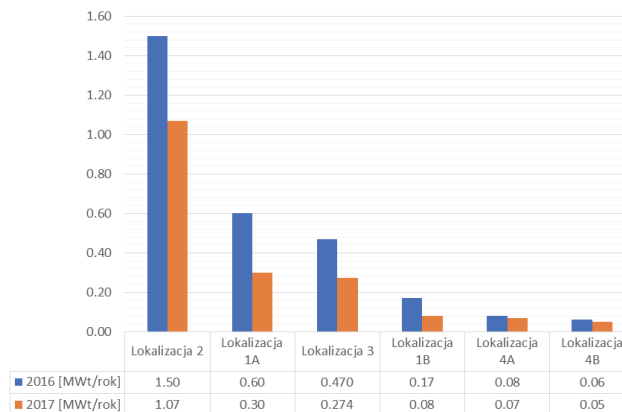
Na tej podstawie zostały przygotowane harmonogramy sterowania temperaturą w zakresie godzinowym poszczególnych dni tygodnia. Pierwotnie harmonogramy te przygotowane zostały w uzgodnieniu z kluczowymi użytkownikami obiektów, zakładając nagrzanie budynków w przestrzeniach biurowych do 22°C, a następnie iteracyjnie zostały doprecyzowane – głównie w kierunku zmniejszenia temperatury. Ustalanie optymalnych parametrów regulacyjnych prowadzone było we współpracy z głównymi użytkownikami obiektów. Na podstawie powyżej opisanych prac ustalono dla badanych obiektów podstawowe czynności regulacyjne, które powinny być podejmowane przy tworzeniu harmonogramów regulacji temperatury (Tabela 4).

Analiza mocy zamówionej dla obiektów oraz redukcja kosztów

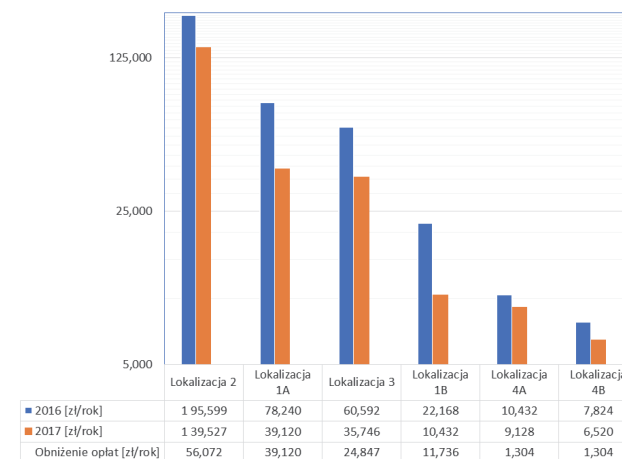
W wyniku wprowadzonych zmian w systemie sterowania po okresie jednego sezonu dokonano zmiany mocy cieplnej dla analizowanych obiektów. Zakres zmian mocy cieplnej przedstawiono na rysunku Rys. 6. Redukcja mocy cieplnej dla analizowanych obiektów kształtowała się w zakresie 16 – 52% mocy cieplnej zamawianej przed dokonaniem zmiany. Przy czym tylko w dwóch z pięciu analizowanych lokalizacji zmiana mocy zamówionej kształtowała się na poziomie kilkunastu procent.

Zmiana mocy zamówionej powodowała redukcję kosztów utrzymania obiektów o ponad 1600 tys. zł w pierwszym roku funkcjonowania systemu. Redukcje kosztów w podziale na lokalizacje prezentuje rysunek Rys. 7.

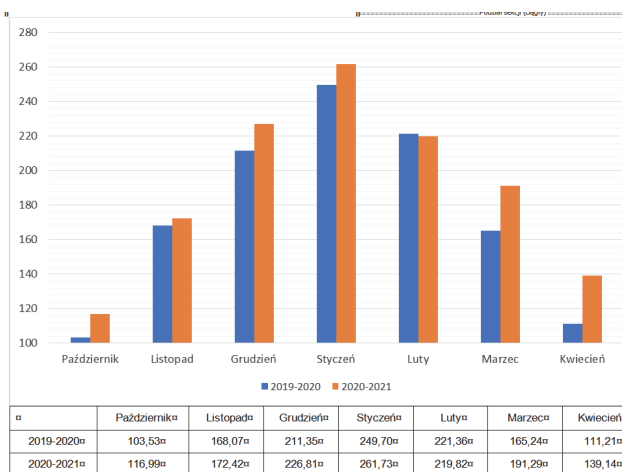
Sezon zimowy 2016/2017 na podstawie średnich temperatur podawanych przez IMiGW jest porównywalny z zimą 2012/2013 - ze średnią temperaturą około minus 2°C. Sezony poprzedzające według danych IMiGW były w Polsce najcieplejszymi w ostatnim dwudziestolecu, z temperaturami dodatnimi. Telemetria węzłów CO w analizowanych lokalizacjach: 1; 3; 4A i 4B działa od 01.01.2017 r. Z uwagi na powyższe możliwy porównywalny okres obejmuje od I kwartał 2016 r. do I kwartał 2017 r.



