

AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE



AGH

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

**KATEDRA ENERGOELEKTRONIKI I AUTOMATYKI
SYSTEMÓW PRZETWARZANIA ENERGII**

Rozprawa doktorska

**Analiza wpływu systemów automatyzacji
na efektywność energetyczną instalacji
i obiektów budowlanych**

**The Building Automation Systems and Installations -
Analysis of the Impact on Energy Efficiency**

Autor:

mgr inż. Jakub Grela

Promotor:

prof. dr hab. inż. Marian Noga

Promotor pomocniczy:

dr inż. Andrzej Ożadowicz

Kraków 2016

*Serdecznie dziękuję
Panu Profesorowi Marianowi Nodze,
Promotorowi niniejszej pracy,
za życzliwość i cierpliwość
oraz możliwość współpracy.*

*Pragnę również podziękować dr inż. Andrzejowi Ożadowiczowi,
Promotorowi pomocniczemu tej pracy,
za nieocenioną pomoc merytoryczną niezbędną do powstania niniejszej pracy.*

*Pracę dedykuję najdroższej żonie Paulinie
i kieruję podziękowania za cierpliwość, zrozumienie,
wiarę i ogromne poświęcenie.*

Dziękuję również mojej Rodzinie za motywację podczas pisania rozprawy.

Spis treści

1. Wstęp	6
1.1. Technologie i systemy automatyzacji w budynkach	7
1.1.1. Tradycyjne i nowoczesne instalacje elektryczne	7
1.1.2. Rodzaje systemów inteligentnych budynków	9
1.1.3. Popularne standardy automatyki budynkowej	13
1.2. Główne obszary zastosowań zintegrowanych systemów automatyzacji i sterowania budynków	18
1.3. Teza i cele pracy	19
2. Identyfikacja obszarów i elementów infrastruktury budynkowej charakteryzujących się znaczącym potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej	20
2.1. Definicja efektywności energetycznej - przegląd dyrektyw i norm branżowych	20
2.2. Identyfikacja parametrów budynków i instalacji wpływających na efektywność energetyczną	25
2.3. Identyfikacja elementów infrastruktury energetycznej budynku wpływających na efektywność energetyczną	27
2.3.1. Instalacja elektryczna	27
2.3.2. Instalacja oświetlenia	29
2.3.3. Instalacja ogrzewania i chłodzenia	30
2.3.4. Instalacja wentylacji i klimatyzacji	31
2.4. Identyfikacja elementów infrastruktury sterującej i monitorującej budynku wpływających na efektywność energetyczną	31
3. Analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej budynków i ich instalacji z wykorzystaniem rozproszonych systemów automatyzacji	36
3.1. Znaczenie funkcji automatyzacji i sterowania budynku dla poszczególnych podsystemów i instalacji technologicznych	37
3.1.1. Podsystem ogrzewania i chłodzenia	37
3.1.2. Podsystem przygotowania ciepłej wody użytkowej	48
3.1.3. Podsystem sterowania wentylacją i klimatyzacją	50
3.1.4. Podsystem sterowania oświetleniem	57
3.1.5. Podsystem sterowania zasłonami (roletami)	60
3.1.6. Techniczne zarządzanie domem i budynkiem	61
3.2. Analiza obszarów integracji w systemach automatyzacji ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej infrastruktury budynkowej i instalacji	62
3.3. Ocena znaczenia określonych zbiorów funkcjonalności rozproszonych systemów automatyzacji w procesie poprawy efektywności energetycznej budynków i instalacji	72
3.4. Koncepcja wariantów i strategii sterowania	79
3.4.1. Strategie sterowania	80
3.4.2. Warianty sterowania	84
4. Badania własne różnych wariantów sterowania w rozproszonych systemach automatyzacji i analiza wyników	99
4.1. Infrastruktura laboratoryjna - możliwości implementacyjne wariantów sterowania	99
4.2. Modele funkcjonalne systemów automatyki dla określonych typów obiektów	101
4.3. Badania i pomiary modeli funkcjonalnych przy uwzględnieniu różnych wariantów	101

sterowania	111
4.3.1. Wariant sterowania dla klasy D	112
4.3.2. Wariant sterowania dla klasy C.....	115
4.3.3. Wariant sterowania dla klasy B.....	118
4.3.4. Wariant sterowania dla klasy A	121
4.4. Analiza wyników badań modeli funkcjonalnych uwzględniających różne warianty sterowania systemu automatyzacji.....	124
4.4.1. Analiza wyników dla pomieszczeń o biurowym profilu użytkowania	127
4.4.2. Analiza wyników dla pomieszczenia o profilu użytkowym sali lekcyjnej	139
4.5. Weryfikacja zakresu oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji na efektywność energetyczną podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach	151
4.6. Wnioski dotyczące oddziaływania systemów automatyzacji na efektywność energetyczną budynków i instalacji.....	164
5. Organizacja systemu automatyzacji zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych	171
5.1. Pomiary parametrów eksploatacyjnych i badania możliwości funkcjonalnych systemu sterowania w instalacji pilotażowej oświetlenia przestrzeni publicznej.....	173
5.2. Wnioski dotyczące organizacji systemu sterowania instalacji typu Street Lighting.....	183
6. Lokalne systemy zarządzania energią	186
6.1. Wytyczne organizacji systemów zarządzania energią	187
6.2. Organizacja systemu zarządzania energią w laboratorium AutBudNet	193
7. Zakończenie	197
7.1. Wnioski końcowe	198
7.2. Zarys kierunków dalszych badań	201
Indeks oznaczeń, skrótów, terminów obcojęzycznych	203
Bibliografia:.....	205
Streszczenie.....	208
Abstract.....	210

1. Wstęp

Współczesne budynki, nowo budowane i modernizowane, to obiekty wyposażone w różne systemy i urządzenia, wykorzystujące odmienne rodzaje energii. Jednocześnie, ciągłe dążenie do poprawy komfortu ich użytkowania, zapewnienia bezpieczeństwa użytkownikom i zmniejszenia zużycia energii, doprowadziło do konieczności wdrożenia w nich dodatkowych systemów sterowania i zarządzania wspomnianymi elementami infrastruktury. Stąd obecność w nowoczesnych budynkach różnych systemów automatyzacji i sterowania, monitoringu, alarmowania, kontroli dostępu i innych. Rolą tych systemów jest nadzorowanie i sterowanie pracą podsystemów, instalacji technologicznych i urządzeń w budynkach w sposób zautomatyzowany, tak aby działały one efektywnie i wydajnie, niezawodnie i automatycznie. Pomimo wzrostu świadomości negatywnych skutków działalności człowieka na środowisko (m.in. emisja gazów cieplarnianych i CO₂), zapotrzebowanie na energię jest coraz większe. Według różnych raportów i badań, budynki komercyjne i mieszkalne są odpowiedzialne za ok. 40% całkowitego zużycia energii [1]. Dlatego istotne jest poszukiwanie technologii wpływających na zmniejszenie konsumpcji energii. W przypadku budynków takimi rozwiązaniami są m.in. systemy automatyzacji i sterowania, przy zachowaniu założenia, że zostały one odpowiednio zaprojektowane, zintegrowane i dbają o wysoką wydajność operacyjną budynku. Założenia te i obserwacje legły u podstaw sformułowania tezy niniejszej dysertacji, zamieszczonej przez autora w podrozdziale 1.3.

W rozdziale drugim, opierając się na dostępnej literaturze, ustawach, rozporządzeniach i dyrektywach, dokonano identyfikacji parametrów budynków i ich instalacji, elementów infrastruktury energetycznej budynków oraz elementów infrastruktury sterującej i monitorującej budynkami, wpływających na zmniejszenie zużycia energii i poprawę ich efektywności energetycznej. Zdefiniowano również pojęcie efektywności energetycznej.

W rozdziale trzecim poddano analizie możliwość poprawy efektywności energetycznej obiektów budowlanych i instalacji, przez implementację i integrację funkcji rozproszonych systemów automatyzacji, bazując na światowych standardach w tym zakresie. Wykorzystując dostępną literaturę, w tym normy techniczne, określono znaczenie funkcji automatyzacji i sterowania budynku dla poszczególnych podsystemów i instalacji technologicznych. Przeprowadzono również, analizę potencjalnych obszarów integracji w systemach automatyzacji, wpływających na zmniejszenie zużycia energii. Przedstawiono klasyfikację sprawności systemów automatyzacji i sterowania budynków, z uwzględnieniem ich wpływu na efektywność energetyczną obiektów budowlanych. Opisano również koncepcję wariantów i strategii sterowania, która zdaniem autora, może być narzędziem niezbędnym z punktu widzenia procesu projektowania i integracji systemów automatyzacji i sterowania, podporządkowanych uzyskaniu określonej, zadanej sprawności energetycznej budynku oraz zapewnieniu bezpieczeństwa i komfortu jego użytkowników.

Przeprowadzone przez autora badania, w formie eksperymentu, które pozwoliły na praktyczną weryfikację przyjętych założeń i udowodnienie tezy niniejszej pracy, zostały opisane w rozdziale czwartym. W tym celu, opracowano modele funkcjonalne systemów automatyki dla wybranych typów obiektów, zrealizowano ich implementację i integrację z wykorzystaniem infrastruktury laboratorium AutBudNet oraz dokonano pomiarów zużycia energii dla tych modeli, przy uwzględnieniu różnych wariantów sterowania. Wyniki przeprowadzonych badań

poddano szerokiej analizie, tak aby zweryfikować zakres oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji i sterowania na efektywność energetyczną budynków i ich instalacji.

Ze względu na możliwość zastosowania systemów automatyzacji i sterowania budynków w nowym obszarze jakim jest sterowanie instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych, występujących również w bezpośrednim otoczeniu budynków, w rozdziale piątym zaproponowano i zbadano nowe podejście do organizacji tych instalacji i ich sterowania. Dzięki wykorzystaniu sieciowych, rozproszonych systemów automatyzacji i sterowania do zarządzania wspomnianymi instalacjami, wykazano poprawę ich efektywności energetycznej oraz wskazano na możliwość usprawnienia ich obsługi w okresie eksploatacji.

W rozdziale szóstym przedstawiono i scharakteryzowano zasady i czynniki dotyczące organizacji lokalnych systemów zarządzania energią. Ich realizacja jako integralnego elementu systemu automatyzacji i sterowania budynkiem, nabiera szczególnego znaczenia w perspektywie integracji budynków w ramach wdrożenia technologii i narzędzi dedykowanych systemom inteligentnych sieci elektroenergetycznych Smart Grid.

1.1. Technologie i systemy automatyzacji w budynkach

We współczesnych budynkach, różnorodne instalacje elektryczne są niezbędnym elementem infrastruktury. Gwałtowny rozwój nauki i technologii spowodował powstanie w tym obszarze bardzo wielu rozwiązań, korzystających z odpowiednich instalacji, których dostępność i powszechność ułatwia codzienne życie, nie tylko w budynkach.

1.1.1. Tradycyjne i nowoczesne instalacje elektryczne

Pierwsze instalacje elektryczne realizowane w budynkach miały za zadanie oświetlenie pomieszczeń i zasilanie odbiorników elektrycznych. Z czasem zaczęto wykorzystywać ich elementy i możliwości funkcyjne w obszarze bezpieczeństwa, co doprowadziło do implementacji w tych instalacjach modułów ochronnych: przeciwpożarowych, przeciwzwarceniowych i przeciwporażeniowych. Kolejnym etapem rozwoju była realizacja zadań sterowania urządzeniami instalowanymi w budynkach i zakładach przemysłowych. Do tego celu wykorzystano elementy automatyki stycznikowo-przełącznikowej. Następnie wraz z rozwojem układów elektronicznych, w budynkach zaczęto stosować oddzielne, wyspecjalizowane instalacje (np. alarmowe czy klimatyzacyjne).

Współcześnie w obiektach typu szpitale, budynki biurowe, uczelnie, galerie i inne miejsca użyteczności publicznej, a także w domach jedno i wielorodzinnych, poza instalacjami tradycyjnymi zapewniającymi doprowadzenie energii elektrycznej do odbiorników, spotyka się następujące instalacje, które można zgrupować jako trzy systemy:

- system BAC¹:
 - sterowanie urządzeniami HVAC²

¹ ang. BAC - Building Automation and Control - automatyzacja i sterowanie budynkiem.

² ang. HVAC – Heating, Ventilation, Air Condition – ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja.

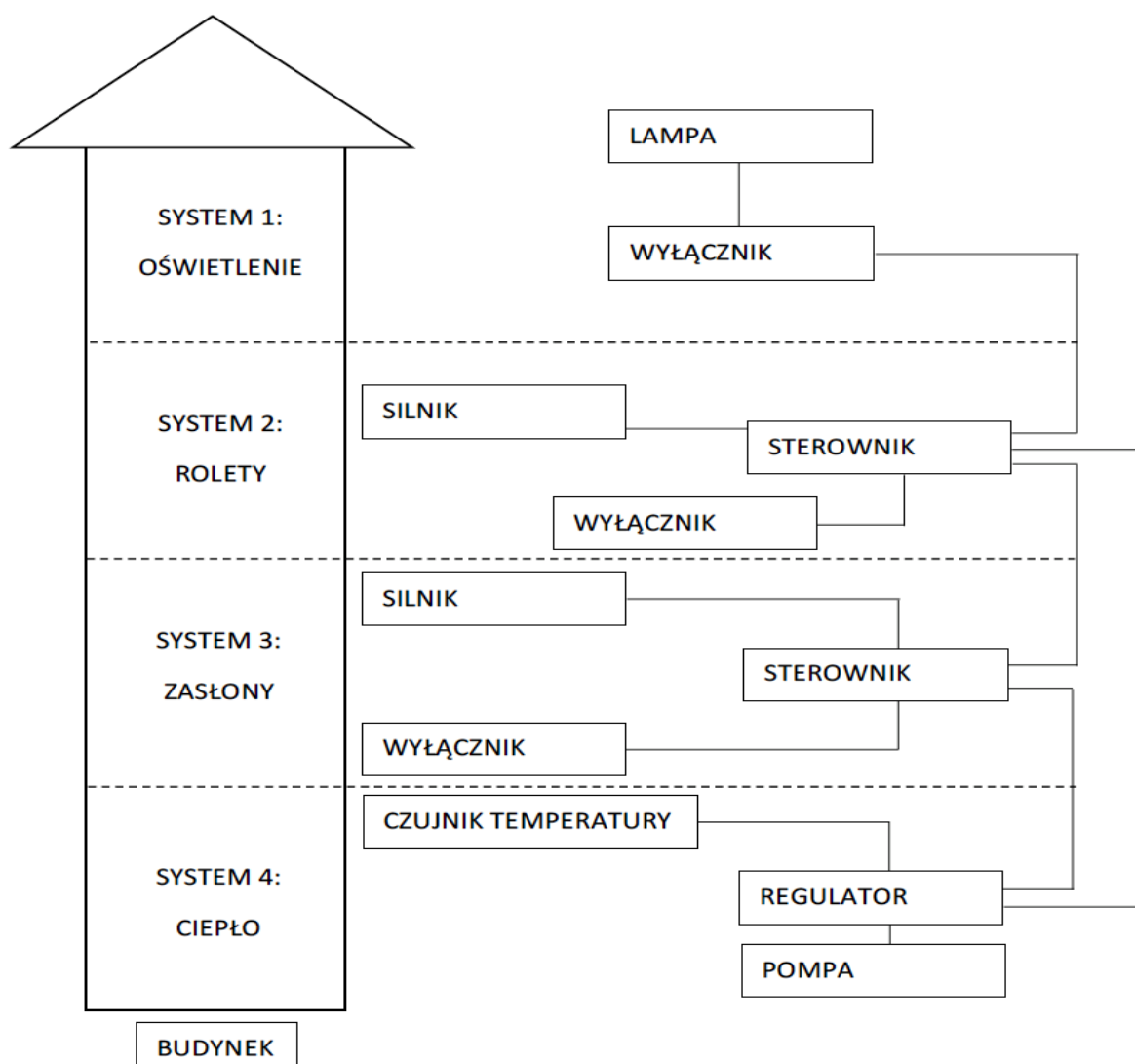
- sterowanie roletami, żaluzjami, markizami
- instalacje domofonowe i wideo-domofonowe
- sterowanie urządzeniami RTV/AGD
- instalacje A/V (Audio/Video)
- system SMS³:
 - system sygnalizacji włamań i napadu
 - system sygnalizacji i wykrywania pożaru
 - kontrola dostępu i rejestracja czasu pracy
 - system detekcji tlenku węgla i LPG
 - monitoring i telewizja przemysłowa (CCTV)
 - system DSO (dźwiękowy system ostrzegawczy)
- system EMS⁴:
 - sterowanie oświetleniem
 - system dystrybucji energii elektrycznej
 - system zasilania bezprzerwowego (UPS)

Mnogość tych niezależnych instalacji sprawia problemy, zarówno na etapie projektowania, jak również przyczynia się do zwiększenia kosztów inwestycji (osobne okablowanie) oraz ogranicza funkcjonalność niewspółpracujących ze sobą systemów. Niemniej istotny jest brak prostoty i przejrzystości topologii połączeń, chociażby w przypadku ewentualnej rozbudowy lub awarii. Na rysunku nr 1.1 widoczny jest brak czytelności struktury wcześniej wymienionych systemów, realizowanych z dedykowanymi sobie instalacjami.

Rozwiązania takie nazywa się „wyspowymi”. Zarządzanie takim systemem jest uciążliwe, ponieważ do obniżenia kosztów utrzymania budynku, wykwalifikowany użytkownik musi na bieżąco, samodzielnie monitorować różne systemy i na ich podstawie podejmować odpowiednie decyzje. Konserwacja tak rozbudowanego systemu wymaga odpowiedniej, technicznej wiedzy oraz specjalizacji. Dlatego dla podwyższenia komfortu, bezpieczeństwa oraz oszczędności inwestycyjnych i eksploatacyjnych, wskazana jest integracja powyższych niezależnych systemów w jeden, dla umożliwienia realizacji wszystkich funkcji w jednym systemie – sterowanie, monitoring, alarmy itp. [2].

³ ang. SMS – Security Management System - system zarządzania bezpieczeństwem.

⁴ ang. EMS – Energy Management System - System zarządzania energią.



Rys. 1.1 - Skomplikowana i ograniczona funkcjonalnie struktura klasycznych systemów automatyzacji i sterowania budynkiem

1.1.2. Rodzaje systemów inteligentnych budynków

W ramach rodzajów BACS⁵ należy wyróżnić rozwiązania oparte o technologie i produkty konkretnych firm ((i) systemy zamknięte, firmowe) oraz systemy zrealizowane z wykorzystaniem technologii niezależnych od poszczególnej firmy, która może zostać zaimplementowana przez różnych producentów modułów automatyki ((ii) systemy otwarte). Do grupy systemów zamkniętych zalicza się rozwiązania i urządzenia opracowane i sprzedawane zwykle przez jednego producenta. Takie systemy zazwyczaj są dedykowane do określonych zadań (wentylacja, oświetlenie, RTV/AGD). Często zdarza się, że nie zawierają wszystkich elementów niezbędnych do realizacji kompletnych BACS, a jeżeli nawet posiadają aktualnie potrzebne funkcje, to w przyszłości mogą okazać się niemożliwe do rozbudowy lub modernizacji np. z powodu niekompatybilności. W przypadku braku realizacji jakiejś funkcjonalności przez standard jednej firmy integracja go z innym obcym systemem bywa

⁵ ang. BACS – Building Automation and Control System - System automatyzacji i sterowanie budynkiem.

kosztowna i utrudniona. Dzięki niejawności takich systemów sensowne jest stosowanie ich wszędzie tam, gdzie wymagane jest zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, właśnie przez zastosowanie niejawnego protokołu komunikacyjnego. Z kolei systemy nazywane otwartymi to takie, w których stosuje się określone rozwiązania i standardy komunikacyjne niezależne od producentów. Charakteryzują się one interoperacyjnością, czyli zdolnością różnych urządzeń, również pochodzących od różnych producentów, do pełnej współpracy na płaszczyźnie fizycznej i funkcjonalnej, w tym integracji na poziomie obiektowym⁶. Uzyskany dzięki temu system jest elastyczny, może być rozbudowany o kolejne elementy, obsługujące różne podsystemy infrastruktury budynkowej. Organizacja sieci w systemach otwartych cechuje się rozproszeniem poszczególnych urządzeń realizujących określone funkcje, które połączone ze sobą w warstwie logicznej, wykonują zaawansowane zadania automatyki budynku [3].

Ponadto dla budynków różnego typu, przeznaczenia i kubatury, należy zwrócić uwagę na sposób organizacji BACS. W systemach istniejących oraz nowo instalowanych w budynkach, możliwe jest wyróżnienie:

- a) niezależnych systemów specjalizowanych,
- b) systemów scentralizowanych,
- c) systemów rozproszonych i zintegrowanych systemów rozproszonych,
- d) systemów rozwijanych w ramach koncepcji Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things - IoT), w tym także znaczące upowszechnienie komunikacji bezprzewodowej.

Niezależne systemy specjalizowane (a) są to najczęściej rozwiązania tradycyjne, dedykowane do danych zastosowań, z reguły posiadające znaczne ograniczenie lub uniemożliwiające integrację urządzeń automatyki w ramach różnych instalacji technologicznych. Niezalecane przy obecnym stanie techniki. Ich jedyną zaletą, w pewnych przypadkach, może być relatywnie niski koszt zakupu. Firmy i ośrodki naukowe w swoich badaniach dążyły do połączenia wymienionych w poprzednim podrozdziale systemów BAC, EMS, SMS oraz BMS⁷ w jeden zintegrowany system BACS. Doprowadziło to w pierwszym etapie do powstania systemów scentralizowanych (b), które z reguły, są rozwiązaniami dedykowanymi do poszczególnych zastosowań np. sterowniki zarządczne do klimatyzacji, centralki SSWiN, które oprócz realizacji dedykowanego dla nich zadania, umożliwiają „twardo-drutowe” połączenie i sterowanie innymi podsystemami technologicznymi jak np. rolety lub oświetlenie). W przypadku większych systemów bazują one na swobodnie programowalnych sterownikach PLC lub minikomputerach. Rozwiązanie to jest spotykane w mniejszych obiektach jak domy, mieszkania. Ich integracja z innymi podsystemami, może wymagać dużego nakładu pracy integratorskiej lub okazać się dość kosztowna – doposażenie systemu, o ile istnieją, w dedykowane bramki, gateway (pełniące rolę translatorów pomiędzy protokołami). Systemy te wykorzystują centralną jednostkę (jedną lub kilka), posiadają bardzo istotną wadę,

⁶ Integracja na poziomie obiektowym - Wprowadzenie połączeń komunikacji i transmisji danych z wykorzystaniem standardowych protokołów automatyki budynkowej lub przemysłowej, umożliwiających wymianę danych między sterownikami i innymi węzłami sieci automatyki i sterowania, w celu realizacji wspólnych, zaawansowanych funkcjonalności, bez udziału jednostek nadrzędnych. Umożliwia integrację elementów automatyki bez konieczności stosowania, często bardzo drogich, dedykowanych interfejsów komunikacyjnych, konwerterów lub przekazywania informacji na poziomie komputerowych stacji nadzorczych.