Rys. 6 Zamówiona moc cieplna w wybranych lokalizacjach w latach 2016-2017



Rys. 7 Oszczędność z tytułu obniżenia mocy zamówionej w wybranych lokalizacjach (po stałych cenach za MW w latach 2016-2017)



Rys. 8 Zużycie ciepła w latach 2019-2021 w Lokalizacji 1

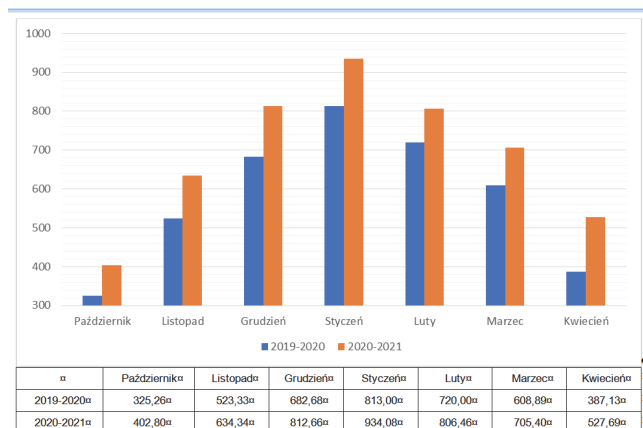
Analiza wykazała, że zabudowa telemetrii węzłów CO miała wpływ na obniżenie zużycia energii CO o **1 265,87 GJ** - o wartości **52 182,85 zł** według cen dostawców z 2017 r.

Zabudowa telemetrii węzłów CO koszt 34 900,00 zł. Wartość spadku zużycia energii w pełni pokrywa poniesione nakłady.

W celu weryfikacji danych uzyskanych w pierwszych latach funkcjonowania systemu przeprowadzono analizę zużycia ciepła dla dwóch dużych lokalizacji, w których dokonano znaczących redukcji mocy zamówionej. Zestawienie danych związanych z mocą zużywaną w

sezonach grzewczych 2019/2020 oraz 2020/2021 pokazano na wykresach Rys. 8 i Rys. 9.

Analizując powyższe dane należy stwierdzić, że zamówiona w latach poprzednich moc jest nadal wystarczająca dla sprawnego funkcjonowania obiektów, co potwierdza jej właściwy dobór oraz sprawność opisywanych powyżej prostych systemów i metod regulacji temperatury. Dodać należy, że analizowane lokalizacje nie zostały zmodernizowane termicznie.



Rys. 9 Zużycie ciepła w latach 2019-2021 w Lokalizacji 4.

Wnioski

W wyniku przeprowadzenia zmian sposobu sterowania węzłami cieplnymi wprowadzonymi w sześciu różnorodnych zespołach budynków położonych w południowej części polski zaobserwowano spadek zużycia energii w każdej z nich. Spadek zużycia energii kształtował się w granicach 12-50% i był wynikiem eksperymentalnego dostosowania charakterystyk grzewczych przez administratora do odczuć użytkowników oraz różnych funkcji realizowanych przez poszczególne budynki, lub ich części.

Fakt zmniejszenia mocy przyłączeniowych dla poszczególnych obiektów wpływa korzystnie na efekty finansowe realizowanego przedsięwzięcia. W dużych miastach zmniejszenie mocy przyłączeniowej przez odbiorcę może być także korzystne dla dostawcy ciepła, ze względu na możliwość lepszego wykorzystania posiadanej infrastruktury sieciowej dla obsługi większej ilości odbiorców. Stałość wyników została potwierdzona analizą wyników prowadzoną w okresie 3 lat i dowiodła możliwości obniżenia kosztów średnio o 32% na badanych budynkach, bez potrzeby ponownej korekty mocy umownej oraz bez przeprowadzenia termomodernizacji. Biorąc pod uwagę nakłady poniesione na wdrożenie zaproponowanego rozwiązania, koszty związane z utrzymaniem systemu oraz czas życia systemu zaplanowany na 8 -10 lat stwierdzić należy, że w stosunku do poniesionych nakładów przedsięwzięcie przynosi dobre efekty ekonomiczne.