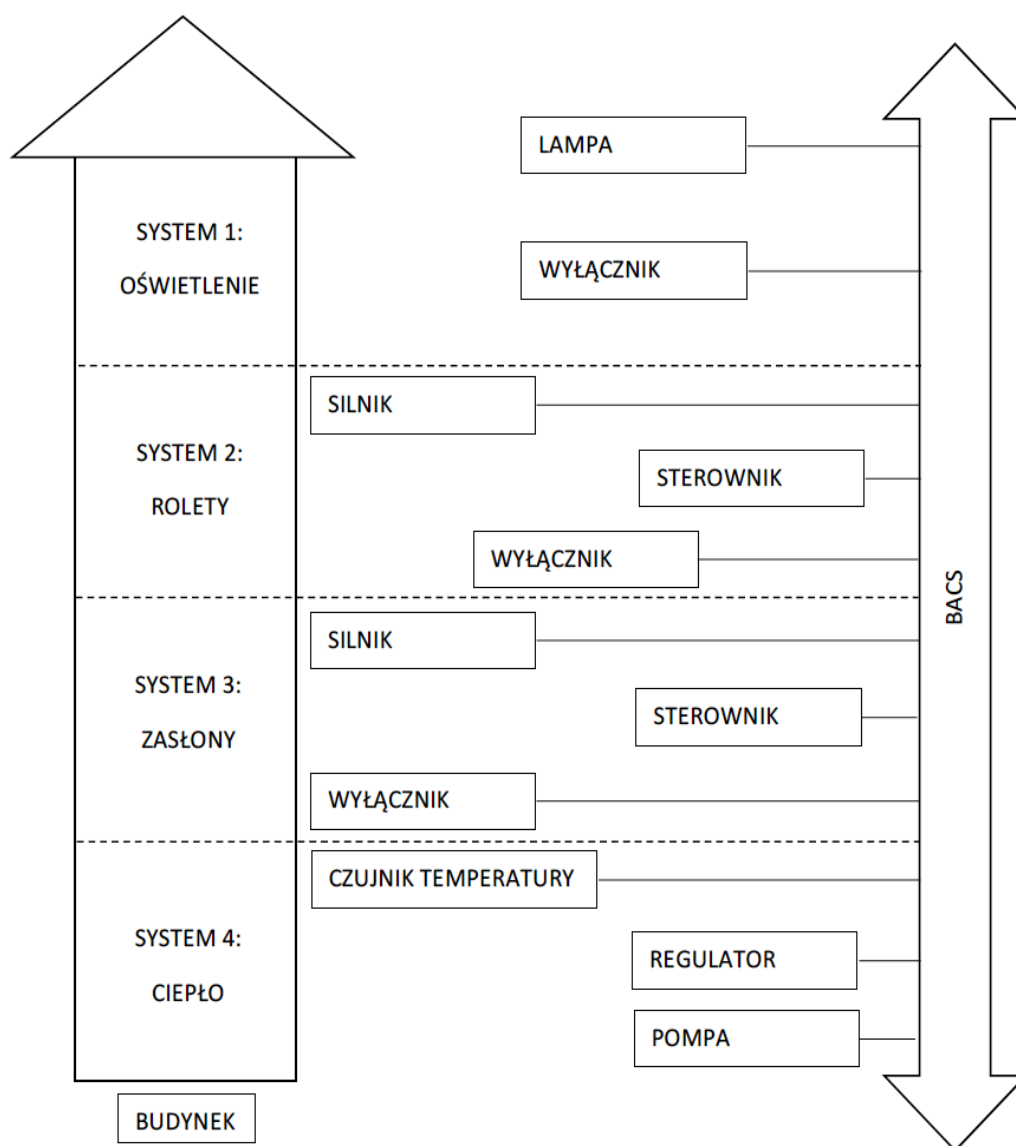
⁷ ang. BMS – Building Management System – system zarządzania budynkiem.

mianowicie awaria tej jednostki powoduje w krytycznym przypadku wstrzymanie pracy całego budynku takiego jak hotel czy biurowiec, co może doprowadzić do dyskomfortu dużej liczby korzystających z niego osób. Można zapobiegać takim skutkom przez dublowanie sterowników (redundancja), jednak zwiększa to koszty instalacji i wciąż pozostaje rozwiązaniem nie do końca satysfakcjonującym zarządców i użytkowników budynków [4]. Koncepcja zintegrowanych systemów rozproszonych lub sieci sterowania (c) to rozwiązanie oparte o tzw. węzły sieciowe, moduły wyposażone w mikrokontrolery i interfejs sieciowy, połączone magistralą transmisji danych (możliwe różne nośniki transmisji danych). Instalacje takie do połączenia często wykorzystują sieć o architekturze P2P⁸. Każdy węzeł sieci posiada zdolność realizacji algorytmów sterowania, powiązanych z lokalnie przyłączonymi sygnałami procesowymi wejść/wyjść (czujniki, elementy wykonawcze), a także zdolność wymiany danych z innymi węzłami, za pośrednictwem sieci. Istotnym elementem takiego systemu jest standardowy protokół wymiany danych, np. definiowany normami ISO⁹, który jest implementowany w mikrokontrolerze każdego węzła sieci. Logika sterująca może być realizowana w ramach poszczególnych węzłów lub poprzez współdziałanie grup wybranych węzłów. Systemy takie są popularne we współczesnych systemach automatyki budynkowej. Oferują one praktycznie bezproblemową integrację funkcjonalną instalacji technologicznych, modułów automatyki i elementów monitoringu parametrów technicznych pracy urządzeń, zużycia energii itp. Dlatego też rozwiązanie to powinno być stosowane w obecnie budowanych lub modernizowanych budynkach [5], [6]. Przy takim rozwiązaniu system BACS obejmuje sprzęt i aparaturę przyłączoną do sieci oraz systemy komunikacyjne, które umożliwiają dostęp do danych z całego budynku. Dzięki integracji systemów, użytkownik może zarządzać wszystkimi parametrami w budynku. Ideę takiego systemu pokazano na rysunku nr 1.2. Jeszcze kilka lat temu projektanci i integratorzy obawiali się stosowania komunikacji bezprzewodowej w automatyce budynkowej, a dzisiaj popularne są sieci Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, EnOcean czy Z-Wave [7]–[9]. Obecnie ważnym kierunkiem rozwoju sieci sterowania i monitoringu w budynkach są nowe technologie (d) dedykowane dla BACS oraz ewolucja istniejących standardów automatyki budynków w kierunku idei Internetu Rzeczy (IoT), czy też Budynkowego Internetu Rzeczy (BIoT). IoT to nowy paradygmat, wskazujący na wykorzystanie technologii sieci IT i protokołu IP, w celu połączenia i wymiany danych różnych urządzeń, systemów, podsystemów i technologii wykorzystywanych w budynkach i w otoczeniu człowieka. Obserwowana tendencja stałego wzrostu oczekiwań użytkowników budynków i odbiorców energii (poprawa komfortu użytkowania, zapewnienie bezpieczeństwa oraz redukcja zużycia energii), wymaga stosowania złożonych rozwiązań technologicznych i systemów sieciowych, ukierunkowanych na jak najpełniejszą integrację instalacji technologicznych. Zastosowanie koncepcji IoT w budynkach (BIoT) powinno umożliwić pełną, bezproblemową integrację różnych fizycznych obiektów, elementów instalacji technologicznych, w sieci Internet [10]. W oparciu o IoT, w budynkach rozwijana jest komunikacja typu M2M (Machine-to-Machine), umożliwiająca interakcję na poziomie obiektywnym urządzeń pochodzących z różnych obszarów i podsystemów infrastruktury budynkowej. Dodatkowo, w ramach implementacji BIoT zauważalny jest wzrost zastosowania

⁸ P2P - Protokół komunikacji sieciowej peer-to-peer czyli każdy z każdym na równych prawach.

⁹ ang. ISO - International Organization for Standardization - Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna.

sieci bezprzewodowych jako medium transmisji danych [11], [12]. Istotnym elementem możliwości integracji instalacji technologicznych w ramach zastosowanego systemu automatyzacji powinno być określenie jego pozycji rynkowej, wydajności i skalowalności. Bez względu na rewolucje technologiczne, przy organizacji takich systemów monitoringu i sterowania ważną wytyczną będzie zawsze zmniejszenie poboru energii elektrycznej, wzrost wydajności, uproszczenie topologii, redukcja okablowania i zwiększenie mobilności użytkowników budynków ludzi, a także poprawa ich bezpieczeństwa i komfortu. Przewidzieć można, że w inteligentnym budynku będzie kontynuowane dążenie do miniaturyzacji urządzeń i jeszcze większej integracji różnych podsystemów. Coraz częstsze zastosowanie systemów automatyki budynków nie tylko w dużych obiektach, ale w domach i mieszkaniach będzie podyktowane wymaganiami prawnymi dotyczącymi oszczędności energetycznej oraz czynnikami ekonomicznymi. Można również przypuszczać, że z czasem nowe budynki mieszkalne będą standardowo wyposażone w odpowiednią infrastrukturę i media (przewody, routery, bramy, wzmacniacze) służące późniejszym instalacjom.



Rys. 1.2 - Uproszczona i przejrzysta struktura rozproszonego i zintegrowanego systemu BACS

1.1.3. Popularne standardy automatyki budynkowej

Systemy automatyzacji i sterowania budynkiem (BACS) to klucz do tego, by wszystkie instalacje technologiczne w budynkach pracowały efektywnie i wydajnie. Do realizacji zadań stawianych systemom BACS, opracowano i ciągle rozwija się nowe standardy automatyki budynkowej. Rolą projektanta i integratora systemu BACS jest wybór odpowiedniej technologii, tak aby spełnić wymagania konkretnej aplikacji i obiektu. W niniejszym podrozdziale, postanowiono przedstawić wybrane popularne otwarte standardy automatyki budynkowej.

LonWorks

Wśród wielu standardów automatyki budynkowej jednym z istniejących na rynku, zaakceptowanym przez międzynarodowe organizacje, jest system LonWorks. Posiada bardzo wiele cech i funkcji wykorzystywanych w przemyśle, transporcie, ale także budownictwie.

LonWorks to otwarty, rozproszony system automatyki budynkowej (międzynarodowy standard ISO/IEC 14908), dedykowany do różnych aplikacji: sterowanie w przemyśle oraz w obiektach użyteczności publicznej, diagnostyka różnych systemów elektronicznych, a także integracja urządzeń specjalnych. Jego podstawowe założenia koncepcyjne i techniczne powstały w firmie Echelon Corporation utworzonej z inicjatywy firm Toshiba i Motorola. Standard został opracowany i wprowadzony na rynek w latach 90. XX wieku. Inspiracją dla Echelon Corporation była chęć wprowadzenia kompletnego standardu komunikacji pomiędzy różnymi urządzeniami w złożonym systemie sterowania. Technologia LonWorks opiera się na następujących założeniach [13]:

- systemy automatyki mają wiele wspólnych wymogów bez względu na to gdzie są stosowane;
- system sterowania zbudowany w oparciu o sieć wymiany danych na poziomie obiektowym jest znacznie bardziej wydajny, elastyczny, wszechstronny, niż układy niełączone w zintegrowaną sieć;
- zintegrowane systemy monitoringu i sterowania urządzeń mogą mieć wpływ na podstawę - szkielet systemu sterowania dla łatwiejszego rozwoju nowego oprogramowania, podboju rynków i poszerzania możliwości funkcyjnych;
- firmy mogą oszczędzać i zarabiać więcej pieniędzy wykorzystując zintegrowane systemy sterowania w przeciągu długiego okresu czasu, aniżeli ma to miejsce w oparciu o tradycyjne technologie wykorzystywane w automatyce.

Standard ten umożliwia integrację różnych systemów funkcjonalnych, pożądaných w ramach infrastruktury technicznej budynków, w jednym kompletnym systemie sprzętowym. Funkcje poszczególnych systemów realizowane są lokalnie w różnego rodzaju urządzeniach, czujnikach i elementach wykonawczych. Wykorzystuje on standardowe protokoły komunikacyjne. Wprowadza standardy funkcjonalności urządzeń i mediów komunikacyjnych. Elementy sieci, urządzenia sterujące, mogą pochodzić od różnych producentów, przez co klient nie jest skazany na wybór produktów jednego z nich, co ma również wpływ na ceny urządzeń. System zapewnia integralność elementów pochodzących od różnych producentów. Jest elastyczny – pozwala na dowolne kreowanie swojej funkcjonalności i postaci. Umożliwia rozbudowywanie oraz

przekształcanie sieci w prosty, łatwy sposób nie ponosząc przy tym znacznych kosztów. Obecnie za promocję i rozwój standardu LonWorks odpowiedzialne jest stowarzyszenie LonMark International, zrzeszające ponad 600 firm z całego świata, założone w 1994 roku przez firmę Echelon. Zapewnia ono otwartość i interoperacyjność produkowanych urządzeń oraz ustanawia wytyczne dla protokołu i wymagania dla certyfikacji produktów. Nadaje certyfikaty gwarantujące całkowitą zgodność ze standardem LonWorks.

Standard LonWorks jest znany, sprawdzony i szeroko stosowany w systemach automatyki budynkowej na całym świecie. Został zatwierdzony jako oficjalny protokół automatyzacji budynkowej przez organizację Intelligent Building Institute (IBI), oraz instytut American National Standards Institute (ANSI). Organizacja LonMark stara się, aby platforma LonWorks była jak najbardziej zbliżona i dostosowana do potrzeb potencjalnego klienta, a także do dynamicznie rozwijającego się rynku. Obecnie duży nacisk został położony na odpowiedzialne zarządzanie energią, ze wskazaniem na redukcję jej zużycia oraz na współpracę systemu z alternatywnymi systemami. Ważnym trendem rozwojowym jest obecnie implementacja narzędzi wspierających technologię Internetu Rzeczy (IoT¹⁰). Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom odbiorców, firma Echelon wprowadziła już na rynek platformę LonWorks 2.0. Jest to system unowocześniony, wydajniejszy i szybszy od pierwotnego [13], [14].

KNX

Początki rozwoju popularnego w Europie standardu KNX sięgają wczesnych lat 90 - tych XX wieku, kiedy to Stowarzyszenie EIBA¹¹, zawiązane przez wiodących producentów europejskich z branży instalacji elektrycznych i automatyki rozpoczęło prace nad specyfikacją techniczną standardu EIB¹², dedykowanego rozproszonej automatyce budynkowej. Był on wówczas jednym z głównych systemów automatyki budynkowej w Europie, jednakże rozwój rynku wykazał, że sam standard EIB nie obejmuje wszystkich zakresów aplikacji automatyki budynkowej. Dlatego w 1999r powstała organizacja KONNEX, łącząca najlepsze elementy trzech systemów magistralnych (EIB, Batibus i EHS¹³), a nowy proponowany standard otrzymał nazwę KNX. Jest on obecnie zatwierdzony jako norma międzynarodowa (ISO/IEC 14543-3), ale również jako norma europejska (CENELEC EN 50090 i CEN EN 13321-1), chińska (GB/Z 20965) i amerykańska (ANSI/ASHRAE 135). Organizacja za niego odpowiadająca zrzesza ponad 100 firm dostarczających produkty zgodne ze standardem KNX, co decyduje o tym, że jest to najpopularniejszy system automatyki budynkowej w Europie. Ponadto poprzez opracowywanie warunków technicznych urządzeń, przeprowadzanie testów aparatów oraz opracowywanie reguł certyfikacji, organizacja nadaje znak KNX, który jest świadectwem spełnienia norm standardu.

System KNX to zdecentralizowany system automatyki służący do załączania, sterowania, sygnalizowania, regulacji i nadzoru urządzeń elektrotechnicznych i elementów instalacji technologicznych [15]. Jest otwartym systemem magistralnym o strukturze rozproszonej,

¹⁰ ang. IoT - Internet of Things – Internet Rzeczy.

¹¹ ang. EIBA - European Installation BUS Association.

¹² ang. EIB - European Installation BUS.

¹³ ang. EHS - European Home Systems.

uzyskanej poprzez wyposażenie każdego modułu sieciowego w mikroprocesor odpowiedzialny za łączność z siecią. Typowym obszarem jego zastosowań są budynki użyteczności publicznej, a zwłaszcza indywidualne i wielorodzinne budynki mieszkaniowe. W KNX użytkownik w każdej chwili może zmienić funkcje poszczególnych elementów, bez konieczności ingerencji w instalację elektryczną. Tradycyjne włączniki zastąpione zostały przyciskami, którym przyporządkowano odpowiednią funkcję. Do połączenia elementów ze sterownikiem użyto specjalnego, czterożyłowego, ekranowanego przewodu nazywanego magistralą komunikacyjną. Urządzenia wchodzące w skład systemu KNX zasilane są poprzez magistralę komunikacyjną dany dodatkowym sygnałem napięciowym 29V DC, wytwarzanym za pomocą specjalnych zasilaczy dołączanych do magistrali. Napięcie 230 VAC doprowadzane jest bezpośrednio tylko do odbiorników, takich jak lampy, silniki rolet czy gniazda elektryczne. Topologia sieci KNX opiera się na rozwinięciu prostej magistrali. Wszystkie podłączone do niej urządzenia są równoprawne i sterowane w sposób zdecentralizowany. Podstawową częścią struktury jest linia, do której podłączane są urządzenia końcowe. Topologia logiczna sieci KNX pozwala na włączenie do jednej linii 256 urządzeń. Na jednej linii magistralnej EIB mogą znajdować się maksymalnie 64 elementy (aktory - elementy wykonawcze bądź sensory - czujniki). W systemie KNX występują dwa rodzaje adresów: fizyczny i grupowy (logiczny). Pierwszy z nich służy do identyfikacji urządzenia w systemie, natomiast adres grupowy przyporządkowuje dany element do grupy urządzeń, z którymi powinien współpracować przy realizacji konkretnych funkcji [14], [15].

BACnet

BACnet¹⁴ - jest otwartym (publicznym) protokołem komunikacji, który umożliwia współdziałanie systemów budynkowych: sterowania i monitorowania, pochodzących od różnych producentów. Został opracowany przez ASHRAE¹⁵ i spełnia normy międzynarodową (EN/ISO 16484-5) oraz amerykańską (ANSI/CEA-852). BACnet dostarcza mechanizmy wymiany informacji między poszczególnymi urządzeniami i systemami, posiada następujące możliwości implementacji:

- w oprogramowaniu stacji roboczych i serwerów (system zarządzania budynkiem lub zespołem budynków)
- w sterownikach swobodnie programowalnych, ogólnego przeznaczenia jak i sterownikach do konkretnych aplikacji (sterowanie urządzeniami takimi jak klimakonwektory, skrzynki VAV¹⁶, pompy ciepła, kontrolery dostępu, centrale pożarowe)
- w "inteligentnych" czujnikach pomiarowych
- w elementach wykonawczych (siłowniki, falowniki)

Protokół BACnet jest niezależny od sprzętu. Dzięki temu producent dowolnie decyduje o rodzaju procesora wykorzystanego do implementacji protokołu, o architekturze urządzenia,

¹⁴ ang. BACnet - **B**uilding **A**utomation and **C**ontrol **N**etworks

¹⁵ ang. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

¹⁶ ang. VAV - Variable Air Volume - zmienna ilość powietrza

o zasobach takich jak pamięć, ilość wejść/wyjść. Każde urządzenie sieci BACnet posiada unikatowy adres MAC¹⁷, który definiuje położenie urządzenia w sieci. W standardzie BACnet zdefiniowano sześć klas zgodności określających zbiór wymaganych usług aplikacyjnych. Pozwalają one określić możliwości urządzeń w sieci BACnet, zgodnie z rosnącym numerem klasy, od prostego czujnika (klasa 1) do uniwersalnego sterownika (klasa 6). W praktyce oznacza to możliwość zastosowania urządzenia o różnych możliwościach technicznych [16]. BACnet nie narzuca struktur używanych do przechowywania danych w urządzeniu implementującym ten standard. Jednak, aby urządzenia mogły ze sobą komunikować się, została zdefiniowana obiektowa reprezentacja danych. W BACnet zdefiniowano zbiór standardowych typów obiektów, ich własności oraz usług, które w części służą do dostępu i operowania na obiektach (elementy należą do warstwy aplikacji). Ilość instancji poszczególnych obiektów nie jest ujęta w standardzie. Własności obiektów mogą być do czytania lub do zapisu. Nie wszystkie muszą być zaimplementowane, aby spełnić wymagania standardu, część jest opcjonalna. Producent systemu ma możliwość implementacji własnych obiektów lub własności, przy czym niestandardowe obiekty muszą mieć co najmniej własności wymagane w standardzie. Wszystkie urządzenia zgodne z protokołem BACnet powinny mieć dokument zwany PICS¹⁸, który pokazuje w jakiej części standard został zaimplementowany. Jest to dokument tworzony przez producenta [14], [17].

Istotne cechy przedstawionych systemów zostały zebrane i przedstawione w tabeli 1.1.

Tabela 1.1 - Porównanie wiodących systemów automatyki budynkowej

	LonWorks	KNX	BACnet
Prędkość transmisji	78,125 kb/s	9600 b/s	Ethernet (10Mb/s), ARCNET (19kb/s-10Mb/s)
Topologia	linia, gwiazda, pierścień	linia, gwiazda, pierścień	intersieć
Protokół	predictive P-persistent CSMA	CSMA/CA	CSMA/CD i inne (standard nie definiuje)
Media transmisyjne	skrętka typu Level IV, skrętka stosowana w systemie KNX, standardowe przewody Belden lub Cat 5. Sieć energetyczna (LonWorks PL), światłowód (LonWorks FO), fale radiowe (LonWorks RF). Umożliwiono także stosowanie tunelowania IP (LonWorks/IP)	KNX TP1 (odpowiednik skrętki miedzianej), przewód elektroenergetyczny (KNX PL), fale radiowe (KNX RF), pewne usługi za pomocą tunelowania w sieci IP (EIBnet/IP)	Ethernet, protokół internetowy IP (dokładniej UDP/IP), Point to Point (PTP), RS-232, MS/TP (Master Slave/Token Passing) po pojedynczej parze miedzianej (RS-485), ARCNET, radiowo (ZigBee)
Warstwy modelu ISO/OSI	wszystkie 7 warstw	5 warstw (bez warstwy sesji i prezentacji)	4 warstwy – fizyczna, danych, sieci oraz aplikacji
Maks. ilość urządzeń	32 385 urządzeń w domenie, 248 domen w sieci.	61455	4 194 303

¹⁷ ang. MAC - Medium Access Control

¹⁸ ang. PICS - Protocol Implementation Conformance Statement

DALI

System DALI¹⁹ jest prostym cyfrowym protokołem komunikacyjnym dedykowanym do sterowania bardziej zaawansowanymi funkcjonalnie instalacjami oświetleniowymi w budynkach. System zaprezentowano po raz pierwszy w 2000r na międzynarodowych targach we Frankfurcie, jako alternatywę systemu sterowania analogowego 1-10V. System jest wspólną inicjatywą takich czołowych producentów jak: Philips, Helvar, Osram i Tridonic.

Istotną zaletą standardu DALI jest możliwość indywidualnego zaadresowania każdej oprawy oświetleniowej. Dodatkową możliwością jest tworzenia do 16 grup oświetleniowych w obrębie jednej sieci DALI, w skład której wchodzi maksymalnie 64 stateczniki. Niektóre sterowniki oferują adresowanie grupowe do 16 grup oświetleniowych i dodatkowo adresowanie fizyczne do 16 indywidualnych stateczników, co łącznie daje liczbę 32.

Do zalet systemu DALI należą:

- prostota instalacji (w porównaniu z alternatywnym do DALI rozwiązaniem opierającym się na statecznikach sterowanych sygnałem 1-10V należy doprowadzić do każdego statecznika 5 żył od sterownika, natomiast w technologii DALI magistrala to jeden kabel dwużyłowy, a poszczególne stateczniki DALI wpina się równolegle)
- odporność na zakłócenia (uzyskana dzięki zastąpieniu komunikacji analogowym poziomem napięcia przez cyfrowy telegram, interpretowany przez statecznik przy lampie o wysokim współczynniku SNR²⁰ i niewielkiej prędkości transmisji)
- oszczędność w zakupie systemowych sterowników ściemniających (przyjmuje się opłacalność systemu dla instalacji posiadających ponad 5 opraw ściemnianych np. świetlówkowych)
- otwartość (istnieje wiele producentów, którzy produkują elementy komunikujące się zgodnie ze standardem)

Do wad należy zaliczyć dwie następujące cechy:

- bramki obsługują maksymalnie 16 grup pomimo występowania 63 swobodnie adresowalnych opraw oświetleniowych i jest to maksymalna ilość urządzeń w obrębie pojedynczej magistrali DALI
- wykorzystując przewód $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ jako sterujący ostatnie sterowane urządzenie nie może być dalej niż 300m od urządzenia sterującego [18].

¹⁹ ang. DALI - Digital Addressable Lighting Interface

²⁰ ang. SNR – Signal to Noise Ratio

1.2. Główne obszary zastosowań zintegrowanych systemów automatyzacji i sterowania budynków

Obserwowany współcześnie rozwój techniki, w szczególności w branży teleinformatycznej i komunikacji sieciowej, determinuje zmiany w bezpośrednim otoczeniu człowieka i jego codziennym życiu. Różnorodność i stopień zaawansowania funkcji nowych urządzeń i rozwiązań, przy jednoczesnym uproszczeniu ich obsługi, oferuje możliwość realizacji idei „świata zautomatyzowanego”. Dlatego właśnie nowoczesne technologie w dziedzinie automatyki, elektroniki i informatyki zaczęły funkcjonować nie tylko w środowisku przemysłowym, ale również w najbliższym otoczeniu człowieka – między innymi w budynkach. Komfort człowieka i ułatwienie mu egzystencji w miejscu, w którym wypoczywa, pracuje, mieszka, stały się jednym z głównych motywów powstania nowoczesnych systemów automatyki budynkowej. Systemy te stają się coraz bardziej popularne nie tylko w hotelach, budynkach użyteczności publicznej czy biurach, lecz również w domach i budynkach mieszkalnych. Współczesne systemy automatyki budynkowej pozwalają na realizację praktycznie wszystkich funkcjonalności związanych z komfortem użytkowników budynków:

- sterowanie ogrzewaniem,
- sterowanie przygotowaniem ciepłej wody użytkowej,
- sterowanie chłodzeniem,
- sterowanie wentylacją i klimatyzacją,
- sterowanie oświetleniem,
- sterowanie ochroną przed słońcem oraz oknami,
- sterowanie pozostałymi elementami zużywającymi energię w budynku,
- realizację systemu sygnalizacji włamania i napadu,
- realizację systemu kontroli dostępu,
- integrację z systemami przeciwpożarowymi oraz automatycznego gaszenia i inne,
- wizualizacja stanu pracy i obsługa podsystemów oraz zdalne sterowanie np. przez sieć Internet.

Wraz z coraz powszechniejszym zastosowaniem alternatywnych i odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz wzrostem zainteresowania kwestiami poprawy efektywności energetycznej całych budynków i poszczególnych, pracujących w nich urządzeń, otworzyły się nowe obszary możliwych zastosowań systemów automatyki budynkowej. Konieczne jest również upowszechnienie wiedzy o tych innowacyjnych rozwiązaniach w środowiskach projektantów, wykonawców i użytkowników oraz badanie i ocena skutków ich stosowania. Tylko bowiem skuteczne współdziałanie tych podmiotów od samego początku fazy projektowania nowych lub modernizacji starszych budynków, pozwoli na optymalne wykorzystanie wszystkich dostępnych funkcjonalności, wzrost bezpieczeństwa osób i urządzeń wraz z poprawą efektywności energetycznej i komfortu użytkowników.

Czynnikiem dodatkowo stymulującym rozwój i szybkie wdrażanie innowacyjnych rozwiązań z zakresu OZE oraz poprawy efektywności energetycznej, są zapisy dyrektyw energetycznych Unii Europejskiej i towarzyszące im odpowiednie rozporządzenia. W dokumentach tych podane są zalecenia dotyczące strategii wdrożeń wybranych urządzeń i rozwiązań

systemowych, obligujące kraje członkowskie do konkretnych działań w sektorze budownictwa, energetyki i telekomunikacji.

1.3. Teza i cele pracy

Systemy automatyki budynkowej, z elementami rozproszonego sterowania i monitoringu parametrów urządzeń infrastruktury budynkowej, mogą służyć jako efektywne narzędzie w organizacji zarządzania energią w budynkach.

Dlatego też **tezę** niniejszej pracy autor formułuje w stwierdzeniu:

Dobór i integracja funkcjonalności systemów automatyzacji, ma wpływ na poprawę efektywności energetycznej instalacji i obiektów budowlanych. W oparciu o analizę przypadku implementacji systemów automatyzacji w różnych wariantach sterowania, istnieje możliwość weryfikacji zakresu tego wpływu oraz ustalenie poziomu integracji funkcji operatorskich i zarządzania, istotnych dla osiągnięcia zadanego celu.

Udowodnienie tezy pracy doktorskiej wymagało podjęcia zadań stanowiących cele pracy:

- identyfikacja obszarów i elementów infrastruktury budynkowej i instalacji, charakteryzujących się znaczącym potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej,
- analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej obiektów budowlanych i instalacji przez implementację i integrację funkcjonalności rozproszonych systemów automatyzacji, bazujących na światowych standardach w tym zakresie,
- ocena przydatności i znaczenia określonych zbiorów funkcjonalności rozproszonych systemów automatyzacji w procesie poprawy efektywności energetycznej budynków i instalacji,
- weryfikacja zakresu oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji na efektywność energetyczną podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach,
- opracowanie wytycznych dotyczących zbioru funkcjonalności systemu automatyzacji, zorientowanych na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych,
- przedstawienie i scharakteryzowanie zasad i czynników, istotnych z punktu widzenia organizacji systemów zarządzania energią

Efekty realizacji postawionych celów przedstawiono w treści niniejszej pracy.

2. Identyfikacja obszarów i elementów infrastruktury budynkowej charakteryzujących się znaczącym potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej

Budynki to obiekty będące obecnie jednym z największych konsumentów różnych rodzajów energii, pochodzących z różnorodnych źródeł [19]–[21]. Dlatego też w ostatnich latach podejmowane są liczne działania ukierunkowane na zmniejszenie ich energochłonności, przy zachowaniu pełnej funkcjonalności i komfortu użytkownika. Poziom energochłonności budynków zależy od bardzo wielu czynników, stąd konieczność ich identyfikacji oraz klasyfikacji.

2.1. Definicja efektywności energetycznej - przegląd dyrektyw i norm branżowych

Zgodnie z encyklopedią techniki WNT energia jest wielkością fizyczną charakteryzującą stan układu fizycznego (materii) jako jego zdolność do wykonania pracy lub spowodowania przepływu ciepła [22]. Energia występuje w różnych postaciach np. cieplna, mechaniczna, elektryczna, jądrowa. Dzięki postępowi nauki i technologii opanowano wiele sposobów wytwarzania, dystrybuowania i wykorzystywania energii. W obecnych czasach na świecie zużywa się na co dzień różne formy energii w ogromnych ilościach. To między innymi ciągły wzrost zapotrzebowania na energię w wielu gałęziach gospodarki, takich jak przemysł, budownictwo, transport, jak również problemy z tym faktem związane w aspektach ekologicznym i ekonomicznym, stały się przyczyną podjęcia działań ukierunkowanych na bardziej efektywne wykorzystanie energii. Koncepcja ta zakłada lepsze wykorzystanie zasobów energetycznych, poprzez zwiększenie efektywności zamiast zwiększenia ilości produkcji energii, jednocześnie przywiązując dużą uwagę zminimalizowaniu niepotrzebnych strat energii lub/i nieuzasadnionego jej trwonienia. Idea taka ma na celu rozwiązanie problemów związanych z ochroną środowiska (zanieczyszczenia, globalne ocieplenie), bezpieczeństwem energetycznym (importowania paliw i energii), wyczerpaniem paliw kopalnych. Należy podkreślić, że zmniejszenie zużycia energii jest jednym z podstawowych celów realizowanych na całym świecie, gdzie podjęto liczne procedury legislacyjne, mające za zadanie zobligowanie podmiotów gospodarczych oraz osoby indywidualne do działania na rzecz poprawy efektywności energetycznej obiektów przemysłowych, środków transportowych, budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej, ale także urządzeń technicznych oraz sprzętu AGD i RTV. Ze względu na usytuowanie geopolityczne Polski, państwa członkowskiego Unii Europejskiej (UE), szczególnie interesujące i wiążące są dla Polaków Dyrektywy i Zarządzenia podejmowane w tym zakresie tematycznym przez Parlament Europejski i Radę Europy. Stanowią one podstawę do obowiązujących w kraju Ustaw i Rozporządzeń.

Podstawowym aktem dotyczącym tematyki efektywności energetycznej jest dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG. Opracowując wspomnianą dyrektywę zwrócono uwagę na

potrzebę poprawy efektywności wykorzystania energii przez użytkowników końcowych, zarządzanie popytem na energię i wspieranie produkcji energii z OZE, zabezpieczenie niezawodności dostaw energii, zmniejszenia zużycia energii pierwotnej oraz zmniejszenia emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych, a w konsekwencji do zapobiegania niebezpiecznym zmianom klimatycznym.

W dyrektywie tej zawarto definicję efektywności energetycznej, zgodnie z którą przez efektywność energetyczną należy rozumieć stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii. Dodatkowo dyrektywa definiuje poprawę efektywności energetycznej rozumianą jako zwiększenie efektywności końcowego wykorzystania energii, dzięki zmianom technologicznym, gospodarczym lub zmianom zachowań oraz mechanizmy i programy poprawy efektywności energetycznej. Tym samym, poprawa efektywności może być wyrażona jako: uzyskanie niezmiętej wartości wyjściowej, przy obniżonym poziomie zużycia energii, uzyskanie wzrostu wartości produkcji wyjściowej przy niezmiętnym zużyciu energii, uzyskanie takiej wartości wyjściowej, która w kategoriach względnych, przewyższa wzrost zużycia energii. W dyrektywie oprócz niezbędnych definicji, zawarto jej cele, w tym dotyczące zakresu oszczędności energii oraz określono obszary wspierania efektywności końcowego wykorzystania energii oraz usług energetycznych. Obszary te dotyczą:

- dystrybutorów energii, operatorów systemu dystrybucji i przedsiębiorstw prowadzących detaliczną sprzedaż energii,
- dostępu do informacji o mechanizmach służących efektywności energetycznej i promujących efektywność końcowego wykorzystania energii,
- dostępu do systemów kwalifikacji, akredytacji i certyfikacji, instrumentów finansowych dotyczących oszczędności energii, taryf służących efektywności energetycznej i innych przepisów wykonawczych dotyczących energii sieciowej, funduszy i mechanizmów finansowania,
- audytu energetycznego oraz pomiarów przy pomocy liczników oraz przejrzystość informacji w rachunkach zużycia energii.

Dyrektywę należy odnieść do wielu sektorów takich jak transport, przemysł czy też budownictwo (wielorodzinne, użyteczności publicznej). Efektywność energetyczną można określić zatem jako ideę lub też literalnie jako pojęcie, pod którym należy rozumieć obniżenie zużycia energii pierwotnej, realizowane na etapie wytwarzania, przetwarzania, przesyłu, dystrybucji lub zużycia końcowego, spowodowane postępowaniem technologicznym, zmianami zachowania lub zmianami ekonomicznymi, zapewniające taki sam (lub wyższy) poziom komfortu lub usług. W odniesieniu do budynku definicją efektywności energetycznej wynikającą z dyrektywy jest obniżenie zużycia energii (elektrycznej, ciepłej, gazu) pobieranej przez użytkowników budynku spowodowane postępowaniem technologicznym, zmianami zachowania, sposobem użytkowania lub zmianami ekonomicznymi zapewniające taki sam lub wyższy poziom komfortu korzystania z obiektu.

Wspomniana dyrektywa 2006/32/WE nałożyła obowiązek podjęcia działań ukierunkowanych na jej wdrożenie przez państwa członkowskie UE. W rezultacie dnia 15 kwietnia 2011 r. Sejm RP wydał ustawę (Dz. U. nr 94, poz. 551 z późn.zm) o efektywności energetycznej, która zapewnia pełne wdrożenie dyrektyw europejskich w zakresie efektywności energetycznej. Zgodnie z treścią wspomnianej ustawy określenie efektywność energetyczna oznacza stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji,

w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu. Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15 kwietnia 2011 r., określa cel w zakresie oszczędności energii, z uwzględnieniem wiodącej roli sektora publicznego, ustanawia mechanizmy wspierające oraz system monitorowania i gromadzenia niezbędnych danych.

W Polsce zauważono duży potencjał oszczędności energii w sektorze budownictwa, wynika to z faktu, że sektor ten odpowiada za ok. 40% końcowego zużycia energii w Unii Europejskiej. Do kluczowych programów poprawy efektywności energetycznej, wdrożonych w Polsce, należy zaliczyć termomodernizację budynków. Dostępne są również inne programy ukierunkowane na poprawę zarządzania energią w budynkach użyteczności publicznej oraz inwestycje w energooszczędne domy. W zakresie efektywności energetycznej budynków wprowadzono dwie Dyrektywy: 2002/91/WE oraz 2010/31/UE. Są to tzw. Dyrektywy EPBD (ang. Energy Performance of Buildings Directive). Pierwotna wersja dyrektywy EPBD (2002/91/WE) miała na celu poprawę parametrów budynków za pomocą dwóch typów instrumentów:

- informacyjnych, tzn. dołączania do budynków informacji na temat ich parametrów energetycznych. Tego typu dane miały w założeniu spowodować zwiększenie zainteresowania konsumentów budynkami zużywającymi mniejsze, w porównaniu z innymi, ilości energii, co w bezpośredni sposób przekłada się na koszty eksploatacji,
- regulacyjnych – ustanawiających minimalne wymagania pod względem efektywności energetycznej dla budynków, które mogą być osiągnięte przy zachowaniu opłacalności ekonomicznej budowy.

W tej dyrektywie po raz pierwszy wprowadza się pojęcie świadectwa energetycznego budynków, które stało się podstawą do tworzenia krajowych ustaw i rozporządzeń w tym zakresie.

W roku 2010 znowelizowano tekst dyrektywy EPBD, tworząc nowy dokument – dyrektywę 2010/31/UE, przede wszystkim w celu ustanowienia skuteczniejszych działań, zmierzających do wykorzystania niezrealizowanego potencjału oszczędności energii w budynkach, lepszego dostosowania zabiegów poprawiających efektywność energetyczną do lokalnych warunków klimatycznych i zapewnienia ich opłacalności ekonomicznej. Dyrektywa 2010/31/UE określa, że budynki powinny spełniać dostosowane do lokalnego klimatu wymagania charakterystyki energetycznej. Działania w zakresie poprawy efektywności energetycznej powinny być wdrażane już na etapie projektowania zarówno izolacji termicznej, jak i infrastruktury budynkowej: instalacji grzewczych, wodnych (ciepła woda użytkowa), elektrycznych, klimatyzacyjnych i wentylacyjnych. Rekomenduje się również wykorzystywanie systemów wytwarzania energii z OZE, systemów kogeneracji, itp. Warto zaznaczyć, że wszelkie zmiany zawarte w dyrektywie dotyczą charakterystyki energetycznej budynków zarówno nowo wybudowanych, jak i już istniejących: sprzedawanych, wynajmowanych lub podlegających poważniejszej renowacji (gdy całkowity koszt prac renowacyjnych przekracza 25 % wartości budynku lub modernizacji podlega ponad 25 % powierzchni przegród zewnętrznych). W przypadku wznoszenia nowych budynków oraz dokonywania usprawnień we wzniesionych już obiektach, konieczne jest dążenie do zwiększenia liczby obiektów budowlanych, które nie tylko spełniają minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej, ale są jednocześnie jeszcze bardziej efektywne energetycznie oraz przyczyniają się do ogólnoeuropejskiego ograniczenia emisji CO₂.

W zamyśle autorów dyrektywy EPBD świadectwa energetyczne budynków mają do spełnienia dwie zasadnicze role. Pierwszą z nich jest informacja o energochłonności obiektów budowlanych, która ma być związana z przebadanym budynkiem i stanowić będzie element kompleksowej informacji o nim. Chodzi tu w szczególności o to by np. w momencie wystawienia budynku na sprzedaż lub wynajem, koniecznym było podanie wartości jego wskaźnika charakterystyki energetycznej, udokumentowanego stosownym certyfikatem. Taki zapis dyrektywy (artykuł 12, ustęp 4) jednoznacznie wskazuje na istotną rolę efektywności energetycznej budynku w procesie jego eksploatacji, a w przyszłości prawdopodobnie i wpływu na cenę nieruchomości. Druga istotna rola świadectw energetycznych, to służba zwiększeniu świadomości obywateli na temat efektywności energetycznej budynków i ich klasyfikacji. W dyrektywie zamieszczono zapis o wymogu publicznego rozpowszechnienia informacji dotyczącej charakterystyki energetycznej budynku i umieszczenie świadectwa w miejscu wyraźnie widocznym. Dotyczy to w szczególności obiektów użyteczności publicznej, gdyż jak sama nazwa wskazuje, są często odwiedzane przez obywateli i właśnie z tego względu powinny dawać dobry przykład społeczeństwu, pełniąc też rolę edukacyjną.

Wspomniane dyrektywy, ustawy i rozporządzenia stały się podstawą do opracowania lub zmodyfikowania odpowiednich norm branżowych. Spełnienie podstawowych założeń dotyczących efektywności energetycznej budynku związane jest z następującą grupą norm: właściwości energetyczne budynku, właściwości energetyczne ogrzewania i gorącej wody użytkowej, wentylacja i klimatyzacja, właściwości energetyczne oświetlenia, normy dotyczące wyrobów i systemów sterowania i automatyzacji budynków. Jednym z dokumentów odnoszących się do wspomnianych obszarów jest norma PN-EN 15232 pt. „Energetyczne właściwości budynku - Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzanie budynkami”. Powstała ona na zlecenie przekazane przez Komisję Europejską i spełnia podstawowe wymagania dyrektywy UE nr 2002/91/WE dotyczącej właściwości energetycznych budynków (EPBD). Stanowi część serii norm mających na celu osiągnięcie harmonizacji metodologii obliczania właściwości energetycznych budynków.

Pojęcie efektywności energetycznej, jako idea mająca na celu zmniejszenie zużycia energii przez wykorzystanie odpowiednich technologii, zostało również zaadoptowane przez wiele światowych firm będącymi liderami na ogólnie pojętym rynku budownictwa. Dla przykładu, w dziedzinie systemów sterowania i automatyzacji budynków możliwe jest wskazanie technologii automatyki wynikających z zapisów normy PN-EN 15232 lub też działań edukacyjnych polegających na organizacji cykli szkoleń i seminariów dla różnych grup odbiorców (projektanci, zarządcy i administratorzy lub użytkownicy budynków) poświęconych tematyce efektywności energetycznej i jej poprawy z wykorzystaniem dedykowanej do tego celu grupy produktów.

Dnia 25 października 2012 r. Unia Europejska przyjęła dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE. Nowa dyrektywa, poprzez ustanowienie wspólnej struktury ramowej w celu obniżenia o 20% zużycia energii pierwotnej w UE, stanowi istotny czynnik wpływający na powodzenie realizacji unijnej strategii energetycznej na rok 2020. Dokument wskazuje środki, pozwalające zrealizować odpowiednie warunki do poprawy efektywności energetycznej również po tym terminie. Ponadto dyrektywa określa zasady, na jakich powinien funkcjonować rynek energii tak, aby wyeliminować m.in.

wszelkie nieprawidłowości ograniczające efektywność dostaw. Akt prawny przewiduje także ustanowienie krajowych celów w zakresie efektywności energetycznej na rok 2020.

Główne postanowienia nowej dyrektywy nakładają na państwa członkowskie następujące obowiązki:

- ustalenia orientacyjnej krajowej wartości docelowej w zakresie efektywności energetycznej w oparciu o swoje zużycie energii pierwotnej lub końcowej, oszczędność energii pierwotnej lub końcowej albo energochłonność;
- ustanowienia długoterminowej strategii wspierania inwestycji w renowację krajowych zasobów budynków mieszkaniowych i użytkowych zarówno publicznych, jak i prywatnych;
- zapewnienia poddawania renowacji, od dnia 1 stycznia 2014 r., 3 % całkowitej powierzchni ogrzewanych lub chłodzonych budynków administracji rządowej w celu spełnienia wymogów odpowiadających przynajmniej minimalnym standardom wyznaczonym dla nowych budynków, zgodnie z założeniem, że budynki administracji publicznej mają stanowić wzorzec dla pozostałych;
- ustanowienia systemu zobowiązującego do efektywności energetycznej, nakładającego na dystrybutorów energii i/lub przedsiębiorstwa prowadzące detaliczną sprzedaż energii obowiązek osiągnięcia łącznego celu oszczędności energii równego 1,5 % wielkości ich rocznej sprzedaży energii do odbiorców końcowych;
- opracowanie warunków umożliwiających wszystkim końcowym odbiorcom energii dostęp do audytów energetycznych wysokiej jakości oraz do nabycia po konkurencyjnych cenach liczników oddających rzeczywiste zużycie energii wraz z informacją o realnym czasie korzystania z energii.

Zgodnie z treścią nowego aktu, do kwietnia 2013 r., każde państwo członkowskie było zobowiązane do określenia krajowego celu w zakresie osiągnięcia efektywności energetycznej do roku 2020, który następnie zostanie poddany ocenie przez Komisję Europejską. W przypadku, gdy będzie on określony na poziomie niewystarczającym do realizacji unijnego celu roku 2020, Komisja może wezwać państwo członkowskie do ponownej oceny planu. Do 30 czerwca 2014 r. Komisja jest zobowiązana do dokonania przeglądu i oceny stopnia realizacji procesu. W przypadku, gdy środki określone w dyrektywie będą niewystarczające do osiągnięcia celów założonych na rok 2020, Komisja może zaproponować dodatkowe akty prawne. Państwa członkowskie zobowiązane są do wdrożenia dyrektywy ws. efektywności energetycznej w terminie do 5 czerwca 2014 r. Jednak definicja efektywności energetycznej nie uległa zmianie.

Zawarte w Dyrektywie 2010/31/UE regulacje mają na celu doprowadzenie do znaczącego ograniczenia zużycia energii oraz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, związanego ze wznoszeniem oraz użytkowaniem budynków, między innymi poprzez doprowadzenie do tego, aby w do dnia 30 grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki charakteryzowały się niemal zerowym zużyciem energii (do 30 grudnia 2018 r. w przypadku budynków zajmowanych lub posiadanych przez władze publiczne). Zgodnie z postanowieniami dyrektywy, minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej budynków będą obowiązywały zarówno w odniesieniu do nowo powstających budynków, jak i tych, które będą podlegały istotnej renowacji, a także systemów technicznych instalowanych w budynkach, wymienianych lub modernizowanych. Określone wytyczne determinują zakres krajowych planów mających na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Należy jednak pamiętać,

że państwa członkowskie mogą podjąć decyzję o niestosowaniu wymagań budowy budynków zeroenergetycznych (ZEB) w konkretnych i usprawiedliwionych przypadkach, jeżeli wynik analizy kosztów i korzyści ekonomicznego cyklu życia danego budynku jest negatywny. Oznacza to możliwość ustalenia innych standardów energetycznych budynków, jeżeli ma to uzasadnienie ekonomiczne. W dyrektywie EPBD szczególną uwagę poświęcono świadectwom energetycznym, które są dokumentami opisującymi charakterystykę energetyczną budynków. Zgodnie z podaną w dyrektywie definicją „charakterystyka energetyczna budynku” oznacza obliczoną lub zmierzoną ilość energii potrzebnej do zaspokojenia zapotrzebowania na energię związanego z typowym użytkowaniem budynku, która obejmuje m.in. energię na potrzeby ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody i oświetlenia. Zarówno z przytoczonej definicji, jak i innych zapisów dyrektywy EPBD wynika, że czynnikami najbardziej wpływającymi na energochłonność budynków są: systemy ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, dostaw ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenie elektryczne.

Z kolei w dyrektywie 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej, pojawia się krótka i enigmatyczna definicja pojęcia efektywności energetycznej. Jej ogólność umożliwia zastosowanie jej również w odniesieniu do budynków. W zapisach dyrektywy podkreślono, że największe znaczenie w poprawie efektywności energetycznej ma przede wszystkim ograniczenie zużycia energii cieplnej oraz w drugiej kolejności – elektrycznej. Jak stwierdza się w dyrektywie, poprawa efektywności energetycznej oznacza zwiększenie efektywności energetycznej w wyniku zmian technologicznych, zachowań lub ekonomicznych. Ostatecznie, po przeanalizowaniu zapisów Dyrektyw, przyjęto na potrzeby niniejszej pracy następujące definicje związane z efektywnością energetyczną budynków:

1. Definicję efektywności energetycznej według dyrektywy 2012/27/UE (wcześniej 2006/32/WE) w brzmieniu: „Efektywność energetyczna to stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii”.
2. Definicję poprawy efektywności energetycznej budynku, według której jest to proces zmierzający do obniżenia zużycia energii pierwotnej na etapie wytwarzania, przetwarzania, przesyłu, dystrybucji lub zużycia końcowego, spowodowanego postępującym technologicznym, zmianami zachowania lub zmianami ekonomicznymi, zapewniającego co najmniej taki sam (lub wyższy) poziom komfortu lub usług.

W dyrektywie 2012/27/UE zapisano również zasady według których należy organizować instalacje systemów opomiarowania energii i mediów dostarczanych do budynków. Zwraca się tu uwagę między innymi na możliwość zastosowania inteligentnych liczników. Systemy opomiarowania są integralną częścią systemów zarządzania energią, które wymagają zidentyfikowania danych operacyjnych dotyczących zużycia energii oraz pozwalają na szczegółowy przegląd profilu zużycia energii w budynkach lub zespołach budynków, operacjach lub instalacjach przemysłowych [23].

2.2. Identyfikacja parametrów budynków i instalacji wpływających na efektywność energetyczną

W celu podjęcia starań umożliwiających identyfikację i klasyfikację czynników wpływających na poziom energochłonności budynków i ich instalacji, konieczne jest wykorzystanie istniejących już przepisów i norm w tym zakresie, definiujących pojęcia i wyznaczających ramy

działań dotyczących oceny i poprawy efektywności energetycznej budynków.

Na podstawie analizy zapisów dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady, norm i poradników branżowych oraz własnych doświadczeń i wyników z prowadzonych badań instalacji automatyki budynkowej, ukierunkowanych na ich wykorzystanie w poprawie efektywności energetycznej, zebrano informacje o czynnikach mających wpływ na efektywność energetyczną budynku. Czynniki te zostały podzielone na trzy zasadnicze grupy:

1. czynniki związane z konstrukcją budynku,
2. czynniki związane z infrastrukturą energetyczną budynku,
3. czynniki związane z infrastrukturą sterującą i monitorującą.

Czynniki związane z konstrukcją budynku są:

- rozwiązania przestrzenne w budynku mające na celu zmniejszenie strat ciepła. Najkorzystniejsze są tu konstrukcje o zwartej bryle, tj. charakteryzujące się minimalną powierzchnią zewnętrzną w stosunku do kubatury;
- parametry izolacyjne ścian zewnętrznych i wewnętrznych dzielących pomieszczenia o różnej temperaturze;
- pojemność cieplna budynku;
- mostki cieplne – między pomieszczeniami oraz między wnętrzem i otoczeniem zewnętrznym budynku;
- wykorzystane materiały budowlane i ich przenikalność cieplna;
- odpowiedni rodzaj, rozmieszczenie i wielkość okien. Projektując budynek powinno dążyć się do minimalizacji liczby okien od strony północnej. W budynkach energooszczędnych i pasywnych należy stosować okna o współczynniku przenikania ciepła $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2$ niezależnie od orientacji elewacji budynku w stosunku do stron świata;
- lokalizacja i orientacja budynku. Jeśli to możliwe, należy wybierać odpowiednie usytuowanie budynku w terenie.