Biorąc pod uwagę fakt, że przy poniesieniu nieznacznych nakładów, można uzyskiwać znaczące efekty ekonomiczne podejście tego typu może zostać sukcesywnie wykorzystane w innych budynkach przed wykonaniem gruntownej modernizacji substancji budynku poprawiającej przenikalność cieplną ścian. Ponadto nie bez wpływu na straty ciepłe są zachowania użytkowników obiektów. Administrator zarządzając przy użyciu prostego oprogramowania procesem ogrzewania budynku, może dobrać i ustabilizować temperaturę bez zmiany przyzwyczajen oraz wprowadzania znaczących nakładów w

taki sposób, że użytkownicy będą posiadali wymagany komfort cieplny, a ilość energii zużywanej do ogrzewania budynków zostanie ograniczona.

Dodać należy, że modernizując dodatkowo obiekt w zakresie poprawy pasywnych parametrów przenikalności cieplnej budynku można poprawić opisywane powyżej efekty. W takim przypadku, posiadany system pozwoli na sprawne monitorowanie zużywanej energii oraz przygotowuje realne dane umożliwiające modyfikację zaprojektowanego zapotrzebowania na moc podczas wprowadzanej zmiany w budynku w zakresie dodatkowego pomniejszenia mocy wykorzystując możliwości regulacyjne systemu, prowadzone przez administratora dostosowującego elastycznie nastawy do potrzeb użytkowników budynku.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można potwierdzić tezę, że zmniejszenie kosztów przekłada się na redukcję CO₂, co w warunkach Polski - gdzie znaczna ilość energii służącej ogrzewaniu budynków pozyskiwana jest nadal z paliw kopalnych, ma istotne znaczenie.

Kolejnym etapem badań w zakresie zarządzania węzłami cieplnymi mogą będzie dobór metod analizy i predykcji uszkodzeń urządzeń automatyki węzłów cieplnych.

Autorzy: mgr inż. Kazimierz Kawa Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Automatyki i Robotyki, Al. Mickiewicza 30, 30-150 Kraków, Tauron Polska Energia S.A E-mail: kawa@agh.edu.pl; dr hab. inż. Edyta Kucharska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Automatyki i Robotyki, Al. Mickiewicza 30, 30-150 Kraków, E-mail: edyta@agh.edu.pl; mge inż. Rafał Mularczyk Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Automatyki i Robotyki, Al. Mickiewicza 30, 30-150 Kraków, E-mail: mularczyk@agh.edu.pl

LITERATURA

- [1] Ray M., Samal P., Kumar Panigrahi C., *The influencing factors on efficacy enhancement of HVAC systems – A review*, Materials Today: Proceedings, (2021), ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.264>
- [2] Tsanas A., Xifara A., *Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools*, Energy and Buildings, Volume 49, (2012), 560-567, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.003>.
- [3] Yu Z., Haghghat F., Fung B.C.M., Yoshino H., *A decision tree method for building energy demand modeling*, Energy and Buildings, Volume 42, Issue 10, (2010), 1637-1646, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.006>.
- [4] Dincer I., *On thermal energy storage systems and applications in buildings*, Energy and Buildings, Volume 34, Issue 4, (2002), 377-388, ISSN 0378-7788, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00126-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00126-8).
- [5] Farouk N., Alhumaidi A. Alotaibi A.H., Almitani K. H., *Using PCM in buildings to reduce HVAC energy usage taking into account Saudi Arabia climate region*, Journal of Building Engineering, Volume 50, (2022), 104073, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104073>.
- [6] Hou J., Li X., Wan H, Sun Q., Dong K., Huang G., *Real-time optimal control of HVAC systems: Model accuracy and optimization reward*, Journal of Building Engineering, Volume 50, 2022, 104159, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104159>.
- [7] Belafi, Z., Hong, T., Reith, A. *Smart building management vs. intuitive human control—Lessons learnt from an office building in Hungary*. Build. Simul. 10, 811–828 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0361-4>
- [8] Bagheri-Esfah H., Reza Dehghan M., *Multi-objective optimization of setpoint temperature of thermostats in residential buildings*, Energy and Buildings, Volume 261, (2022), 111955, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111955>.