Czynniki związane z elementami infrastruktury energetycznej budynku są:

- sposób wykonania instalacji elektrycznej. Instalacja elektryczna powinna być podzielona na wiele, niezależnie sterowanych obwodów, co pozwala na selektywne załączanie tylko potrzebnych odbiorów oraz umożliwia pomiar zużycia energii przez poszczególne odbiory bądź grupy odbiorów;
- wbudowana instalacja oświetleniowa, wraz z rodzajem zastosowanych źródeł światła;
- sposób wykonania instalacji grzewczej (jeśli jest). Instalacja grzewcza powinna mieć prawidłowo umieszczone wymienniki ciepła dla zapewnienia właściwej cyrkulacji powietrza w pomieszczeniu oraz być wyposażona w sterowane zawory regulacyjne, z możliwością podłączenia do systemów automatyki budynkowej dla poszczególnych wymienników i ewentualnie obwodów;
- sposób wykonania instalacji klimatyzacji pomieszczeń (jeśli jest). Instalacja powinna być wyposażona w zawory lub przepustnice, pozwalające na indywidualne sterowanie ilością i temperaturą nawiewanego powietrza, z możliwością podłączenia systemów automatyki budynku;
- izolacje termiczne kanałów infrastruktury systemu ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji włącznie z charakterystyką tych izolacji;
- naturalna i mechaniczna wentylacja, która może obejmować szczelność powietrzną;
- pasywne systemy słoneczne i ochrony przed słońcem;

- lokalne warunki nasłonecznienia oraz aktywne systemy słoneczne;
- inne systemy grzewcze i elektryczne oparte na energii ze źródeł odnawialnych;
- warunki klimatu wnętrza, włącznie z projektowanym klimatem wnętrza.

Czynniki związane z infrastrukturą sterującą i monitorowania, wpływające na efektywność energetyczną i możliwość jej poprawy:

- zastosowanie indywidualnych mierników (liczników) zużycia poszczególnych mediów energetycznych. Możliwość pomiaru zużycia energii w poszczególnych pomieszczeniach pozwala porównywać zużycie w różnych miejscach budynku, analizować przyczyny różnic oraz stosować indywidualne dla pomieszczeń strategie oszczędzania. Poza tym, znajomość rzeczywistego zużycia energii i/lub innych mediów daje możliwość świadomego nimi gospodarowania i motywuje do ich oszczędzania;
- zastosowanie czujników parametrów powietrza wewnątrz i na zewnątrz, dla zapewnienia sterowania ogrzewaniem i/lub klimatyzacją pod kątem redukcji zużycia energii, przy zachowaniu założonego poziomu komfortu w pomieszczeniach i całym budynku;
- wykorzystanie algorytmów sterowania zaimplementowanych w sterownikach instalacji;
- wyposażenie budynku w jednolitą sieć sterującą, pozwalającą zintegrować ze sobą instalacje: elektryczną, grzewczą i klimatyzacji. Zintegrowane sterowanie wszystkimi systemami budynku, pozwala na bardziej efektywne gospodarowanie mediami energetycznymi.

2.3. Identyfikacja elementów infrastruktury energetycznej budynku wpływających na efektywność energetyczną

Jak wspomniano w poprzednim podrozdziale, głównymi czynnikami oddziałującymi na efektywność energetyczną budynków, a związanymi z elementami ich infrastruktury energetycznej, są:

- sposób wykonania instalacji elektrycznej,
- rodzaj zastosowanych źródeł światła,
- sposób wykonania instalacji ogrzewania (jeśli jest),
- sposób wykonania instalacji klimatyzacji i wentylacji pomieszczeń (jeśli jest).

2.3.1. Instalacja elektryczna

Na efektywność energetyczną budynku istotny wpływ na sposób wykonania instalacji elektrycznej budynku. Przez instalację elektryczną należy rozumieć zespół urządzeń elektrycznych o skoordynowanych parametrach technicznych, o napięciu znamionowym do 1000 V prądu przemiennego, przeznaczone do doprowadzenia energii elektrycznej o odpowiedniej jakości z sieci rozdzielczej od przyłącza w rozdzielni (rozdzielniczy) głównej do odbiorników.

W celu poprawy efektywności energetycznej budynku, instalacja elektryczna musi zapewnić możliwość sterowania pracą poszczególnych odbiorów lub grup odbiorów oraz umożliwić pomiar zużycia energii elektrycznej w różnych miejscach instalacji.

W skład instalacji elektrycznej obiektów budowlanych wchodzi:

- przyłącze(a),
- rozdzielnia główna,
- rozdzielnie (rozdzielnice) obszarowe (np. piętrowe),
- rozdzielnice pomieszczeniowe,
- przewody,
- elektrotechniczny osprzęt instalacyjny,
- zabezpieczenia,
- urządzenia pomiarowe, sterowania i automatyki.

Ilość rozdzielni obszarowych i pomieszczeniowych jest zależna od wielkości budynku. W małych budynkach może nie być potrzeby budowy rozdzielnic obszarowych i/lub pomieszczeniowych.

W mieszkaniach najczęściej wystarczająca jest jedna rozdzielnica, w której znajdują się zabezpieczenia poszczególnych obwodów instalacji.

W domach jednorodzinnych dobrą praktyką jest budowa rozdzielnic głównej, z której zasilane są rozdzielnice piętrowe zasilające obwody instalacji na danych piętrach.

Budowa instalacji elektrycznej bazująca na rozdzielniach (rozdzielnicach) dla poszczególnych poziomów, wymusza podział instalacji na wiele obwodów. Daje to dużą elastyczność w ich konfigurowaniu poprzez odpowiednie połączenia w rozdzielnicach i pozwala na niezależne sterowanie tymi obwodami.

Na efektywność energetyczną w fazie eksploatacji duży wpływ ma znajomość zużycia energii w poszczególnych obwodach. Zwiększa on świadomość rzeczywistego zużycia i ułatwia eksploatację urządzeń w sposób bardziej racjonalny. W związku z tym, oprócz licznika energii elektrycznej do celów rozliczeniowych z dostawcą, w poszczególnych rozdzielnicach powinny być zainstalowane dodatkowe (pomocnicze) liczniki energii, umożliwiające pomiar zużycia przez grupy odbiorników i/lub pojedyncze odbiory.

Ilość i miejsce instalacji pomocniczych liczników energii dla celów wsparcia efektywnego gospodarowania zużyciem i sterowania zużyciem nie jest sprecyzowana przepisami. Dla tych celów można przyjąć, że:

- każdy odbiór o większej mocy znamionowej związany z instalacjami technologicznymi budynku (np. klimatyzatory lokalne, podgrzewacze wody, dmuchawy, agregaty wody lodowej w stacjach klimatyzacyjnych, pompy w instalacjach ogrzewania i instalacja ciepłej wody użytkowej itp) powinien mieć oddzielny licznik energii;
- oddzielne liczniki powinny być instalowane dla obwodów oświetlenia i dla gniazd wtykowych. W przypadku gniazd można zainstalować oddzielne liczniki dla gniazd zasilających infrastrukturę IT i gniazd ogólnego przeznaczenia;
- w budynkach, w których pomieszczenia są wynajmowane, każdy najemca powinien mieć oddzielne licznik energii (nie tylko do celów rozliczeniowych). Jeśli to możliwe wskazana jest instalacja kilku liczników dla poszczególnych obwodów (poprzedni punkt).

Liczniki energii pomocnicze, wykorzystywane do sterowania i monitorowania zużycia energii, nie muszą mieć takich klas dokładności, jakie są wymagane dla celów rozliczeniowych. Ważne jest, aby spełniały one następujące wymagania funkcjonalne:

- wskazane jest, aby liczniki do monitorowania odbiorników o większej mocy miały możliwość pomiaru zużycia energii biernej, współczynnika mocy, prądu obciążenia;
- liczniki powinny być wyposażone w standardowy interfejs komunikacyjny: MBus,

Modbus, LON albo KNX, aby możliwy był zdalny odczyt dla bieżącego monitoringu i w celu archiwizacji [23].

2.3.2. Instalacja oświetlenia

W typowym budynku oświetlenie pochłania przeciętnie 30 do 40% energii elektrycznej zużywanej w budynku [3]. Z tego powodu bardzo istotne jest instalowanie energooszczędnych systemów oświetlenia. Energooszczędność ta może być osiągnięta dzięki:

- instalacji źródeł światła o wysokiej sprawności (wydajności), które generują wymagany strumień światła przy (relatywnie) małej mocy pobieranej z sieci energetycznej;
- sterowaniu pojedynczymi źródłami światła lub grupami źródeł, aby w danej chwili oświetlane były tylko używane pomieszczenia budynku i przestrzenie, których oświetlenie jest wymagane z powodów bezpieczeństwa.

Energooszczędne oświetlenie budynku pośrednio obniża także koszty eksploatacji systemu wentylacji i klimatyzacji, ze względu na mniejsze ilości ciepła wytwarzanego przez źródła światła, jak również możliwość koordynacji funkcji sterowania oświetleniem dziennym, sztucznym oraz ogrzewania i wentylacji pomieszczeń.

Do oświetlania wnętrz budynków są wykorzystywane następujące źródła światła:

- żarowe źródła światła – żarówki standardowe lub halogenowe,
- niskoprężne lampy wyładowcze rtęciowe – świetlówki liniowe i kompaktowe,
- wysokoprężne lampy wyładowcze – sodowe i metalohalogenkowe,
- lampy bazujące na diodach elektroluminescencyjnych LED.

Przy przeprojektowaniu oświetlenia celem nadrzędnym jest zapewnienie wymaganego natężenia oświetlenia, przy najmniejszym możliwym zużyciu energii oraz przy zachowaniu wymaganych własności świetlnych źródeł światła (temperatura barwowa, współczynnik oddawania barw) i eksploatacyjnych (trwałość, liczba załączeń).

W tabeli nr 2.1 zostały zebrane podstawowe parametry charakteryzujące różne źródła światła.

Tabela 2.1. Typowe parametry źródeł światła

Rodzaj źródła światła	Sprawność [lm/W]	Temperatura barwowa [K]	Współczynnik oddawania barw [-]
Żarówka standardowa	9 – 14	2700 – 3000	ok. 90
Żarówka halogenowa	11 - 18	2700 – 3200	95 – 100
Świetlówka liniowa	70 – 95	2700 – 6500	80 – 90
Świetlówka kompaktowa	50 – 75	2500 – 4200	80 – 85
Lampa sodowa	95 – 140	3000 – 4000	25 – 60
Lampa metalohalogenkowa	85 - 105	3200 – 5600	85 – 95
Lampy diodowe LED	80 – 100	2700 – 6500	60 – 80

Najwyższą sprawność mają wysokoprężne lampy wyładowcze i lampy diodowe LED. Z tej grupy lampy sodowe mają bardzo niekorzystne widmo promieniowania, czego skutkiem jest niska wartość współczynnika oddawania barw. Dlatego ich stosowanie jest ograniczone do oświetlania hal przemysłowych i przestrzeni zewnętrznych, gdzie wierność oddawania kolorów

ma drugorzędne znaczenie. Lampy metalohalogenkowe mają bardzo dobre własności świetlne i są szeroko stosowane do iluminacji elementów lub obiektów, kiedy wierność oddawania barw ma duże znaczenie. Są one jednak niewygodne do normalnego oświetlenia pomieszczeń, ze względu na konieczność stosowania balastu z zapłonnikami i długi czas stygnięcia niezbędny do ponownego załączenia. Lampy diodowe LED, dzięki postępowi technologicznemu, osiągają coraz lepsze parametry świetlne (szczególnie poprawie ulega widmo promieniowania odpowiedzialne za wierność oddawania barw) i są coraz powszechniej stosowane do oświetlenia pomieszczeń i przestrzeni zewnętrznych.

Świetlówki liniowe i kompaktowe, mimo gorszych własności świetlnych od lamp metalohalogenkowych i diodowych, są obecnie najczęściej stosowane do oświetlenia wnętrz budynków. Powodem tego jest bardzo szeroki asortyment tych źródeł dostępny na rynku, relatywnie niska cena oraz prostota instalacji.

Podsumowując, poszczególne źródła są preferowane w następujących obszarach zastosowań:

- żarówki standardowe – niestosowane w nowych instalacjach ze względu na niską sprawność;
- żarówki halogenowe – oświetlenie punktowe i projekcyjne; obecnie zastępowane lampami diodowymi LED;
- świetlówki liniowe – oświetlenie pomieszczeń biurowych, korytarzy itp.; szeroko stosowane w budownictwie biurowym i użyteczności publicznej;
- świetlówki kompaktowe – szeroko stosowane w budownictwie mieszkaniowym, do oświetlenia pomieszczeń biurowych, korytarzy, oświetlenie punktowe (przy zastosowaniu odpowiednich opraw);
- lampy sodowe – stosowane jedynie do oświetlenia hal przemysłowych. Nie są stosowane w budownictwie mieszkaniowym i użyteczności publicznej;
- lampy metalohalogenkowe – oświetlenie iluminacyjne i punktowe (wystawy i ekspozycje);
- lampy diodowe – ze względu na szybki rozwój technologii produkcji diod LED gwarantujący coraz lepsze parametry energetyczne i świetlne są stosowane coraz powszechniej we wszystkich obszarach zastosowań.

2.3.3. Instalacja ogrzewania i chłodzenia

Na parametry cieplne budynków i związaną z tym efektywność energetyczną, największy wpływ ma jakość izolacji cieplnej ścian, stropów, okien i drzwi. Te własności są osiągnane dzięki doborowi odpowiednich materiałów i technologii budowy w fazie projektu i wykonania budynku. Ze strat ciepła w budynku wynika konieczna moc urządzeń grzewczych, jakie muszą być zainstalowane w budynku.

Przy danej mocy urządzeń grzewczych, wzrost efektywności energetycznej można uzyskać dzięki instalacji, która powinna:

- mieć odpowiednio dobrane grzejniki do wielkości (kubatury) pomieszczenia. Przewymiarowanie grzejników powoduje zwiększenie zużycia energii do ogrzewania, gdyż sprawność grzejników jest największa przy obciążeniu znamionowym;
- mieć prawidłowo umieszczone wymienniki ciepła dla zapewnienia właściwej cyrkulacji powietrza w pomieszczeniu;
- być wyposażona w sterowane zawory regulacyjne z możliwością podłączenia do systemów

- automatyki budynkowej dla poszczególnych wymienników i ewentualnie obwodów;
- być wyposażona w liczniki energii cieplnej w różnych obwodach instalacji ogrzewania, ponieważ znajomość rzeczywistego zużycia pozwala na podjęcie działań oszczędnościowych.

2.3.4. Instalacja wentylacji i klimatyzacji

Sposób zaprojektowania, wykonania i eksploatacji instalacji wentylacji i klimatyzacji ma bardzo duży wpływ energochłonność budynku. W okresie letnim, gdy zachodzi konieczność schładzania pomieszczeń, urządzenia klimatyzacyjne są jednymi z najbardziej energochłonnych odbiorów energii elektrycznej w budynku. Podobnie jak w przypadku instalacji grzewczej, moc agregatu(ów) centrali klimatyzacyjnej do wentylacji i klimatyzacji zależy od konstrukcji budynku i jego orientacji względem kierunku padania promieni słonecznych. Przy danej mocy agregatów centrali klimatyzacyjnej, zwiększenie efektywności energetycznej budynku można uzyskać dzięki instalacji nawiewu, która powinna być wyposażona:

- w zawory lub przepustnice, pozwalające na indywidualne sterowanie ilością nawiewanego powietrza zależną od temperatury i jakości powietrza w pomieszczeniu. Możliwości regulacji temperatury są na ogół ograniczone przez stałą temperaturę produkowanego przez centralę klimatyzacyjną;
- w zawory regulacyjne i przepustnice, obsługiwane przez sterowniki, z możliwością podłączenia do systemu automatyki budynku;
- w odpowiednie czujniki temperatury, ciśnienia itp., zintegrowane z układami sterowania i monitoringu.

2.4. Identyfikacja elementów infrastruktury sterującej i monitorującej budynku wpływających na efektywność energetyczną

Na efektywność energetyczną budynku wpływ ma wiele czynników. Można wśród nich wyróżnić także grupę związaną z infrastrukturą sterującą i monitorującą.

Zgodnie z założeniami przedstawionymi w serii norm PN-EN ISO 16484, elementy infrastruktury sterującej i monitorującej w ramach systemów BACS powinny spełniać odpowiednie wymagania dotyczące sprzętu oraz ogólnej funkcjonalności i usług inżynierskich do realizacji systemu automatyzacji i sterowania budynku.

W ramach BACS wyróżnia się głównie następujące składniki:

1. sprzęt:
 - urządzenia obiektowe,
 - urządzenia sterujące,
 - okablowanie,
 - komunikacja systemowa,
 - urządzenia zarządzające (obliczeniowe);
2. oprogramowanie do realizacji funkcji,
3. usługi (uzyskiwane w ramach prac inżynierskich).

Do urządzeń obiektowych BACS należy zaliczyć czujniki i urządzenia wykonawcze oraz inne urządzenia obiektowe (np. moduły sprzęgające, lokalne urządzenia zadające/sygnalizacyjne). Mogą być one połączone z interfejsami wejścia/wyjścia sterowników/stacji automatyzacji bezpośrednio lub poprzez urządzenia/sieci komunikacyjne. Czujniki, urządzenia wykonawcze i inne urządzenia obiektowe dostarczają niezbędnych informacji o warunkach, stanach i wartościach procesów w instalacji oraz o wyniku zaprogramowanych operacji. Urządzenia obiektowe obsługują następujące funkcje: (i) przełączanie, (ii) pozycjonowanie, (iii) monitorowanie stanu, (iv) zliczanie oraz (v) pomiary.

Urządzenia sterujące, stacje automatyzacji, jednostki przetwarzające i zewnętrzne urządzenia sterujące, wykorzystując specyficzne oprogramowanie aplikacji i parametrów, zapewniają pełną automatyczną możliwość realizacji takich zadań jak: (i) bezpośrednie sterowanie cyfrowe, (ii) optymalizacja zużycia energii oraz optymalizacja działania, (iii) monitoring działania instalacji, (iv) informacje o alarmie, błędzie, konserwacji i działaniach, (v) sterowanie automatyczne i ręczne (z wyłączeniem operacji lokalnego wymuszenia), (vi) dane do statystyk i analiz wartości lub stanów, (vii) wymiana informacji pomiędzy funkcjami przetwarzającymi z urządzeniami obiektowymi i funkcjami operatora a programami zarządzającymi. Wymienione operacje są realizowane poprzez funkcje przetwarzania, które mogą zostać podzielone na następujące grupy: (i) monitorowanie, (ii) uzależnienia, (iii) sterowanie w zamkniętej i otwartej pętli sterowania, (iv) obliczenia/ współzależne optymalizacje instalacji/systemu, (v) funkcje dla sterowania pomieszczeniem (np. indywidualne sterowanie strefowe, sterowanie oświetleniem, sterowanie zasłonami/żaluzjami). Dodatkowo należy wyróżnić funkcje wejścia-wyjścia, które zapewniają interfejs pomiędzy funkcjami przetwarzania a urządzeniami obiektowymi. Mogą one zostać podzielone na: (vi) funkcje fizycznych wejść i wyjść oraz (vii) funkcje współdzielonych wejść i wyjść, do komunikacji z obcymi produktami.

Parametry techniczne dla połączeń i okablowanie pomiędzy urządzeniami jest również jednym ze składników BACS. Okablowanie elektryczne i instalacje elektryczne powinny odpowiadać odpowiednim normom regionalnym. Wszystkie kable powinny być oznakowane w sposób zrozumiały i trwałe na obu końcach i powinny być powiązane z wykazem okablowania i schematami obwodów. Wyróżnić też można dwie grupy metod połączeń urządzeń: (i) metoda połączenia lub okablowania urządzeń obiektowych do sterowników oraz (ii) metoda połączenia lub okablowania innych urządzeń BACS.

Infrastruktura komunikacyjna np. nośniki transmisji danych, specyfikacja elektryczna interfejsów i protokołów komunikacyjnych, mogą różnić się zgodnie z wymaganą funkcjonalnością lub przyjętymi do jej realizacji technologiami. W ramach komunikacji systemowej istotnym elementem jest określenie topologii sieci właściwej danemu projektowi oraz długości segmentów sieci sterowania. Z reguły funkcje zarządzania wymagają wysokiej szybkości transmisji danych, szczególnie wtedy, gdy występuje przesyłanie dużych plików (np. pliki graficzne, dane archiwalne i pliki konfiguracyjne systemu). Natomiast funkcje automatyzacji i sterowania zwykle wymagają komunikacji typu punkt-punkt. Czujniki i urządzenia wykonawcze, które są połączone z siecią obiektową, mogą być zasilane w energię elektryczną poprzez sieć sterowania lub z innych źródeł energii.

Do urządzeń zarządzających należy zaliczyć sprzęt, który w ramach infrastruktury sterującej i monitorującej realizuje operacje przetwarzania danych (stacja serwera), przechowywania i archiwizowania danych, dostarczania systemowego interfejsu użytkownika (jednostka

wyświetlająca), wymiany informacji pomiędzy BACS i dedykowanymi systemami specjalnymi (jednostka interfejsu danych) oraz sygnalizacji i ogłaszania alarmów lub zdarzeń (urządzenia sygnalizacyjne optyczne i/lub akustyczne). Do funkcji zwykle wykonywanych przez urządzenia zarządzające należy zaliczyć: (i) komunikację z urządzeniami sieci sterowania i dołączonymi systemami obcymi, (ii) komunikację w celu wymiany danych ze specjalnymi dedykowanymi lub obcymi systemami (np. system alarmu przeciwpożarowego), aby zapewnić realizację funkcji operatorskich i funkcji zarządzania wewnątrz BACS, (iii) rejestrowanie i archiwizowanie danych historycznych oraz analizy statystyczne, (iv) wspomaganie decyzji (np. do zarządzania energią). Funkcje zarządzające zwykle są obsługiwane z użyciem urządzeń przetwarzających dane.

Wśród elementów infrastruktury sterującej i monitorującej należy wyróżnić funkcje operatorskie. Obejmują one: zarządzanie systemem, występującymi zdarzeniami oraz stanami wartości w systemie; ustawiania parametrów pracy oraz ręcznego sterowania włącz/wyłącz, lokalnych operacji pomieszczeniowych. Funkcje operatorskie są dostarczane przez systemowy interfejs użytkownika. Składają się z grafik, rysunków i animacji specyficznych dla danego projektu, informacji tekstowych oraz odpowiednio przypisanych punktów danych. Dane wejściowe z funkcji operatorskich są przetwarzane przez inne funkcje. Dane wyjściowe dla funkcji operatorskich są wysyłane na jednostki wyświetlające, drukarki optyczne i akustyczne urządzenia sygnalizacyjne lub są dostarczane do innych funkcji wewnątrz BACS w celu dalszego przetwarzania.

Istotnym elementem realizacji systemów automatyzacji i sterowania są prace inżynierskie. Są one usługami specyficznymi dla systemu w procesie projektowania, instalacji i konfiguracji oraz komisjonowania i bindowania podczas uruchamiania BACS. Prace inżynierskie można opisać jako systematyczne stosowanie wiedzy i metod naukowych i technicznych (tzw. know-how) oraz doświadczeń w projektowaniu, wdrażaniu, testowaniu i dokumentacji oprogramowania i urządzeń dla systemu [24], [25].

Urządzenia i systemy automatyzacji i sterowania budynku (BACS) umożliwiają sterowanie podsystemami technicznymi budynku zapewniając realizację wielu funkcjonalności począwszy od zapewnienia bezpieczeństwa, a na komforcie użytkownika skończywszy. Istotną rolę wśród tych funkcjonalności ma również możliwość oddziaływanie na efektywność energetyczną budynku, poprzez monitoring i sterowanie podsystemami technicznymi budynku, z których najważniejsze to:

1. ogrzewanie,
2. przygotowanie ciepłej wody użytkowej,
3. chłodzenie,
4. wentylacja i klimatyzacja,
5. oświetlenie,
6. ochrona przed słońcem,
7. pozostała elementy zużywające energię w budynku.

Wpływ elementów infrastruktury sterującej i monitorującej na efektywność energetyczną budynków można zdefiniować przez funkcje sterowania, które będą realizowane dla poszczególnych podsystemów technicznych i funkcji budynku. Funkcje te i procedury będą z jednej strony realizowały sterowanie zmierzające do zmniejszenia zużycia energii, a równocześnie realizowały algorytmy zgodne z aktualnym trybem użytkowania budynku i z potrzebami użytkownika. Dla poszczególnych podsystemów można zdefiniować zestawy

funkcji automatycznego sterowania, których algorytmy mogą być realizowane. W uproszczeniu, każdy z podsystemów i instalacji technologicznych może być sterowana na cztery sposoby: (i) bez sterowania automatycznego, (ii) z automatycznym sterowaniem centralnym, (iii) z indywidualnym, autonomicznym sterowaniem pomieszczeniem, (iv) z indywidualnym sterowaniem pomieszczeniem, z komunikacją z systemem nadrzędnym oraz z funkcją sterowania zależną od zapotrzebowania (np. od obecności użytkownika, aktualnej temperatury wewnętrznej i zewnętrznej, trendu temperatury zewnętrznej itp.). Należy podkreślić, że o wpływie elementów infrastruktury sterującej i monitorującej na efektywność energetyczną budynków w bardzo dużym stopniu decyduje sposób konstrukcji i realizacji instalacji technologicznych zastosowanych w budynku. Im bardziej instalacje te umożliwiają dostarczenie poszczególnych form energii do indywidualnego pomieszczenia lub strefy, tym lepsza będzie jakość wpływu systemów automatyzacji i sterowania budynkiem. Zestawienie funkcji sterowania poszczególnych podsystemów wykorzystujących niezbędne elementy infrastruktury sterującej zostało przedstawione w tabeli nr 2.2

Tabela 2.2. Sterowanie możliwe do zastosowania w poszczególnych podsystemach technologicznych i funkcjach w budynku

1. Podsystem ogrzewania
1.1. Sterowanie emisją (wydatkiem)
1.2. Sterowanie emisją przez termoaktywne systemy budynkowe (ang. TABS)
1.3. Sterowanie temperaturą w sieci zasilania ciepłej wody (na zasilaniu lub powrocie)
1.4. Sterowanie pompami w sieci zasilania
1.5. Sterowanie z przerwami zasilania i/lub dystrybucji
1.6. Sterowanie źródłem ze względu na spalanie i ogrzewanie z sieci miejskiej
1.7. Sterowanie źródłem dla pomp ciepła
1.8. Sekwencyjne sterowanie różnymi źródłami
1.9. Zasobniki energii termicznej (ang. TES)
2. Podsystem zasilania w ciepłą wodę użytkową
2.1. Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) ze zintegrowanym ogrzewaniem elektrycznym lub elektryczną pompą ciepła
2.2. Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem zewnętrznych źródeł ciepła
2.3. Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem zewnętrznych źródeł ciepła lub zintegrowanego ogrzewania elektrycznego, w zależności od sezonu
2.4. Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem kolektorów słonecznych i zewnętrznych źródeł ciepła
2.5. Sterowanie pompą obiegową ciepłej wody użytkowej (DHW)
3. Podsystem chłodzenia
3.1. Sterowanie emisją (wydatkiem)
3.2. Sterowanie emisją przez termoaktywne systemy budynkowe (ang. TABS)
3.3. Sterowanie temperaturą w sieci zasilania wody chłodniczej (na zasilaniu lub powrocie)
3.4. Sterowanie pompami w sieci zasilania
3.5. Sterowanie z przerwami zasilania i/lub dystrybucji
3.6. Blokada pomiędzy ogrzewaniem i chłodzeniem w emisji i dystrybucji
3.7. Sterowanie różnymi źródłami chłodu
3.8. Sekwencyjne sterowanie różnymi źródłami

3.9. Zasobniki energii termicznej (ang. TES)
4. Podsystem sterowania wentylacją i klimatyzacją
4.1. Sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia
4.2. Sterowanie temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzne)
4.3. Sterowanie temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzno-wodne)
4.4. Sterowanie przepływem powietrza wywiewanego
4.5. Sterowanie przepływem powietrza lub ciśnieniem na poziomie jednostki przygotowującej powietrze
4.6. Sterowanie zabezpieczeniem przed zesrzeniem strony wywiewu wymiennika odzysku ciepła/chłodu
4.7. Sterowanie wymiennikiem ciepła (zapobieganie przegrzewaniu)
4.8. Swobodne chłodzenie mechaniczne
4.9. Sterowanie temperaturą powietrza zasilającego
4.10. Sterowanie wilgotnością
5. Podsystem sterowania oświetleniem
5.1. Sterowanie od obecności (zajętości) pomieszczenia
5.2. Sterowanie od oświetlenia dziennego
6. Podsystem sterowania żaluzjami (roletami)
6.1. Sterowanie żaluzjami
7. Techniczne zarządzanie domem i budynkiem
7.1. Możliwości obsługi
7.2. Wykrywanie usterek w systemach domowych i budynkowych i zapewnienie wspomaganie diagnostyki tych usterek
7.3. Raportowanie ze względu na zużycie energii, warunki wewnętrzne oraz
8. Funkcja obecności w pomieszczeniu lub strefie
8.1. Program czasowy
8.2. Ocena zajętości pomieszczenia
9. Funkcja zapewnienia warunków środowiskowych w pomieszczeniu
9.1. Wybór odpowiedniej formy energii i obliczanie punktów nastaw
9.2. Sterowanie temperaturą w pomieszczeniu (ogrzewanie, chłodzenie, klimatyzacja)
9.3. Sterowanie wentylacją
10. Funkcja zapewnienia warunków oświetlenia
10.1. Sterowanie oświetleniem
11. Funkcja ochrony przed wpływem energii słonecznej
11.1. Ochrona przed czynnikami pogodowymi (dotyczy zewnętrznych elementów zacieniających np. markizy)
11.2. Sterowanie przeciw oślepiające
11.3. Sterowanie żaluzjami (roletami)
11.4. Wspomaganie ogrzewania albo chłodzenia
11.5. Sterowanie napędem elektrycznym

3. Analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej budynków i ich instalacji z wykorzystaniem rozproszonych systemów automatyzacji

Funkcje i technologie rozproszonych systemów automatyki budynkowej są przedmiotem kolejnej poddanej analizie normy PN-EN 16484, zatytułowanej „Systemy automatyzacji i sterowania budynków (BACS)”. Zawiera ona wytyczne dotyczące budowy i funkcjonalności współczesnych systemów automatyki budynkowej. Norma znajduje zastosowanie w następujących obszarach:

- projektowanie środowisk zintegrowanych sieci sterowania i monitoringu urządzeń oświetleniowych, HVAC, modułów bezpieczeństwa i innych. Zintegrowane środowisko ma umożliwić sprawne zarządzanie infrastrukturą budynków oraz umożliwić optymalne wykorzystanie wzajemnych powiązań funkcjonalnych pomiędzy różnymi podsystemami automatyki budynku;
- budowa rozproszonych budynkowych systemów sterowania oraz ich rozbudowa, z uwzględnieniem cykli inwestycyjnych i etapowości w budowie i modernizacji budynków;
- zdefiniowanie procesu specyfikacji projektowej z określeniem wymaganych funkcji, m.in. w celu uniknięcia zbędnego powielenia tych funkcji. Celem pobocznym jest również cel edukacyjny; norma zaleca stosowanie jej jako materiału informacyjnego w szkoleniach.

Arkusze PN-EN 16484-2 odnosi się do całego zakresu sprzętu systemów BACS: od urządzeń interfejsu HMI, poprzez urządzenia przetwarzające, zarządzające, aż po urządzenia obiektowe. Arkusz ten omawia również sprzętowe kwestie komunikacji urządzeń, aby w końcowej części przedstawić uogólniony model systemu BACS. Podano kryteria oceny wydajności sprzętu, wśród których znaleźć można zużycie energii elektrycznej i ilość generowanej energii cieplnej. Wydzielono również osobne kryteria dla każdej z poniższych grup urządzeń: przetwarzania danych, przechowywania danych, prezentacji danych na monitorach i panelach, drukowania, sygnalizacji stanów alarmowych, jednostek komunikacyjnych (ruterów, repeterów, mostów, bram, modemów), interfejsów dla dedykowanych systemów specjalnych (do zastosowań serwisowych i analizy danych), interfejsów wejść/wyjść, interfejsów komunikacyjnych oraz urządzeń sterujących. Ostatnia grupa urządzeń zapewnia m.in. bezpośrednie sterowanie cyfrowe, optymalizację działania urządzeń i zużycia energii, monitoring działania instalacji. Urządzenia te mają ponadto zapewniać realizację wzajemnych uzależnień, sterowanie w układach z zamkniętymi i otwartymi pętlami sprzężenia oraz zaawansowane funkcje sterowania pomieszczeniami. Dla interfejsów komunikacyjnych urządzeń i sterowników zgodnych z normą PN-EN 16484, wymagane jest oświadczenie o zgodności implementacji protokołu komunikacyjnego (PICS), z którego wynika m.in. zdolność (lub jej brak) urządzenia do realizacji funkcji automatyki z uwzględnieniem powiązań funkcjonalnych z innymi urządzeniami automatyki budynku [26].

Kolejny arkusz PN-EN 16484-3 definiuje pojęcia niezbędne dla specyfikacji wytycznych w odniesieniu do funkcjonalności systemu automatyki i odpowiednich usług projektowych. Arkusz ten wprowadza również szablon dokumentacji funkcji instalacji (lista funkcji BACS). W zakresie oprogramowania systemów sterowania i monitoringu, wyróżniono:

- oprogramowanie do zarządzania systemem,

- oprogramowanie koordynacji funkcjonowania całej sieci, jej serwisowania, diagnostyki i konserwacji,
- oprogramowanie komunikacyjne, aplikacyjne i optymalizacyjne,
- oprogramowanie interfejsu HMI (z kontrolą dostępu do systemu, prezentacją i zarządzaniem alarmami i zdarzeniami, funkcjami statystycznymi, analitycznymi, raportującymi).

Osobny rodzaj oprogramowania stanowi oprogramowanie do prac inżynierskich - dedykowane do prac projektowych, konfiguracyjnych oraz wykonywania komisjonowania i rozruchu systemu automatyki.

Do najistotniejszych z punktu widzenia energooszczędności funkcji systemów BACS określonych w normie, należą funkcje monitoringu (na przekroczenie granic stałych lub zmiennych, monitoring czasu pracy, zdarzeń) oraz funkcje sterowania (w układach zamkniętych, algorytmami P, PI i PID ze stałą i zmienną wartością zadaną) i optymalizacji (przy pomocy harmonogramów czasowych, pracy z odzyskiem energii, umożliwiającej uzyskanie komfortu w pomieszczeniach przy minimalnym zużyciu energii, współpracy z zasilaniem rezerwowym, ograniczeniem obciążenia szczytowego i pracą zależną od taryfy energetycznej [24]–[26].

3.1. Znaczenie funkcji automatyzacji i sterowania budynku dla poszczególnych podsystemów i instalacji technologicznych

W rozdziale 2.4 zostały zidentyfikowane następujące podsystemy i instalacje techniczne budynku, które mogą zostać objęte działaniem systemu automatyzacji i sterowania budynku (BACS):

1. ogrzewanie,
2. przygotowanie ciepłej wody użytkowej,
3. chłodzenie,
4. wentylacja i klimatyzacja,
5. oświetlenie,
6. ochrona przed słońcem,
7. pozostała elementy zużywające energię w budynku.

Poprawnie zrealizowany BACS umożliwi sterowanie tymi instalacjami, w celu realizacji wielu funkcji takich jak zapewnienie bezpieczeństwa, poprawa komfortu użytkownika, ale również oddziaływanie na zmniejszenie zużycia różnych form energii. Każdy z wymienionych podsystemów cechuje się określonymi funkcjami, które mogą być osiągnięte poprzez odpowiednie sposoby sterowania wykorzystywanych w nich urządzeń. Zastosowanie tych funkcji prowadzi do polepszenia właściwości użytkowych oraz poprawy efektywności energetycznej. Dlatego istotne jest określenie ich znaczenia w każdym z podsystemów.

3.1.1. Podsystem ogrzewania i chłodzenia

W ramach podsystemu ogrzewania należy wyróżnić różne funkcje systemów BACS:

Sterowanie emisją (przekazywaniem, wydatkiem) – grzaniem

System sterowania instalowany jest na poziomie źródła lub pomieszczenia. Rozróżnia się co

najmniej następujące typy sterowania emisją:

- a) Brak automatycznego sterowania temperaturą pomieszczenia.
- b) Centralne sterowanie automatyczne - Dopuszczalna jest możliwość sterowania kilkoma pomieszczeniami przez pojedynczy system. Wyróżnia się tylko jedno centralne sterowanie automatyczne, oddziaływujące albo na dystrybucję albo na generację ciepła. Ten typ sterowania może być osiągnięty z wykorzystaniem sterownika uwzględniającego temperaturę zewnętrzną (pogodowy), zgodnie z normami PN-EN 12098-1:2013-12 lub PN-EN 12098-3:2013-12 [27], [28].
- c) Indywidualne sterowanie pomieszczeniem: poprzez zawór termostatyczny lub sterownik elektroniczny – Możliwość realizacji przez zawór termostatyczny zamontowany bezpośrednio przy grzejniku lub przez grzejnik z wbudowanym sterownikiem elektronicznym.
- d) Indywidualne sterowanie pomieszczeniem z komunikacją pomiędzy sterownikami oraz do systemu automatyki budynku (BACS) – Istotne jest zapewnienie poprawnej komunikacji pomiędzy sterownikami i systemem BACS. Przykładowo umożliwia to realizację harmonogramów czasowych sterujących emisją oraz regulację wartości punktu nastawienia temperatury pomieszczenia.
- e) Zintegrowane indywidualne sterowanie pomieszczeniem uwzględniające zapotrzebowanie (harmonogramy, zajętość, jakość powietrza) – jak w punkcie d) oraz dodatkowo sterowanie zapotrzebowaniem na podstawie zajętości pomieszczenia

Wpływ systemu sterowania uwzględnia wartość punktu nastawienia temperatury wewnętrznej

$$\theta_{ei} = \theta + \delta\theta \quad (1)$$

gdzie:

θ_{ei} – temperatura wewnętrzna uwzględniająca dokładność sterowania;

θ – punkt nastaw temperatury ogrzewanej strefy;

$\delta\theta$ – dokładność sterowania, zależna od samego sterowania i sterowanych systemów.

Wartość punktu nastawienia wzrasta o $\delta\theta$ w przypadku grzania. Wartość $\delta\theta$ zależy od systemu sterującego i typu grzejnika. Podejście to zostało przedstawione w PN-EN 15316-2-1:2007, PN-EN 15243:2007 i PN-EN ISO 13790:2009 [29]–[31].

W przypadku sterowników elektronicznych, wartość $\delta\theta$ jest równa „dokładności sterowania” określonej zgodnie z PN-EN 15500:2008 [32].

Sterowanie emisją przez termoaktywne systemy budynkowe (ang. TABS)

Termoaktywne systemy budynkowe (TABS) to rozwiązanie wykorzystujące tzw. masę termiczną do ogrzewania lub chłodzenia budynku, za pośrednictwem osadzonych w posadzkach, stropach ogrzewczo-chłodzących, matach kapilarnych w warstwie tynku lub wymiennikach stropowych, rur wypełnionych czynnikiem (np. wodą). Temperatura cieczy może być regulowana; przykładowo woda chłodzi lub ogrzewa sufit, a ten z kolei powietrze w pomieszczeniu. Do zalet TABS należy zaliczyć: większy komfort korzystania z budynków, brak hałasu, oszczędność miejsca, niższy koszt eksploatacji niż w przypadku tradycyjnej klimatyzacji. Główną wadą jest znaczna bezwładność systemu. Rozwiązanie to przemienia wymienione wcześniej elementy konstrukcyjne w wymienniki ciepła.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania TABS:

- a) Brak automatycznego sterowania temperaturą pomieszczenia.
- b) Centralne automatyczne sterowanie - centralne sterowanie automatyczne dla strefy systemu

TABS (co oznacza, że wszystkie pomieszczenia otrzymają wodę grzewczą o tej samej temperaturze) typowo jest pętlą sterowania ze sprzężeniem zwrotnym temperaturą wody zasilającej, której wartość zadana jest zależna od filtrowanej temperatury zewnętrznej, np. średniej z poprzedzających 24 godzin.

- c) Zaawansowane centralne automatyczne sterowanie - Jest to automatyczne sterowanie strefą systemu (TABS), które spełnia następujące warunki:

Jeżeli system TABS jest stosowany tylko do ogrzewania: centralne sterowanie automatyczne jest zaprojektowane i ustawione w taki sposób, aby osiągnąć optymalną samoregulację temperatury pomieszczenia w wymaganym zakresie komfortu (określonej przez wartość zadaną temperatury ogrzewania). „Optymalna” oznacza, że temperatury we wszystkich pomieszczeniach w strefie systemu TABS utrzymują się w okresie działania (obiektu) w zakresie komfortu, aby spełnić wymagania komfortu, ale także temperatury te są tak niskie, jak tylko jest to możliwe, aby ograniczyć zapotrzebowanie na energię grzewczą.

Jeżeli system TABS jest stosowany do ogrzewania i chłodzenia: centralne sterowanie automatyczne jest zaprojektowane i ustawione w taki sposób, aby osiągnąć optymalną samoregulację temperatury pomieszczenia w wymaganym zakresie komfortu (określonej przez wartości zadane temperatur ogrzewania i chłodzenia). „Optymalna” oznacza, że temperatury we wszystkich pomieszczeniach w strefie systemu TABS utrzymują się w okresie działania (obiektu) w zakresie komfortu, aby spełnić wymagania komfortu, ale także temperatury te, jak tylko jest to możliwe, w pełnym dopuszczalnym zakresie, aby ograniczyć zapotrzebowanie na energię grzewczą i chłodniczą.

Jeżeli system TABS jest stosowany do ogrzewania i chłodzenia: automatyczne przełączanie pomiędzy grzaniem i chłodzeniem nie jest wykonywane wyłącznie na podstawie temperatury zewnętrznej, ale także brane są pod uwagę, przynajmniej pośrednio, zyski ciepła (wewnętrzne i z nasłonecznienia).

- d) Zaawansowane centralne automatyczne sterowanie z działaniem okresowym i/lub sterowaniem ze sprzężeniem zwrotnym od temperatury w pomieszczeniu - Jest to zaawansowane centralne sterowanie automatyczne zgodnie z punktem 2 z następującym rozszerzeniem:

Jeżeli zostało zaimplementowane zaawansowane centralne sterowanie automatyczne z działaniem okresowym, to pompa obiegowa jest regularnie wyłączana w celu oszczędzania energii elektrycznej, albo często – typowo w cyklu 6-godzinnego załączenia/wyłączenia - lub z małą częstotliwością, odpowiadającą 24-godzinnemu cyklowi załączenia/wyłączenia. Jeżeli system TABS jest stosowany do chłodzenia, działanie przerywane w cyklu 24-godzinnym może także być służyć do wyrzutu ciepła na zewnątrz, jeżeli powietrze na zewnątrz jest zimne.

Jeżeli zostało zaimplementowane zaawansowane centralne sterowanie automatyczne ze sterowaniem od sprzężenia zwrotnego od temperatury pomieszczenia, to wartość zadana temperatury zasilania jest korygowana przez sygnał zwrotny temperatury pomieszczenia ze sterownika pomieszczenia, w celu adaptacji wartości zadanej do nie przewidywalnych z dnia na dzień zmian obciążenia cieplnego. Ponieważ system TABS reaguje powoli, stosuje się tylko korekcje temperatury pomieszczenia z dnia na dzień. Z systemem TABS nie jest możliwa do osiągnięcia natychmiastowa korekcja temperatury w pomieszczeniach. Temperatura pomieszczenia podawana zwrotnie do systemu jest temperaturą pomieszczenia

referencyjnego lub inną temperaturą reprezentatywną dla danej strefy.

Jeżeli zostało zaimplementowane zaawansowane centralne sterowanie automatyczne z działaniem okresowym i sterowaniem ze sprzężeniem zwrotnym od temperatury pomieszczenia, to system posiada połączone cechy wymienionych wcześniej rozwiązań [33].

Sterowanie temperaturą w sieci zasilania ciepłej wody lub wody chłodniczej (na zasilaniu lub powrocie)

Zarówno w przypadku wody ciepłej jak i wody chłodniczej, w instalacjach budynkowych, występuje zjawisko sterowania temperaturą sieci rozprowadzającej wodę, na jej zasilaniu lub powrocie. Sterowanie to ma za zadanie redukcję temperatury zasilania i/lub powrotu w przypadku ogrzewania lub jej wzrost w przypadku chłodzenia, w celu zmniejszenia różnicy pomiędzy temperaturą zasilania i temperaturą powrotu. Podobna funkcja systemu BACS może zostać zastosowana do sterowania sieciami bezpośredniego ogrzewania elektrycznego lub do sterowania bezpośrednim chłodzeniem elektrycznym (np. kompaktowe jednostki chłodnicze, splity) dla indywidualnych pomieszczeń.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą w sieci zasilania zarówno ciepłej wody, jak i wody chłodniczej:

- a) Brak automatycznego sterowania.
- b) Sterowanie z kompensacją temperatury zewnętrznej – Zastosowanie takiego typu sterowania ma za zadanie obniżenie średniej temperatury przepływu wody w sieci zasilania.
- c) Sterowanie zależne od zapotrzebowania - Zastosowanie takiego typu sterowania ma za zadanie obniżenie średniej temperatury przepływu wody w sieci zasilania.

Podczas dokonywania szacunku wpływu sterowania temperaturą zasilania (i/lub powrotu), należy uwzględnić dwa zjawiska:

- Automatyczne sterowanie obniżające średnią temperaturę przepływu wody w sieci. Prowadzi to do zmniejszenia strat związanych z rozprowadzaniem. Straty te powinny być obliczane zgodnie z PN-EN 15316-2-3:2007 (rozdział w normie 7.2.2). Natomiast temperatura powinna być obliczona zgodnie z rozdziałem 8. wspomnianej normy [34].
- Przy braku automatycznego sterowania temperaturą zasilania i/lub powrotu, działanie sterownika pomieszczenia z reguły pociąga za sobą obniżenie przepływu wody w sieci zasilania. Umożliwia to zmniejszenie zużycia energii pomocniczej, która jest używana przez system ogrzewania do wymiany i przenoszenia dostarczonej energii w energię użytkową. Obliczenia powinny być przeprowadzone zgodnie z zapisami normy PN-EN 15316-2-3:2007 (rozdział w normie 6.3.2), z zastosowaniem współczynnika f_s korygującego sterowanie temperaturą przepływu zasilania, zdefiniowanego we wspomnianej normie w rozdziale 6.3.3.2. Wartość współczynnika f_s wynosi 1 gdy sterowanie kompensuje wpływ temperatury zewnętrznej [34].

Sterowanie pompami w sieci zasilania/zasilającej

Zapotrzebowanie na energię pomocniczą sieci zasilania zależy od wartości przepływu, ciśnienia oraz warunków działania pomp rozprowadzających. Znajomość wartości przepływu i spadku ciśnienia jest istotna do określenia parametrów pompy, natomiast obciążenie częściowe sieci zasilania jest czynnikiem oddziałującym na zapotrzebowanie na energię. Podczas działania pompy w warunkach obciążenia częściowego bieżące rzeczywiste

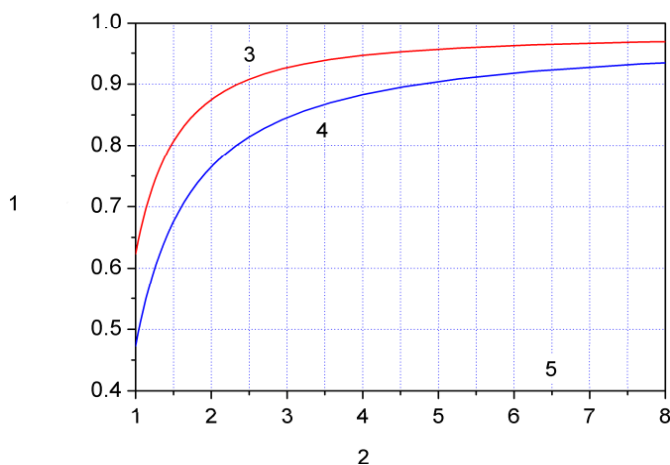
zapotrzebowanie na energię jest mniejsze niż rzeczywista moc wyjściowa urządzenia.

Sterowane pompy mogą być zainstalowane na różnych poziomach sieci zasilającej (generacja, dystrybucja, emisja).

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania pompami w sieci zasilania:

- a) Brak automatycznego sterowania.
- b) Sterowanie dwustanowe- w celu obniżenia dodatkowego zapotrzebowania na energię dla pomp.
- c) Sterowanie wielostanowe - w celu obniżenia dodatkowego zapotrzebowania na energię dla pomp.
- d) Sterowanie zmienną prędkością obrotową pomp - ze stałą lub zmienną różnicą ciśnienia Δp
- e) Sterowanie zmienną prędkością obrotową pomp - ze zmienną różnicą ciśnienia Δp w zależności od zapotrzebowania

Sterowanie w systemie rozprowadzającym może być zrealizowane z wykorzystaniem zaworów termostatycznych na grzejnikach, które ograniczają przepływ lub poprzez termostaty pomieszczeniowe, które zapewniają sterowanie dwustanowe (załącz/wyłącz) lub wielostanowe. Sterowanie prędkością obrotową pomp jest uzasadnione tylko gdy wartość przepływu może być regulowana. Wpływ sterowania pompą na zapotrzebowanie na energię pomocniczą powinien uwzględniać zapisy normy PN-EN 15316-2-3:2007 (rozdział w normie 6.3.4.1 i 6.3.4.5) z zastosowaniem współczynnika korygującego sterowanie f_c . Wartość współczynnika f_c wynosi 1 gdy pompa nie posiada możliwości sterowania prędkością. Dla pomp sterowanych wartość współczynnika należy odczytać z rysunku nr 3.1. Sterowanie ze stałą różnicą ciśnienia utrzymuje zaprojektowaną wartość Δp w całej powierzchni przepływu. Sterowanie ze zmienną różnicą ciśnienia reguluje wartość Δp z wartości projektowej przy projektowanym ciśnieniu do często połowy wartości projektowej Δp przy zerowym przepływie. Wartość współczynnika korygującego sterowanie ze zmienną różnicą ciśnienia jest prawidłowa, gdy sterowanie uwzględnia różnicę temperatur na zasilaniu i powrocie sieci zasilającej [34].



Rys 3.1 Wartości współczynnika korygującego sterowanie pompami

gdzie:

1 - wartość współczynnika korygującego sterowanie f_c [-];

2 - moc wyjściowa pompy/bieżąca moc pompy;

3 - stała różnicą ciśnienia Δp_{const} ;

4 - zmienna różnicą ciśnienia Δp_{var} i;

5 - sterowanie pompy

Sterowanie z przerwami zasilania i/lub dystrybucji

W praktycznej realizacji tej funkcji sterowania, jeden sterownik może kontrolować różne pomieszczenia/strefy o tych samych profilach zajętości. Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania z przerwami zasilania i/lub dystrybucji:

- a) Brak automatycznego sterowania – podczas całego sezonu grzewczego ogrzewanie działa w trybie ciągłym. Jako nastawę temperatury strefy budynku należy przyjąć nastawę temperatury dla ogrzewania $\theta_{i,H,set}$ lub dla chłodzenia $\theta_{i,C,set}$ wyrażoną w stopniach Celsjusza.
- b) Automatyczne sterowanie ze stałym programem czasowym – jest realizowane w celu obniżenia temperatury wewnętrznej i ograniczenia czasu pracy. Podejście to powinno być zgodne z zapisami norm PN-EN 12098-1:2013-12 i PN-EN 12098-3:2013-12. Zgodnie z normą PN-EN ISO 16484-3:2007 programy, harmonogramy czasowe zaliczane są do typu funkcji przetwarzania obliczeń/optymalizacji. Funkcje te mogą zostać zaimplementowane jako wcześniej skonfigurowane oprogramowanie aplikacji odpowiedniego urządzenia BACS, niewymagające programowania specyficznego dla projektu, lecz parametrów i komisjonowania. Funkcja harmonogramu czasowego dostarcza sygnały dla określonego wyjścia logicznego do sterowania instalacją wtedy, gdy ustawiony czas odpowiada wartości czasu rzeczywistego. Wyjście może zostać wstrzymane, jeśli czas rzeczywisty odpowiada dacie dni objętych wyjątkiem. Wśród typów harmonogramów można wyróżnić: dzienny, tygodniowy, roczny jako programowalne parametry [25], [27], [28].
- c) Automatyczne sterowanie z optymalnym start-stopem – jest realizowane w celu obniżenia temperatury wewnętrznej i ograniczenia czasu pracy. Podejście to powinno być zgodne z zapisami norm PN-EN 12098-1:2013-12 i PN-EN 12098-3:2013-12. Zgodnie z normą PN-EN ISO 16484-3:2007, optymalny start/stop zaliczany jest do typu funkcji przetwarzania obliczeń/optymalizacji. Funkcje te mogą zostać zaimplementowane jako wcześniej skonfigurowane oprogramowanie aplikacji odpowiedniego urządzenia BACS, niewymagające programowania specyficznego dla projektu, lecz parametrów i komisjonowania. Funkcja optymalnego start/stopu dostarcza wyjście logiczne do sterowania instalacją. Algorytm funkcji oblicza optymalny czas włączenia lub wyłączenia składnika instalacji w celu zminimalizowania zużycia energii. Przetwarza ona parametry funkcji harmonogramu, uwzględniając temperaturę zewnętrzną lub temperaturę wewnętrzną, termiczne zachowanie budynku oraz pojemność zasilania źródła energii. Funkcja optymalnego start/stopu może operować na stałych parametrach lub być funkcją samoadaptacyjną. Samoadaptacja oznacza, że funkcja samodzielnie oblicza i zapamiętuje wymagane parametry [25], [27], [28].
- d) Automatyczne sterowanie z oceną zapotrzebowania – jest realizowane w celu obniżenia temperatury wewnętrznej i ograniczenia czasu pracy.

W ramach sterowania z przerwami zasilania i/lub dystrybucji, należy wyróżnić aspekt związany z wpływem (i) na zapotrzebowanie na energię budynku spowodowanym obniżeniem temperatury wewnętrznej, (ii) na pobór energii przez system HVAC spowodowanym skróceniem czasu działania. Wpływ przerywanej zajętości na zapotrzebowanie na energię przez budynek należy obliczyć zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 13790:2009 (rozdział w normie 13.2). W podejściu tym uwzględnia się współczynnik $f_{H,hr}$ lub $f_{C,hr}$ określający udział liczby godzin w tygodniu z normalną nastawą ogrzewania lub chłodzenia (bez redukcji

nastawy lub wyłączenia) do liczby godzin w tygodniu (np. 14x5/24/7). Podejście przedstawione w normie nie różnicuje typów sterowania, aby je zróżnicować należy w równaniu wyrażającym energię do ogrzewania z przerwą lub osłabieniem zastąpić współczynnik $f_{N,H}$ współczynnikiem $f_{N,H,c} = f_{N,H} * X$ lub $f_{N,C}$ współczynnikiem $f_{N,C,c} = f_{N,C} * X$, gdzie wartość X zostały podane w tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Wartość współczynnika X

Typ sterowania	X
Brak automatycznego sterowania	0,5
Automatyczne przerywane sterowanie bez optymalnego start-stopu	0,8
Automatyczne przerywane sterowanie z optymalnym start-stopem	1

Wpływ systemu sterowania na zużycie energii przez system HVAC bazuje na czasie działania tego systemu i jest obliczany zgodnie ze zmniejszeniem zapotrzebowania na energię pomocniczą do rozproszania ciepła obliczonego, zgodnie z PN-EN 15316-2-3:2007 (rozdział w normie 6.3.5) [31], [34].

Blokada pomiędzy ogrzewaniem i chłodzeniem w emisji i dystrybucji

W przypadku budynków klimatyzowanych, funkcja ta jest jedną z najistotniejszych w aspekcie oszczędzania energii. Możliwość dostarczenia w tym samym czasie ogrzewania i chłodzenia w tym samym pomieszczeniu, zależy od zasady działania systemu i funkcji sterujących. W zależności od tych czynników, możliwe jest osiągnięcie częściowej lub pełnej korelacji pomiędzy sterowaniem emisją i dystrybucją ogrzewania i chłodzenia. Uniknięcie grzania i chłodzenia równocześnie w tym samym pomieszczeniu, zależy od przyjętej zasady działania systemu. Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania blokadą pomiędzy ogrzewaniem i chłodzeniem w emisji i dystrybucji:

- a) Bez blokady - instalacje ogrzewania i chłodzenia są sterowane niezależnie i mogą równocześnie grzać i chłodzić. Temperatura powietrza zasilającego jest ustawiona na zadaną i stałą wartość.
- b) Częściowa blokada (zależną od systemu HVAC) - funkcja sterowania jest tak ustawiona, aby zminimalizować możliwość równoczesnego grzania i chłodzenia. Ogólnie uzyskuje się to przez zmianę wartości zadanej temperatury powietrza zasilającego w centralnie sterowanym systemie. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury zewnętrznej.
- c) Całkowita blokada - funkcja sterowania gwarantuje, że nie będzie równoczesnego grzania i chłodzenia. Temperatura powietrza zasilającego jest automatycznie resetowana w zależności od wymagań chłodzenia w poszczególnych strefach. Realizacja takiej funkcji wymaga zintegrowanego systemu automatyzacji i sterowania.

Istnieją różne sposoby osiągnięcia całkowitej blokady pomiędzy ogrzewaniem i chłodzeniem w emisji i dystrybucji:

- Przyjęcie zasady działania systemu, zapobiegającej wystąpieniu takiego ryzyka – realizacja wymaga zastosowania złożonych i zespolonych funkcji systemu automatyzacji i sterowania budynkiem.
- Wytwarzanie ogrzewania i chłodzenia z wykorzystaniem odwracalnej pompy ciepłej, która nie może dostarczać w tym samym czasie ogrzewania i chłodzenia.

- Zastosowanie pojedynczej sieci dystrybucji, dostarczającej albo ogrzewanie, albo chłodzenie – przykładowo, realizacja z wykorzystaniem klimakonwektorów 2-rurowych z możliwością odwrócenia obiegu grzewczego/chłodniczego.
- Zastosowanie pojedynczego sterownika działającego sekwencyjnie na ogrzewanie i chłodzenie - rozwiązanie to jest możliwe w instalacjach, w których zarówno ogrzewanie, jak i chłodzenie może być w pełni sterowane na poziomie pomieszczenia (np. w przypadku klimakonwektorów wentylatorowych 4-rurowych).
- Instalacje obejmujące sterowanie ogrzewaniem (odpowiednio chłodzeniem) na poziomie budynku oraz sterowanie chłodzeniem (odpowiednio ogrzewaniem) na poziomie pomieszczenia, stwarzają specyficzne problemy związane z korelacją pomiędzy ogrzewaniem i chłodzeniem. Zjawisko to występuje w instalacjach zawierających:
 - Centralną instalację wentylacji obsługującą różne pomieszczenia, wyposażoną we wstępną nagrzewnicę w centralnej jednostce przygotowującej powietrze oraz centralny sterownik nadzorujący temperaturę powietrza zasilającego.
 - Urządzenie chłodzące (lub grzejąco-chłodzące) w każdym pomieszczeniu z własnym lokalnym sterownikiem.

Przykład metody obliczania wpływu tego sterowania, z wykorzystaniem współczynnika strat energii spowodowanych równoczesnym chłodzeniem i ogrzewaniem, został przedstawiony w normie PN-EN 15243:2011 [30]

Sterowanie źródłem ze względu na spalanie i ogrzewanie z sieci miejskiej

W celu obliczenia wpływu systemu sterowania w tym obszarze, należy wykorzystać informacje zawarte w grupie norm PN-EN 15316-X-X. Wpływ sterowania na system emisji (przekazywania) został przedstawiony w części 2-1 wspomnianej normy. Natomiast wpływ sterowania na system wytwarzania, jest uwzględniany poprzez ograniczenie strat ciepła oraz minimalizację temperatury pracy źródła. Norma PN-EN 15316-4-1:2008 przedstawia metody obliczania zapotrzebowania na ciepło i oceny sprawności instalacji, która jest miarą efektywności energetycznej. Pierwsza to metoda sezonowej wydajności źródła, wykorzystująca topologię systemu ogrzewania, kolejna to metoda cykliczna źródła ciepła oraz metoda „szczególnego przypadku efektywności kotła”. W ostatniej z metod przedstawiono jak oszacować wpływ systemu sterowania – uwzględnia bieżącą temperaturę pracy źródła. Podstawowe równanie opisujące bilans energii w podsystemie wytwarzania ciepła przyjmuje następującą postać:

$$E_{H,gen,in} = Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} \quad (2)$$

gdzie:

$E_{H,gen,in}$ – energia doprowadzona,

$Q_{H,gen,out}$ – ciepło dostarczone do podsystemu dystrybucji (energia odprowadzona z podsystemu wytwarzania),

$Q_{H,gen,aux,rvd}$ – ciepło odzyskane z energii pomocniczej w podsystemie wytwarzania,

$Q_{H,gen,ls}$ – strata ciepła podsystemu wytwarzania.

Jeżeli jest dostępny tylko jeden podsystem wytwarzania, to energię odprowadzoną z podsystemu wytwarzania można opisać zależnością:

$$Q_{H,gen,out} = f_{ctrl} * \sum_i Q_{H,dis,in,i} + \sum_j Q_{W,dis,in,j} \quad (3)$$

gdzie:

f_{ctrl} – jest współczynnikiem uwzględniającym straty emisji na skutek sterowania.

Jeżeli na poziomie krajowym nie obowiązują szczegółowe regulacje dotyczące wartości

współczynnika f_{ctrl} to w celu nie uwzględniania strat emisji na skutek sterowania, powinien on przyjąć wartość 1. Jednak w załączniku D normy PN-EN 15316-4-1:2008 podano przykładowe wartości współczynnika f_{ctrl} , zależne nie tylko od typu sterowania, ale również od rodzaju źródła. Tabela 3.2 przedstawia przykładowe wartości współczynnika f_{ctrl} . Temperatura pracy źródła zależy od (i) typu sterowania, (ii) ograniczeń technicznych źródła oraz od (iii) temperatury podsystemu dystrybucji połączonego ze źródłem. Zakłada się, że sterowanie źródłem oddziałuje na zmianę średniej temperatury wymienników ciepła. Temperaturę pracy źródła obliczą się z zależności:

$$\theta_{gnr,w,x,ltd} = \max(\theta_{gnr,w,min}, \theta_{gnr,w,x}) \quad (4)$$

gdzie:

$\theta_{gnr,w,min}$ – minimalna temperatura pracy źródła;

$\theta_{gnr,w,x}$ – właściwa temperatura wody w rozważanym okresie.

Tabela 3.2 Wartość współczynnika f_{ctrl}

Typ kotła	Rodzaj sterowania	f_{ctrl}
Kocioł stojący	Zewnętrzny regulator temp.	1,00
Kocioł wiszący	Zewnętrzny regulator temp.	1,03
	Wewnętrzny regulator temp.	1,06

Straty ciepła systemu ogrzewania z sieci miejskiej należy obliczać zgodnie z równaniami zawartymi w normie PN-EN 15316-4-5:2007 i wynoszą one:

$$Q_{dh,gen,ls} = H_{dh,gen} * (\theta_{dh,gen} - \theta_{amb}) \quad (5)$$

gdzie:

$Q_{dh,gen,ls}$ – straty ciepła sytemu wytwarzania (stacji osiedlowej),

$H_{dh,gen}$ – współczynnik wymiany ciepła stacji osiedlowej,

$\theta_{dh,gen}$ – średnia temperatura czynnika obwodu stacji osiedlowej,

θ_{amb} – temperatura otoczenia stacji osiedlowej.

Współczynnik wymiany ciepła wyrażony jest równaniem:

$$H_{dh,gen} = B_{dh,gen} * \phi_{dh,gen}^{1/3} \quad (6)$$

gdzie:

$B_{dh,gen}$ – współczynnik zależny od rodzaju stacji osiedlowej oraz jej poziomu izolacji,

$\phi_{dh,gen}$ – nominalna moc cieplna stacji osiedlowej.

Natomiast średnia temperatura wody obwodu stacji osiedlowej wyrażona jest równaniem:

$$\theta_{dh,gen} = D_{dh,gen} * \theta_{dh,gen,in} + (1 - D_{dh,gen}) * \theta_{dh,gen,out} \quad (7)$$

gdzie:

$D_{dh,gen}$ – współczynnik zależny od typu stacji osiedlowej i jej sterowania,

$\theta_{dh,gen,in}$ – średnia temperatura czynnika obwodu pierwotnego stacji osiedlowej,

$\theta_{dh,gen,out}$ – średnia temperatura czynnika obwodu wtórnego stacji osiedlowej.

Straty ciepła zależą od temperatury czynnika obwodu stacji osiedlowej, w tym od średniej temperatury czynnika obwodu wtórnego, która może być obliczana w taki sam sposób jak temperatura pracy źródła ciepła wg PN-EN 15316-4-1:2008. Wartości współczynnika $D_{dh,gen}$ w zależności od rodzaju stacji osiedlowej i średniej temperatury czynnika obwodu pierwotnego zostały przedstawione w tabeli nr 3.3.

Tabela 3.3 Wartość współczynnika $D_{dh,gen}$

Typ stacji osiedlowej	Średnia temperatura czynnika obrotu pierwotnego stacji osiedlowej $\Theta_{dh,gen,in}$ °C	Współczynnik $D_{dh,gen}$ (-)
Gorąca woda, niska temperatura	105	0,6
Gorąca woda, wysoka temperatura	150	0,4
Parowa, niskie ciśnienie	110	0,5
Parowa, wysokie ciśnienie	180	0,4

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania źródłem ciepła ze względu na spalanie i ogrzewanie z sieci miejskiej:

- Sterowanie na stałą temperaturę – temperatura pracy źródła jest zadaną i stałą wartością.
- Sterowanie zmianą temperatury w zależności od temperatury zewnętrznej – system sterowania zmienia wartości zadane temperatury pracy źródła. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury zewnętrznej.
- Sterowanie zmianą temperatury w zależności od obciążenia - system sterowania zmienia wartości zadane temperatury pracy źródła. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury wody zasilającej, temperatury w pomieszczeniu.

Celem sterowania, na ogół, jest minimalizacji temperatury pracy źródła [35], [36].

Sterowanie źródłem dla pomp ciepła

Norma PN-EN 15316-4-2:2008 przedstawia dwie metody obliczania zapotrzebowania na ciepło i oceny sprawności instalacji, która jest miarą efektywności energetycznej. Pierwsza to metoda uproszczona, wykorzystująca topologię systemu, druga to metoda szczególnego przypadku. Dane do zastosowania obliczeń w ramach metody uproszczonej powinny być przedmiotem załącznika krajowego. Wyróżnia się trzy tryby pracy pomp ciepła: (i) zapewnienie ogrzewania pomieszczeń, (ii) przygotowanie ciepłej wody użytkowej oraz (iii) równoczesne działanie na oba wymienione cele. W zależności od trybu działania możliwe jest oszacowanie czasu pracy pompy ciepła, który jest powiązany z ilością wyprodukowanego ciepła. Szacowanie czasu pracy, charakteryzujące zużycie energii, wykonuje się dla trybu równoczesnego działania w celu zapewnienia ogrzewania i przygotowania c.w.u., pomimo iż nie zawsze ma miejsce taka sytuacja. Maksymalny czas pracy, wyrażony w sekundach, obliczany jest z równania:

$$t_{HW, hp, on, combi, max, j} = \max(t_{H, hp, on, j}, t_{W, hp, on, j}) \quad (8)$$

gdzie czas pracy dla przygotowania c.w.u. jest obliczany z równania:

$$t_{W, hp, on, j} = \frac{Q_{W, hp, j}}{\phi_{W, hp, combi, j}} \quad (9)$$

oraz analogicznie czas pracy dla ogrzewania jest obliczany z równania:

$$t_{H, hp, on, j} = \frac{Q_{H, hp, j}}{\phi_{H, hp, combi, j}} \quad (10)$$

gdzie:

$Q_{W, hp, j}$ - ciepło wyprodukowane przez pompę ciepła do podsystemu j dla celu przygotowania c.w.u.

$Q_{H, hp, j}$ - ciepło wyprodukowane przez pompę ciepła do podsystemu j dla celu przygotowania ogrzewania

$\phi_{W, hp, combi, j}$ - moc grzewcza pompy ciepła w podsystemie j dla celu przygotowania c.w.u.

$\phi_{H, hp, combi, j}$ - moc grzewcza pompy ciepła w podsystemie j dla celu przygotowania ogrzewania podczas równoczesnego działania w celu zapewnienia ogrzewania i przygotowania c.w.u.

Oprócz profilu obciążenia wpływ na czas pracy pompy ciepła ma również przyjęte sterowanie. Wpływ tego sterowania jest silnie uzależniony od poszczególnych nastaw i konfiguracji systemu, jednak może on zostać uwzględniony w obliczeniach czasu pracy, z wykorzystaniem równania:

$$t_{HW, hp, on, combi, j} = f_{combi} * t_{HW, hp, on, combi, max, j} \quad (11)$$

gdzie:

$t_{HW, hp, on, combi, j}$ – czas pracy pompy ciepła w trybie równoczesnym w podsystemie j ,

f_{combi} – współczynnik korygujący uwzględniający system sterowania.

Dodatkowo współczynnik ten może określić jaka ilość strat energii niezbędnej na przygotowanie c.w.u. wynika z trybu działania pojedynczego i równoczesnego. Wpływ systemu sterowania jest obliczany zgodnie z PN-EN 15316-4-2:2008 (rozdział w normie 5.3.9.2). Ponadto na ogół zadaniem sterowania jest minimalizacji temperatury pracy źródła, tak aby umożliwić ograniczenie strat ciepła. Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania źródłem dla pomp ciepła [37]:

- a) Sterowanie na stałą temperaturę – temperatura pracy źródła jest wartością zadaną np. z wykorzystaniem krzywej grzewczej.
- b) Sterowanie zmianą temperatury w zależności od temperatury zewnętrznej - system sterowania zmienia wartości zadane temperatury pracy źródła. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury zewnętrznej.
- c) Sterowanie zmianą temperatury w zależności od obciążenia - system sterowania zmienia wartości zadane temperatury pracy źródła. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury wody zasilającej, temperatury w pomieszczeniu.

Sterowanie różnymi źródłami chłodu

Cel polega na ogół na minimalizacji temperatury pracy źródła.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania:

- a) Sterowanie na stałą temperaturę - temperatura pracy źródła jest zadaną i stałą wartością.
- b) Sterowanie zmianą temperatury w zależności od temperatury zewnętrznej - system sterowania zmienia wartości zadane temperatury pracy źródła. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury zewnętrznej.
- c) Sterowanie zmianą temperatury w zależności od obciążenia - system sterowania zmienia wartości zadane temperatury pracy źródła. Zmiany te mogą być uzależnione od temperatury wody zasilającej, temperatury w pomieszczeniu.

Sekwencyjne sterowanie różnymi źródłami

Jeżeli w instalacji technologicznej dostępne są różne źródła ciepła lub chłodu to ich tryb pracy oraz dystrybucja wytworzonej energii zależy od przyjętego sterowania. Może ono przyjąć formę odpowiedniej sekwencji pracy poszczególnych źródeł. Istotnym parametrem służącym do opracowania sekwencji sterowania, jest współczynnik obciążenia poszczególnego źródła, który jest wprost proporcjonalny do średniej mocy wytwarzanej przez dane źródło i odwrotnie proporcjonalny do jego nominalnej mocy. Najmniej efektywnym trybem działania jest równoczesna praca wszystkich źródeł bez przyjętych priorytetów ich kolejności. Dla takiego przypadku współczynnik obciążenia wynosi tyle samo dla wszystkich źródeł i jest określany zależnością:

$$\beta_{gnr} = \frac{\phi_{H, gen, out}}{\sum_i \phi_{Pn, i}} \quad (12)$$

gdzie:

$\phi_{H,gen,out}$ – średnia moc wytwarzania przez źródło w danym podsystemie wytwarzania,

$\phi_{Pn,i}$ – nominalna moc i-tego źródła przy pełnym obciążeniu.

Jednak w celu zmniejszenia zużycia energii i poprawy efektywności energetycznej instalacji określa się priorytety kolejności pracy źródeł. Źródło z wyższym priorytetem pracuje jako pierwsze. Dane źródło z listy priorytetów pracuje tylko gdy źródło o wyższym priorytecie osiągnęło pełne obciążenie, współczynnik obciążenia $\beta_{gnr} = 1$.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sekwencyjnego sterowania różnymi źródłami:

- a) Priorytety wynikające tylko z upływającego czasu.
- b) Priorytety wynikające wyłącznie z obciążenia - w zależności od charakterystyki sprawności źródła (np. kocioł czy pompa ciepła lub chłodziarki absorpcyjne czy chłodziarki odśrodkowe).
- c) Priorytety wynikające z obciążenia i zapotrzebowania na wydajność źródła.
- d) Priorytety wynikające ze sprawności źródła - sterowanie działaniem źródła jest ustawiane indywidualnie, tak, aby umożliwić pracę źródeł z najwyższą możliwą wydajnością (np. kolektory słoneczne, źródła geotermalne, zakłady kogeneracji, paliwa kopalne lub powietrze zewnętrzne, woda w rzece, źródła geotermalne, maszyny chłodnicze).

Funkcja ta ma zastosowanie wówczas gdy dostępne są urządzenia chłodnicze lub grzewcze różnej mocy lub różne źródła chłodu lub ciepła, w tym też chłodzenie swobodne i/lub odnawialne źródła energii.

3.1.2. Podsystem przygotowania ciepłej wody użytkowej

W ramach podsystemu przygotowania ciepłej wody użytkowej należy wyróżnić różne funkcje systemów BACS:

Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) ze zintegrowanym ogrzewaniem elektrycznym lub elektryczną pompą ciepła

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) ze zintegrowanym ogrzewaniem elektrycznym lub elektryczną pompą ciepła:

- a) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz - uruchamianie czasu ładowania (nagrzewania) zasobnika przez czasowy program przełączający.
- b) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz ze zmiennym czasem nagrzewania.
- c) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz ze zmiennym czasem nagrzewania i zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników - zarządzanie zasobnikiem wg zapotrzebowania z wykorzystaniem dwóch lub więcej czujników.

Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem zewnętrznych źródeł ciepła

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem zewnętrznych źródeł ciepła:

- a) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz - uruchamianie czasu ładowania (nagrzewania) zasobnika przez czasowy program przełączający.
- b) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz ze zmiennym czasem nagrzewania.

- c) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz ze zmiennym czasem nagrzewania i zasilaniem zależnym od zapotrzebowania lub zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników - Zasilanie zorientowane/zależne na/od zapotrzebowanie: wymiana informacji aby dostarczać c.w.u. (DHW) wg zapotrzebowania i temperatury wody w zasobniku lub zarządzanie zasobnikiem wg zapotrzebowania z wykorzystaniem dwóch lub więcej czujników.
- d) Sterowanie automatyczne załącz/wyłącz ze zmiennym czasem nagrzewania i zasilaniem zależnym od zapotrzebowania lub sterowaniem temperaturą wody powrotnej i zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników.

Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem zewnętrznych źródeł ciepła lub zintegrowanego ogrzewania elektrycznego, w zależności od sezonu

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem zewnętrznych źródeł ciepła lub zintegrowanego ogrzewania elektrycznego, w zależności od sezonu:

- a) Ręcznie wybierane sterowanie przez załączanie/wyłączanie pompy ładującej (z zewnętrznego źródła ciepła) lub przez zintegrowane ogrzewanie elektryczne.
- b) Automatycznie wybierane sterowanie przez załączanie/wyłączanie pompy ładującej (z zewnętrznego źródła ciepła) lub przez zintegrowane ogrzewanie elektryczne ze zmiennym czasem nagrzewania.
- c) Automatycznie wybierane sterowanie przez załączanie/wyłączanie pompy ładującej (z zewnętrznego źródła ciepła) lub przez zintegrowane ogrzewanie elektryczne ze zmiennym czasem nagrzewania i zasilaniem zależnym od zapotrzebowania lub zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników.
- d) Automatycznie wybierane sterowanie zasilaniem z zewnętrznego źródła ciepła, zasilaniem zależnym od zapotrzebowania i sterowaniem temperaturą wody powrotnej lub przez zintegrowane ogrzewanie elektryczne ze zmiennym czasem nagrzewania i zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników.

Sterowanie temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem kolektorów słonecznych i zewnętrznych źródeł ciepła

Ładowanie zasobnika solarnego: sterowanie załączaniem i wyłączaniem pompy ładującej zasobnik do maksymalnej temperatury podczas dostępności energii słonecznej. Kolektor solarny dostarcza energię o najwyższym priorytecie.

Dodatkowe ładowanie zasobnika: uruchamianie dodatkowego sterowania ze źródła ciepła z uruchomieniem czasu ładowania zasobnika przez program przełącznika czasowego w celu uzyskania znamionowej temperatury w zasobniku. Źródło ciepła dostarcza energię o drugim priorytecie.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą w zasobniku ciepłej wody użytkowej (DHW) z zastosowaniem kolektorów słonecznych i zewnętrznych źródeł ciepła:

- a) Ręcznie wybierane sterowanie zasilaniem z kolektorów słonecznych lub z zewnętrznego źródła ciepła.
- b) Automatyczne sterowanie zasilaniem zasobnika z kolektorów słonecznych (priorytet 1) i uzupełniająco z zewnętrznego źródła ciepła.

- c) Automatyczne sterowanie zasilaniem zasobnika z kolektorów słonecznych (priorytet 1) i uzupełniająco z zewnętrznego źródła ciepła i zasilaniem zależnym od zapotrzebowania lub zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników.
- d) Automatyczne sterowanie zasilaniem zasobnika z kolektorów słonecznych (priorytet 1) i uzupełniająco z zewnętrznego źródła ciepła, z zasilaniem zależnym od zapotrzebowania, sterowaniem temperatury powrotu i zarządzaniem temperaturą z zastosowaniem wielu czujników.

Sterowanie pompą obiegową ciepłej wody użytkowej (DHW)

Praca ciągła, program sterujący z wyłączaniem czasowym lub uzależnione od zapotrzebowanie załączanie /wyłączanie.

Sterowanie temperaturą wody powrotu: sterowanie pompą obiegową w celu obniżenia temperatury powrotu.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania pompą obiegową ciepłej wody użytkowej (DHW):

- a) Bez programu wyłączania czasowego
- b) Z programem wyłączania czasowego
- c) Sterowanie z uzależnieniem od zapotrzebowania (np. odkręcone lub zamknięte krany)

Funkcje sterowania temperaturą w zasobniku c.w.u. mogą zostać połączone z funkcją sterowania pompą obiegową. Dlatego wybór sterowania pompą obiegową należy dokonać po wybraniu odpowiednich funkcji sterowania temperaturą w zasobniku c.w.u.

3.1.3. Podsystem sterowania wentylacją i klimatyzacją

Zadaniem podsystemu wentylacji i klimatyzacji jest właściwe dostarczenie do budynku i jego pomieszczeń. Podsystem ten posiada duży udział w bilansie energetycznym budynku. Ogrzewanie i chłodzenie w celu odpowiedniego przygotowania powietrza wymaga dodatkowych urządzeń, cechujących się swoimi funkcjami sterowania, które zostały opisane we wcześniejszych podrozdziałach. W ramach podsystemu wentylacji i klimatyzacji należy wyróżnić różne funkcje systemów BACS:

Sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia:

- a) Brak automatycznego sterowania - system działa w sposób ciągły (np. przez ręcznie uruchamiany włącznik).
- b) Sterowanie czasowe - system działa zgodnie z założonym harmonogramem czasowym.
- c) Sterowanie od obecności - system działa w zależności od obecności (włącznik uruchamiany światłem, czujnik podczerwieni, itp.).
- d) Sterowanie od zapotrzebowania - system jest sterowany przez czujniki zliczające ilość osób w pomieszczeniu lub mierzące parametry powietrza wewnętrznego lub określone kryteria (np. poziom CO₂, poziom mieszaniny gazów lub ilość lotnych związków organicznych z wykorzystaniem czujników VOC (ang. Volatile Organic Compounds). Stosowane parametry oceny jakości powietrza powinny być dostosowane do sposobu wykorzystania pomieszczenia.

Zgodnie z informacjami zawartymi w normie PN-EN 15242:2009 (rozdziały 6.2.3 i 6.2.5) wpływ takiego typu sterowania jest obliczany poprzez pomnożenie przepływu powietrza przez dwa charakterystyczne współczynniki C_{use} i C_{cont} opisane we wspomnianej normie. C_{use} jest współczynnikiem określającym część czasu, w którym wentylator pracuje (jest włączony $C_{use} = 1$) a tym samym opisuje fakt wyłączenia ($C_{use} = 0$) wentylatorów. Jest on związany z zagadnieniami zdrowia i energii oraz z użytkowaniem budynku i pomieszczenia, jak również z zachowaniem użytkowników. C_{cont} jest współczynnik zależny od miejscowej regulacji przepływu powietrza. W przypadku instalacji o zmiennym strumieniu powietrza, współczynnik ten stanowi stosunek rzeczywistego przepływu powietrza w danym czasie do wartości strumienia objętości powietrza, które należy doprowadzić lub usunąć z każdego pomieszczenia. Wartości tych współczynników zależą od (i) typu sterowania i (ii) zastosowanego profilu użytkownika budynku.

Sterowanie temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzne)

Temperatura powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzne) zależy od strumienia objętości powietrza, który może być sterowany na poziomie pomieszczenia lub na poziomie jednostki przygotowującej powietrze oraz od temperatury powietrza zasilającego. Funkcja sterowania temperaturą powietrza w pomieszczeniu ma zastosowanie w indywidualnym sterowaniu pomieszczeniem podczas braku bezpośredniego wpływu pętli sterującej na temperaturę powietrza zasilającego oraz na strumień objętości powietrza. Minimalny strumień objętości powietrza powinien zostać zapewniony.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzne):

- a) Sterowanie załącz/wyłącz - system zapewnia działanie ze stałym strumieniem objętości powietrza i stałą temperaturą powietrza nawiewanego na poziomie pomieszczenia. Nastawy wartości temperatury w pomieszczeniu są ustawiane indywidualnie.
- b) Sterowanie zmiennymi nastawami temperatur w pomieszczeniu - system umożliwia działanie ze zmiennymi wartościami strumienia objętości powietrza albo temperatury powietrza nawiewanego na poziomie pomieszczenia. Nastawy wartości temperatury w pomieszczeniu są ustawiane indywidualnie.
- c) Sterowanie od zapotrzebowania – system działa w taki sposób, aby zapewnić minimalne zapotrzebowanie na energię poprzez zoptymalizowanie sterowania. Możliwe jest działanie systemu zarówno ze zmiennymi wartościami strumienia objętości powietrza i temperatury powietrza nawiewanego na poziomie pomieszczenia w zależności od zapotrzebowania na ogrzewanie/chłodzenie.

Jeżeli możliwa jest regulacja pracą systemu powietrznego, to zmienne zależne od obciążenia pomieszczenia/budynku oblicza się na podstawie bilansu energii pomieszczenia. Wyróżnić można dwie możliwości regulacji temperatury w pomieszczeniu lub strefie:

- Regulacja temperatury powietrza nawiewanego: przez zastosowanie miejscowego wymiennika ciepła, umieszczonego w przewodzie powietrza nawiewanego, który jest regulowany przez czujniki zainstalowane w pomieszczeniu. W przypadku takiej regulacji, strumień objętości powietrza ustalany jest na poziomie jednostki przygotowującej powietrze. Przepływ powietrza w sezonie ogrzewczym jest zwykle większy od wymaganego dla celów higienicznych. Zmniejszenie zużycia energii jest możliwe do uzyskania przez stopień recyrkulacji powietrza.

- Regulacja strumienia objętości powietrza: zastosowany miejscowy nawiewnik reguluje strumień objętości powietrza. W przypadku takiej regulacji, temperatura powietrza nawiewanego ustalana jest na poziomie jednostki przygotowującej powietrze. Miejscowy strumień objętości powietrza nie może być od wymaganego dla celów higienicznych.

Sterowanie temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzno-wodne)

W przypadku budynków klimatyzowanych z zastosowaniem systemów powietrzno-wodnych, funkcja ta jest istotna z punktu widzenia oszczędności energii. Możliwość dostarczenia w tym samym czasie ogrzewania i chłodzenia w tym samym pomieszczeniu zależy od zasady działania systemu i funkcji sterujących. W celu zmniejszenia zużycia energii powinna zostać zapewniona korelacja pomiędzy systemami ogrzewania i chłodzenia.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzno-wodne):

- a) Brak wzajemnego oddziaływania na nastawy temperatury powietrza w pomieszczeniu – system może posiadać różne, nieskorelowane wartości punktów nastaw temperatury w pomieszczeniu.
- b) Wzajemne oddziaływanie na nastawy temperatury powietrza w pomieszczeniu – system zapewnia korelację wartości punktów nastaw temperatury w pomieszczeniu.

Sterowanie przepływem powietrza wywiewanego

Funkcja ta ma zastosowanie w instalacjach wentylacji umożliwiających zmianę współczynnika powietrza wywiewanego lub przepływ.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania przepływem powietrza wywiewanego:

- a) Stała wartość współczynnika powietrza wywiewanego - system działa zgodnie z ustawioną wartością współczynnika powietrza wywiewanego, ewentualna zmiana wartości współczynnika jest wykonywana ręcznie.
- b) Sterowanie dwustopniowe od programu czasowego- system działa zgodnie z założonym harmonogramem czasowym ustawiając przepływ powietrza wywiewanego na wartości niskie albo wysokie.
- c) Sterowanie dwustopniowe od obecności - system działa w zależności od obecności (włącznik uruchamiany światłem, czujnik podczerwieni, itp.) ustawiając przepływ powietrza wywiewanego na wartości niskie albo wysokie.
- d) Sterowanie przepływem od zapotrzebowania - system jest sterowany przez czujniki zliczające ilość osób w pomieszczeniu lub mierzące parametry powietrza wewnętrznego lub określone kryteria (np. poziom CO₂, poziom mieszaniny gazów lub ilość lotnych związków organicznych z wykorzystaniem czujników VOC (ang. Volatile Organic Compounds). Stosowane parametry oceny jakości powietrza powinny być dostosowane do sposobu wykorzystania pomieszczenia.

Sterowanie przepływem powietrza lub ciśnieniem na poziomie jednostki przygotowującej powietrze

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania przepływem powietrza lub ciśnieniem na poziomie jednostki przygotowującej powietrze:

- a) Brak automatycznego sterowania – system zapewnia ciągłą dostawę strumienia powietrza dla maksymalnego obciążenia wszystkich pomieszczeń.

- b) Sterowanie czasowe załącz/wyłącz – system zapewnia ciągłą dostawę strumienia powietrza dla maksymalnego obciążenia wszystkich pomieszczeń w czasie normalnego użytkowania pomieszczeń.
- c) Sterowanie wielostopniowe - w celu ograniczenia zapotrzebowania dodatkowej energii dla wentylatora.
- d) Automatyczne sterowanie przepływem lub ciśnieniem bez resetowania ciśnieniowego zależne od obciążenia (przepływ powietrza) z wszystkich podłączonych pomieszczeń.
- e) Automatyczne sterowanie przepływem lub ciśnieniem z resetowaniem ciśnieniowym zależne od obciążenia (przepływ powietrza) z wszystkich podłączonych pomieszczeń (systemy VAV z regulatorami VFD).

Wpływ typu sterowania jest obliczany zgodnie z PN-EN 15242:2009 (rozdział w normie 6.2.3) z zastosowaniem współczynnika C_{use} , który reprezentuje część czasu, w którym wentylator jest włączony [38].

Wpływ automatycznego sterowania przepływem na zużycie energii jest w dużym stopniu zależny od zastosowanych urządzeń wykonawczych modulujących przepływ (tłumiki, przysłony do wentylatora współosiowego, regulacja prędkości obrotowej). Jest on obliczany zgodnie z PN-EN 15241:2011 (rozdział w normie 6.3.4) poprzez zastosowanie współczynnika C_{cont} . Natomiast wpływ automatycznego sterowania przepływem powietrza z resetowaniem ciśnienia nie jest rozpatrywany w tej normie [39].

Sterowanie zabezpieczeniem przed oszronieniem strony wywiewu wymiennika odzysku ciepła/chłodu

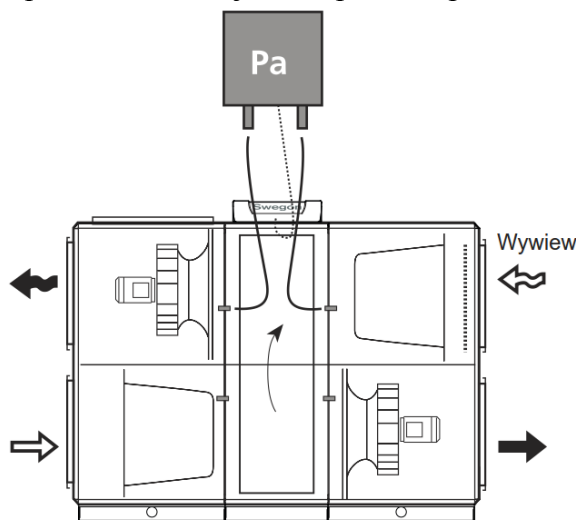
W środowisku, w którym powietrze wywiewane może być bardzo wilgotne możliwe jest wystąpienie oszronienia wymiennika ciepła. W celu zabezpieczenia wymiennika przed zjawiskiem zamrożenia wilgoci powstałej z kondensacji system sterowania powinien zapewnić funkcję ciągłego monitorowania jego pracy. Przykładowo w skutek oszronienia w wymienniku rotacyjnym możliwe jest zatkanie się kanałków rotora. Dlatego rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania zabezpieczeniem przed oszronieniem strony wywiewu wymiennika odzysku ciepła/chłodu:

- a) Bez sterowania przeciwwamrożeniowego – system nie podejmuje żadnych specjalnych działań w okresie zimy.
- b) Ze sterowaniem przeciwwamrożeniowym - w okresie zimy pętla sterowania pozwala zagwarantować, że temperatura powietrza wywiewanego po przejściu przez wymiennik ciepła nie jest zbyt niska, aby nie spowodować oszronienia wymiennika.

Zabezpieczenie przed oszronianiem można realizować na dwa sposoby: (i) zastosowanie bezpośredniej regulacji odszraniania w wymienniku ciepła (obejście, wymiennik obrotowy lub niezależne wyłączanie wentylatorów nawiewnych), (ii) zastosowanie nagrzewnicy odszraniającej ogrzewającej powietrze zewnętrzne. W obu przypadkach dąży się do ograniczenia wartości temperatury powietrza wywiewanego do ustalonej wartości temperatury minimalnej. Standardowo dla budynku mieszkalnego temperatura minimalna na wylocie urządzenia wynosi 5°C, a dla obrotowego wymiennika ciepła w budynkach niemieszkalnych wynosi -5°C. W celu realizacji funkcji odszraniania rotacyjnego wymiennika ciepła stosowane są oddzielne przetworniki ciśnienia, jak przykładowo pokazano na rysunku nr 3.2.

Jeżeli monitorowany spadek ciśnienia na rotorze przekroczy ustawioną wartość ograniczającą uruchamiana jest sekwencja odszraniania. Powoduje ona ograniczenie prędkości obrotowej

rotora i umożliwienie cieplejszemu powietrzu wywiewanemu usunięcie występującego oszronienia. Należy zauważyć, że w czasie aktywacji funkcji odszraniania wydajność wymiennika rotacyjnego spada i obniżona jest temperatura powietrza nawiewanego.



Rys 3.2 Zasada działania funkcji odszraniania z oddzielnymi przetwornikami ciśnienia

Zastosowanie nagrzewnicy odszraniającej ogrzewającej powietrze wiąże się z poborem energii niezbędnym do tego celu. Moc cieplna potrzebną do ogrzania powietrza $P_{defrost}$ [W] obliczana jest z zależności:

$$P_{defrost} = \max[0; 0,34q_v(\theta_{setdefrost} - \theta_{s1})] \quad (13)$$

gdzie:

q_v – strumień objętości powietrza,

$\theta_{setdefrost}$ - wartość ogrzewanej temperatury powietrza,

θ_{s1} – temperatura powietrza nawiewanego przed wymiennikiem ciepła.

Zabezpieczenie przed oszronieniem strony wywiewu wymiennika ciepła jest istotne jako funkcja zapewniająca ciągłość i poprawność pracy systemu HVAC. Jednak jej aktywacja powiązana jest z dodatkowym zużyciem energii. Pomimo tego faktu instalacje zapewniające taką możliwość sterowania oceniane są jako efektywniejsze. Wpływ sterowania zabezpieczeniem przed oszronieniem można rozpatrywać zgodnie z normą PN-EN 15241:2011 (rozdział w normie 6.3.5.3) [39].

Sterowanie wymiennikiem ciepła (zapobieganie przegrzewaniu)

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania wymiennikiem ciepła (zapobieganie przegrzewaniu):

- a) Bez sterowania zapobiegającego przegrzewaniu – system nie podejmuje żadnych specjalnych działań w okresach ciepłym lub przejściowym.
- b) Ze sterowaniem zapobiegającym przegrzewaniu - w okresach, gdy efekt działania wymiennika ciepła nie jest korzystny, pętla sterująca wyłącza lub moduluje działanie wymiennika z wykorzystaniem obejścia (bypass) wymiennika ciepła. Monitorowanym parametrem jest temperatura nawiewu, którą ograniczana jest do ustalonej wartości maksymalnej temperatury nawiewu.

Wpływ sterowania w celu zapobieganiu przegrzewaniem można rozpatrywać zgodnie z normą PN-EN 15241:2011 (rozdział w normie 6.3.5.4) [39].

Swobodne chłodzenie mechaniczne

Chłodzenie swobodne jest rozwiązaniem wykorzystującym niższą temperaturę powietrza zewnętrznego względem powietrza wewnętrznego do chłodzenia struktury budynku i odprowadzenia zysków ciepła, bez udziału lub z ograniczeniem mechanicznych urządzeń chłodniczych wykorzystujących energię. Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania swobodnego chłodzenia mechanicznego:

- a) Brak automatycznego sterowania – system nie umożliwia sterowania swobodnym chłodzeniem.
- b) Chłodzenie nocne – w okresie nieobecności użytkowników w pomieszczeniach funkcja wykorzystuje chłodniejsze powietrze zewnętrzne, np. wcześnie rano, do schłodzenia konstrukcji wewnętrznej budynku i powietrza wewnętrznego. Ilość powietrza zewnętrznego dostarczanego do pomieszczeń jest ustawiana na maksimum (w pełni otwarte kalpy powietrza zewnętrznego): (i) jeżeli temperatura w pomieszczeniach jest wyższa niż wartość zadana dla okresu komfortu – wartość wymagana w nadchodzącym okresie zajętości oraz (ii) jeżeli różnica temperatur pomiędzy temperaturą pomieszczenia i temperaturą zewnętrzną jest powyżej określonego limitu. Jeżeli swobodne chłodzenie jest realizowane przez automatycznie otwierane okna, wtedy nie jest realizowane sterowanie przepływem powietrza.
- c) Chłodzenie swobodne – strumienie (ilość powietrza) zewnętrznego i powietrza recyrkulacyjnego są dostosowywane we wszystkich okresach, tak, aby minimalizować ilość chłodzenia mechanicznego. Funkcja sterowania zapewnia wartości wyjściowe do metody optymalizacji energii podczas dostosowywania powietrza zewnętrznego. Obliczenia są wykonywane na podstawie temperatur.
- d) Bezpośrednie sterowanie H,x - ilość powietrza zewnętrznego i powietrza recyrkulacyjnego są dostosowywane we wszystkich okresach, tak, aby minimalizować ilość chłodzenia mechanicznego. Funkcja sterowania zapewnia wartości wyjściowe do metody optymalizacji energii podczas dostosowywania powietrza zewnętrznego. Obliczenia określają wymagane wartości powietrza zasilającego o określonej temperaturze w pomieszczeniu i wilgotności względnej. Wykorzystując wykres Molliera, diagram h,x lub psychrometryczny, w obliczeniach określa się wartości temperatur i wilgotności (entalpii).

Wpływ funkcji powinien być obliczany poprzez określenie dla każdego okresu obliczeniowego równoważnego współczynnika przepływu powietrza.

Sterowanie temperaturą powietrza zasilającego na poziomie jednostki przygotowującej powietrze

Możliwe jest wyszczególnienie kilku temperatur powietrza zasilającego w systemie klimatyzacji. Temperatura powietrza zasilającego na wylocie jednostki przygotowującej powietrze, temperatura powietrza zasilającego na wylocie nagrzewnicy centralnej jak również temperatura powietrza zasilającego na poziomie pomieszczenia. Głównym zadaniem sterowania jest określenie punktu nastawy temperatury powietrza zasilającego na poziomie jednostki przygotowującej powietrze, a nie sterowanie temperaturą. Jeżeli instalacja dostarczania powietrza obsługuje tylko jedno pomieszczenie i jest sterowana w zależności do temperatury w tym pomieszczeniu, to jako metodę sterowania powinno się stosować

rozwiązania przedstawione w rozdziale 3.1.1, nawet wtedy, gdy sterowanie oddziałuje na temperaturę powietrza zasilającego. W innych przypadkach rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania temperaturą powietrza zasilającego:

- a) Brak automatycznego sterowania - nie występuje pętla sterowania oddziałująca na temperaturę powietrza zasilającego.
- b) Stały wartość zadana - pętla sterowania pozwala stabilizować temperaturę powietrza zasilającego, wartość zadana jest stała i może być modyfikowana ręcznie.
- c) Zmienna wartość zadana z kompensacją od temperatury zewnętrznej - pętla sterowania pozwala stabilizować temperaturę powietrza zasilającego. Wartość zadana jest prostą funkcją zależną od temperatury zewnętrznej (np. funkcją liniową).
- d) Zmienna wartość zadana z kompensacją zależną od obciążenia - pętla sterowania pozwala stabilizować temperaturę powietrza zasilającego. Wartość zadana jest zdefiniowana jako funkcja zależna od obciążenia cieplnego w pomieszczeniu. Realizacja tej funkcji jest możliwa z wykorzystaniem zintegrowanego systemu sterowania, który umożliwia zbieranie pomiarów temperatur lub położenia elementów wykonawczych w różnych pomieszczeniach.

Jeżeli działanie systemu sterowanie nie zapobiega równoczesnemu ogrzewaniu i chłodzeniu, funkcja opisana w rozdziale 3.1.1, to sterowanie temperaturą należy rozpatrywać szczególnie uważnie.

Wpływ sterowania temperaturą powietrza zasilającego można obliczyć zgodnie z normą PN-EN 15241:2011 (rozdziały w normie 6.3.7 i 6.3.8). W przypadku ogrzewania powietrze nawiewane ogrzewa się do wartości θ_{setPH} ze względu na zapewnienie komfortu. Wymaganą moc cieplną $P_{preheat}$ [W] oblicza się z następującej zależności:

$$P_{preheat} = \max[0; 0,34q_{vPH}(\theta_{setPH} - \theta_1)] \quad (14)$$

gdzie:

q_{vPH} – strumień objętości powietrza,

θ_{setPH} - wartość zadana ogrzewania temperatury powietrza,

θ_1 – temperatura powietrza nawiewanego przed nagrzewnicą.

W przypadku chłodzenia powietrze nawiewane ochładza się do wartości θ_{setPC} ze względu na zapewnienie komfortu. Wymaganą moc cieplną $P_{precool}$ [W] oblicza się z następującej zależności:

$$P_{precool} = q_{vPC} * [0,83 * (x_2 - x_1) + 0,34 * (\theta_{setPH} - \theta_1)] \quad (15)$$

gdzie:

q_{vPC} – strumień objętości powietrza,

θ_1 – temperatura powietrza nawiewanego przed chłodnicą,

θ_2 – temperatura powietrza nawiewanego za chłodnicą (wartość zależna od θ_{setPC}),

x_1 – zawartość wilgoci w powietrzu przed chłodnicą,

x_2 – zawartość wilgoci w powietrzu za chłodnicą (wartość zależna od θ_{setPC}).

Sterowanie wilgotnością

Sterowanie wilgotnością może obejmować nawilżanie i/lub osuszanie. Sterowniki mogą realizować „sterowanie ograniczeniem wilgotności” lub „stabilizację wilgotności”. Sterowanie ograniczeniem wilgotności utrzymuje wilgotność powietrza w dużym przedziale strefy neutralnej. Pętla sterowania umożliwia uniknięcia przejścia powyżej lub poniżej wartości progowej wilgotności powietrza zasilającego. Sterowanie to jest wykorzystywane by zapewnić

odpowiednio komfortowe warunki dla użytkowników pomieszczenia lub jako zabezpieczenie budynku przed rozwojem wilgoci w jego wnętrzu. Stabilizacja wilgotności utrzymuje wilgotność powietrza w małym przedziale strefy neutralnej. Pętla sterowania umożliwi utrzymanie wartości wilgotności powietrza zasilającego na stałym poziomie. Przykładowo funkcja ta jest wykorzystywana w pomieszczeniach procesów produkcyjnych.

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania wilgotnością:

- a) Brak automatycznego sterowania - nie ma pętli sterowania oddziałującej na wilgotność powietrza.
- b) Sterowanie punktem rosy - wilgotność powietrza nawiewanego lub powietrza w pomieszczeniu odpowiada temperaturze punktu rosy i jeżeli potrzeba, to powietrze nawiewane jest podgrzewane.
- c) Bezpośrednie sterowanie wilgotnością powietrza nawiewanego lub powietrza w pomieszczeniu - pętla sterowania umożliwi utrzymanie wartości zadanej wilgotności powietrza nawiewanego lub powietrza w pomieszczeniu. Wartość zadana wilgotności może być stałą wstępnie zdefiniowaną przez użytkownika lub zmieniającą się optymalną wartością w celu minimalizacji zużycia energii, jednak w granicach założonych dla wentylacji i klimatyzacji pomieszczenia.

W większości przypadków zużycie energii dla celów sterowania ograniczeniem wilgotności jest znacznie mniejsze niż dla celów stabilizacji wilgotności. Im większa jest strefa neutralna ($h_{max} - h_{min}$) tym mniejsza ilość energii jest wymagana do sterowania wilgotnością powietrza. Zakłada się, że temperatura powietrza po przejściu przez nawilżacz pozostaje stała (nawilżanie parowe) lub to powietrze jest podgrzewane aby utrzymać ją na stałym poziomie (nawilżanie wodne). Wpływ sterowania wilgotnością powinien być rozpatrywany zgodnie z zapisami normy PN-EN 15241:2011 (rozdział w normie 6.3.9). Moc cieplną P_{humid} [W] wymaganą do nawilżenia powietrza w stałej temperaturze można obliczyć z zależności:

$$P_{humid} = 0,83q_{vhum}[0; (x_{sethum} - x_1)] \quad (16)$$

gdzie:

q_{vhum} - strumień objętości powietrza, przepływający przez nawilżacz,

x_{sethum} - wartość zadana wilgotności powietrza,

x_1 - zawartość wilgoci w powietrzu przed nawilżaczem.

W przypadku chłodzenia powietrze nawiewane ochładza się do wartości θ_{setPC} ze względu na zapewnienie komfortu.

3.1.4. Podsystem sterowania oświetleniem

W ramach podsystemu oświetlenia należy wyróżnić różne funkcje systemów BACS:

Sterowanie od obecności (zajętości) pomieszczenia

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania od obecności (zajętości) pomieszczenia:

- a) Ręczny wyłącznik załącz/wyłącz - oświetlenie jest załączane i wyłączane ręcznym wyłącznikiem w pomieszczeniu.
- b) Ręczny wyłącznik załącz/wyłącz wraz z dodatkowym centralnym wyłączaniem ogólnym - oświetlenie jest załączane i wyłączane ręcznym wyłącznikiem w pomieszczeniu. Dodatkowo, automatyczny sygnał automatycznie wyłącza oświetlenie przynajmniej raz dziennie, typowo wieczorem, aby uniknąć niepotrzebnego działania oświetlenia w nocy.
- c) Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości): Automatyczne załączanie/ściemnianie

wyłączanie - system sterowania automatycznie załącza oświetlenie, jeżeli jest wykryta obecność w oświetlanym obszarze, i automatycznie przelącza je do stanu zredukowanego naświetlenia (nie więcej niż 20% stanu normalnego) nie później niż po 5 min po ostatniej obecności w oświetlanym obszarze. Dodatkowo, nie później niż po 5 min od ostatnio wykrytej obecności w pomieszczeniu jako całości, oświetlenie jest automatycznie wyłączane całkowicie.

- d) Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości): Automatyczne załączanie/automatyczne wyłączanie - system sterowania automatycznie załącza oświetlenie, jeżeli jest wykryta obecność w oświetlanym obszarze, i automatycznie wyłącza je całkowicie nie później niż po 5 min od ostatnio wykrytej obecności w oświetlanym obszarze.
- e) Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości): Ręczne załączanie/ściemnianie wyłączanie - oświetlenie może być załączane tylko za pomocą ręcznego wyłącznika znajdującego się w oświetlanym obszarze (lub bardzo blisko tego obszaru), jeżeli nie jest wyłączone ręcznie, to jest automatycznie przelącza do stanu zredukowanego naświetlenia (nie więcej niż 20% stanu normalnego) nie później niż po 5 min po ostatniej obecności w oświetlanym obszarze. Dodatkowo, nie później niż po 5 min od ostatnio wykrytej obecności w pomieszczeniu jako całości, oświetlenie jest automatycznie wyłączane całkowicie.
- f) Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości) – Ręczne załączanie/automatyczne wyłączanie - oświetlenie może być załączane tylko za pomocą ręcznego wyłącznika znajdującego się w oświetlanym obszarze (lub bardzo blisko tego obszaru), jeżeli nie jest wyłączone ręcznie, to jest automatycznie i całkowicie wyłączane przez system sterowania automatycznego nie później niż po 5 min od ostatnio wykrytej obecności w oświetlanym obszarze.

Instalacje objęte sterowaniem automatyczne pozostawiające oświetlenie w stanie ściemnionym podczas braku obecności w oświetlanej przestrzeni zużywają więcej energii, niż te które są całkowicie wyłączone. Jednak w pomieszczeniach takich jak biura o dużych otwartych przestrzeniach użytkownicy budynków często podnoszą zarzut braku komfortu, jeśli światło jest całkowicie wyłączone w innych nieużytkowanych częściach pomieszczenia. Obserwuje się, że instalacje włączające się automatycznie, często reagują w sposób niewłaściwy. Przykładowo, krótko trwałe wkroczenie do pomieszczenia, wykrywanie ruchu na korytarzu przez otwarte drzwi np. regularnie przechodzących pracowników sprzątających, zazwyczaj nie wymaga załączenia oświetlenia. Jednak jeżeli zdarzenie zostanie rozpoznane przez system, będzie to skutkowało załączeniem oświetlenia. Dlatego skutecznym rozwiązaniem okazuje się taka praca systemu, w której oświetlenie jest załączane ręcznie, natomiast wyłączanie lub ściemnianie jest realizowane automatycznie. Należy zauważyć, że w takich systemach istotniejsza jest detekcja opuszczenia pomieszczenia.

Wpływ systemu sterującego można obliczyć zgodnie z normą PN-EN 15193:2010. Jest on obliczany za pomocą podejścia czasowego, ponieważ w przypadku instalacji oświetlenia system sterowania ma bezpośredni wpływ na czas jej działania. Zużycie energii w danym okresie można określić za pomocą równania:

$$E = P * t * F_C \quad (17)$$

gdzie:

E – zużycie energii w danym okresie,

P – moc elektryczna wszystkich opraw oświetleniowych w pomieszczeniu lub strefie,

t – długość okresu,

F_C – współczynnik reprezentujący wpływ systemu sterującego, określa on stosunek czasu działania instalacji nadzorowanej systemem sterowania do długości okresu.

Czas w którym światło jest włączone, uzyskiwany jest przez pomnożenie czasu zajętości budynku przez współczynnik redukcyjny, zgodnie z zależnością:

$$(t_D * F_O * F_D) + (t_n * F_O) \quad (18)$$

gdzie:

F_O – współczynnik zależności od obecności,

F_D – współczynnik wykorzystania światła dziennego,

t_D – czas funkcjonowania oświetlenia z udziałem światła dziennego,

t_n – czas funkcjonowania oświetlenia bez udziału światła dziennego.

Wpływ sterowania zajętością możliwy jest do określania zgodnie zapisami normy PN-EN 15193:2010. Uwzględnia on współczynnik F_{OC} zależny od typu sterowania, wartości tego współczynnika przedstawia tabela 3.4

Tabela 3.4 Wartości współczynnika ustalone jako funkcja systemu sterowania oświetleniem

Systemy bez automatycznej detekcji obecności lub absencji	F_{OC}
Przełącznik ręczny Włącz/Wyłącz	1,00
Przełącznik ręczny Włącz/Wyłącz + dodatkowy automatyczny sygnał wzorujący wygaszenie	0,95
Systemy z automatyczną detekcją obecności lub absencji	F_{OC}
Automatyczne Włączanie/Ściemnienie	0,95
Automatyczne Włączenie/Wyłączenie	0,90
Ręczne Włączenie/Ściemnienie	0,90
Ręczne Włączenie/Automatyczne wyłączenie	0,80

Sterowanie od oświetlenia dziennego

Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania od oświetlenia dziennego:

- Sterowanie przez centralny sterownik nieuwzględniający oświetlenia dziennego - system sterowania nie uwzględnia oświetlenia dziennego.
- Ręczny wyłącznik - system sterowania nie uwzględnia oświetlenia dziennego.
- Automatyczne załączanie/automatyczne wyłączanie: sterowanie z uwzględnieniem światła dziennego - system sterowania automatycznego uwzględnia światło dzienne w sterowaniu automatycznym opisanym w poprzednim podrozdziale.
- Automatyczne rozjaśnianie/automatyczne ściemnianie: sterowanie z uwzględnieniem światła dziennego - system sterowania automatycznego uwzględnia światło dzienne w sterowaniu automatycznym opisanym w poprzednim podrozdziale.

W celu oszacowania wpływu sterowania dziennym oświetleniem należy określić współczynnik wykorzystania światła dziennego F_D . Zależność opisująca ten współczynnik przyjmuje postać:

$$F_D = 1 - (F_{D,S,n} * F_{D,C,n}) \quad (19)$$

gdzie:

$F_{D,S,n}$ – współczynnik zasilania światłem dziennym,

$F_{D,C,n}$ – współczynnik sterowania oświetleniem zależnym od światła dziennego, opisuje on efektywność sterowania zasilania światłem dziennym w danej przestrzeni.

Wartości współczynnika $F_{D,C,n}$ zależą od (i) typu sterowania ręczny/automatyczny oraz od (ii) stopnia penetracji światła dziennego do budynku: słaby/średni/silny i zostały przedstawione w tabeli nr 3.5.

Tabela 3.5 $F_{D,C,n}$ jako funkcja wnikania światła dziennego

System sterowania sztucznym oświetleniem	$F_{D,C,n}$ jako funkcja wnikania światła dziennego		
	Słaby	Średni	Silny
Ręczny	0,20	0,30	0,40
Automatyczny, zależny od światła dziennego	0,75	0,77	0,85

Zaleca się, aby czujnik światła dziennego był montowany w miejscach właściwych do wykrywania odpowiednich zmian w świetle dziennym.

3.1.5. Podsystem sterowania zasłonami (roletami)

W ramach podsystemu ochrony przeciwsłonecznej należy wyróżnić różne funkcje systemów BACS:

Sterowanie zasłonami (roletami)

Wyróżnia się dwa powody sterowania żaluzjami: ochrona przeciwsłoneczna w celu unikania przegrzewania (od nasłonecznienia słonecznego) oraz unikanie osłepiania. Rozróżnia się co najmniej następujące typy sterowania zasłonami (roletami):

- Działanie ręczne - głównie stosowane tylko do ręcznego zasłaniania, oszczędności energetyczne zależne tylko od zachowań użytkownika.
- Napęd elektryczny ze sterowaniem ręcznym - głównie stosowane tylko najprostszego ręcznego zasłaniania (wspomagane napędem), oszczędności energetyczne zależne tylko od zachowań użytkownika.
- Napęd elektryczny ze sterowaniem automatycznym - automatycznie sterowane zaciemnianie w celu ograniczenia zużycia energii chłodniczej.
- Zintegrowane sterowanie oświetleniem/ zasłanianiem/ HVAC - automatycznie sterowane w celu optymalizacji zużycia energii dla wentylacji i klimatyzacji, żaluzji i oświetlenia z uwzględnieniem zajętości lub jej braku w pomieszczeniu.

Wpływ sterowania zasłonami na nasłonecznienie można rozważać zgodnie z warunkami dotyczącymi ruchomych urządzeń zaciemniających, opisanymi w normie PN-EN ISO 13790:2009 (rozdział w normie 11.4.3). W celu uwzględnienia zaciemnienia od ruchomych urządzeń zaciemniających wprowadza się współczynnik redukcyjny $F_{sh,gl}$ opisany równaniem:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1-f_{sh,with})g_{gl}+f_{sh,with}g_{gl+sh}}{g_{gl}} \quad (20)$$

gdzie:

g_{gl} - całkowita przepuszczalność energii słonecznej okna, gdy osłona przeciwsłoneczna nie jest stosowana;

g_{gl+sh} - całkowita przepuszczalność energii słonecznej okna, gdy osłona przeciwsłoneczna jest stosowana,

$f_{sh,with}$ - ważony udział czasu z użyciem osłony przeciwsłonecznej, tj. jako funkcji intensywności podającego promieniowania słonecznego.

3.1.6. Techniczne zarządzanie domem i budynkiem

Techniczne zarządzanie domem i budynkiem (ang. TBM) usprawnia obsługę systemu automatyzacji i sterowania budynkiem oraz ułatwia adaptację jego działania do potrzeb użytkowników. W ramach jego działania powinno się sprawdzać, w regularnych odstępach czasu, poprawność ustawień harmonogramów ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i oświetlenia. Weryfikacja planowanej pracy z rzeczywistym działaniem harmonogramów oraz odpowiedniego dobrania nastaw jest istotna z punktu widzenia wpływu BACS na efektywność energetyczną. Dodatkowo powinno się zwracać uwagę, na konfigurację wszystkich modułów automatyki i sterowników, włączając w to zarówno wartości punktów nastaw jak również parametry sterowania (np. dobranie współczynników regulatorów PI). Jest to szczególnie istotne w przypadku ogrzewania i chłodzenia, gdzie użytkownik, z poziomu pomieszczenia, może często modyfikować wartości zadane. Odpowiednio zintegrowany BACS i TBM umożliwia wykrywanie i korygowanie skrajnych wartości punktów nastaw, omyłkowo wprowadzonych przez użytkowników. Funkcje technicznego zarządzania domem i budynkiem są szczególnie przydatne do spełnienia wymagań dyrektywy właściwości energetycznych budynków EPBD 2010/31/UE (np. Artykuł 11 świadectwa charakterystyki energetycznej, artykuł 14 przeglądy systemów ogrzewania, artykuł 15 przeglądy systemów klimatyzacji). W ramach technicznego zarządzania domem i budynkiem należy wyróżnić różne typy funkcji:

Monitorowanie

Głównym zadaniem funkcji monitorowanie jest wykrywanie usterek systemów technicznych budynków i zapewnienie wsparcia diagnostyki tych usterek. Rolą tej funkcji jest wsparcie użytkownika w dostosowaniu działania BACS do jego potrzeb oraz optymalizacja ustawień różnych kontrolerów. W celu umożliwienia szybkiego wykrywania usterek, powinny być zapewnione następujące możliwości funkcji monitorującej:

- a) Niewłaściwe działanie harmonogramów – Funkcja monitorująca powinna umożliwiać diagnostykę niewłaściwego ich działania. Przez zapewnienie reprezentacji, w postaci wykresu lub kontrolki, co najmniej informacji dotyczących czasu, w którym: (i) uruchomiona jest wentylacja, (ii) działa system chłodzenia, (iii) system ogrzewania pracuje w trybie normalny, (iv) oświetlenie jest włączone. Funkcja ta ma znaczenie w budynkach, które nie są stale zajęte (np. biura, szkoły, sale konferencyjne).
- b) Niewłaściwe wartości nastaw – Funkcja monitorująca powinna umożliwiać szybkie wykrywanie niewłaściwie zadanych nastaw temperatury w pomieszczeniach. Do jej realizacji powinno się zastosować wykresy lub kontrolki przedstawiające informacje dotyczące ogólnego przeglądu różnych nastaw temperatury w pomieszczeniach dla ogrzewania i chłodzenia.
- c) Równoczesne ogrzewanie i chłodzenie – jeśli możliwe jest wystąpienie równoczesnego ogrzewania i chłodzenia, to powinno się tak zrealizować funkcję monitorującą, aby nadzorowała czy zjawisko to jest wyeliminowane lub zminimalizowane. Funkcja sterująca powinna regularnie modyfikować wartości zadane, aby zminimalizować jednoczesne korzystanie z ogrzewania i chłodzenia. Funkcja powinna również wykrywać szybkie przełączanie pomiędzy trybami ogrzewania i chłodzenia.
- d) Priorytet źródła (źródeł) charakteryzujących się najlepszą sprawnością energetyczną – jeśli w instalacji technologicznej występują różne źródła ciepła lub chłodu, to należy zastosować

sekwencyjne sterowanie różnymi źródłami. Natomiast funkcja monitorująca powinna być tak zrealizowana, aby weryfikować poprawność dobranych priorytetów pracy źródeł. Funkcja monitorująca powinna zapewnić rejestrację zdarzeń i danych historycznych i ich odpowiednią prezentację. Dodatkowo na jej podstawie możliwe jest opracowanie funkcji alarmującej, która jest narzędziem wykrywającym niepoprawne działanie BACS lub wystąpienie specyficznych zjawisk.

Raportowanie

Głównym zadaniem tej funkcji jest raportowanie dotyczące zużycia energii, warunków wewnętrznych oraz możliwości ich poprawy. Raporty powinny zawierać następujące informacje:

- a) Certyfikat energetyczny budynku.
- b) Rezultaty funkcji monitorującej, która powinna być stosowana do uzyskania pomiarowego wskaźnika energetycznego opartego na energii dostarczonej i eksportowanej z budynku. Podejście to zostało przedstawione w normie PN-EN 15603:2008 (rozdział w normie 7). Wskaźnik ten może być używany do przygotowania certyfikatu energetycznego opracowanego zgodnie z normą PN-EN 15217:2008 [40].
- c) Oszacowanie wpływu ulepszeń budynku i systemów oddziałujących na zużycie energii – Oszacowanie takie można przeprowadzić zgodnie z metodą oceny efektywności energetycznej możliwych usprawnień, zgodnie z normą PN-EN 15603:2008 (rozdział w normie 9). Zastosowana funkcja monitorująca, zgodna z PN-EN 15603:2008, powinna umożliwić uwzględnienie aktualnych wartości dotyczących danych klimatycznych, temperatury wewnętrznej, zysków wewnętrznych, zużycia ciepłej wody i oświetlenia.
- d) Wartość monitorowanej energii – funkcja monitorowania energii mogą być wykorzystane do przygotowania i prezentacji wykresów monitorowania energii określonych w załączniku B do normy PN-EN 15603:2008 [41].
- e) Wartości monitorowanej temperatury wewnętrznej i jakości powietrza wewnętrznego – Funkcja monitorująca może zostać wykorzystana do sporządzenia raportu dotyczącego skutecznej temperatury powietrza lub temperatury wewnętrznej, a także jakości powietrza w pomieszczeniach. W przypadku budynków, które nie są stale zajmowane, powinno się różnicować budynki zajęte i niezajęte. W przypadku budynków, które są ogrzewane i chłodzone, raport powinien różnicować okresy chłodzenia i ogrzewania.

Raporty powinny zawierać wartości aktualne i wartości wzorcowe, takie jak punkty nastaw.

3.2. Analiza obszarów integracji w systemach automatyzacji ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej infrastruktury budynkowej i instalacji

Zidentyfikowane w rozdziale 2.4 elementy infrastruktury sterującej i monitorującej (patrz tabela 2.2), których znaczenie zostało przedstawione w rozdziale 3.1, mogą w sposób bezpośredni lub pośredni oddziaływać na zużycie różnych form energii zastosowanych w budynku podsystemów i instalacji technologicznych. Na ogół celem takiego oddziaływania

jest minimalizacja zużycia energii w budynku oraz poprawa jego efektywności energetycznej. Kluczowym działaniem w tym zakresie jest wykonanie odpowiedniej integracji poszczególnych podsystemów i instalacji z wykorzystaniem BACS. Sposoby sterowania podsystemami i możliwości ich integracji zostały przedstawione w tabeli nr 3.6, zbudowanej na podstawie tabeli nr 2.2 oraz zapisów normy PN-EN 15232. Możliwe jest określenie kilku trybów integracji:

- Brak możliwości integracji – to taka organizacja instalacji technologicznych, w której brak jest urządzeń automatyki lub jeżeli są zastosowane to nie umożliwiają wykonania integracji pomiędzy podsystemami spotykanymi w budynku.
- Ograniczona możliwość integracji - to taka organizacja instalacji technologicznych, w której do sterowania zastosowano urządzenia automatyki nadzorujące ich pracę. Jednak z reguły są to rozwiązania dedykowane do danych zastosowań, posiadające znaczne ograniczenia lub uniemożliwiające bezproblemową integrację urządzeń automatyki w ramach różnych instalacji technologicznych, podsystemów, sensorów lub elementów wykonawczych. W przypadku zastosowania sterownika zarządzalnego lub swobodnie programowalnego, pełniącego rolę centralnego sterownika w podsystemie, integracja często wiąże się z rozbudową systemu sterowania - doposażeniem w, o ile istnieją, dedykowane bramki, gateway (pełniące rolę translatorów pomiędzy protokołami), wykonaniem połączeń „twardo-drutowych” oraz dużym nakładem inżynierskich prac integratorskich. Próby takiej integracji mogą okazać się dość kosztowne lub wręcz bezcelowe. Często w takiej organizacji nie stosuje się systemów nadrzędnych, umożliwiających monitoring, zarządzanie i archiwizację danych.
- Częściowa możliwość integracji – to taka organizacja instalacji technologicznych, w której do sterowania zastosowano różne, osobne systemy automatyki BAC nadzorujące ich pracę. W poszczególnych autonomicznych BAC instalowane są, przewidziane w ramach klasycznego procesu projektowania budynku, moduły automatyki (czujniki, elementy wykonawcze) oraz sterowniki odpowiadające za pracę danego podsystemu w pomieszczeniach lub w określonych strefach. Stosowana w ramach poszczególnych BAC komunikacja, z reguły ma za zadanie umożliwienie wymiany danych pomiędzy sterownikami (informacjami w nich zagregowanymi) konkretnego podsystemu oraz z ewentualnie zastosowanym niezależnym systemem zarządzania (np. monitorującym pracę tylko danego podsystemu). Integracja pomiędzy osobnymi podsystemami, wyposażonymi w dedykowane BAC, z reguły realizowana jest na poziomie nadrzędnym lub na poziomie automatyki (np. serwery automatyki). W istniejących budynkach powszechnie spotykane jest stosowanie wielu różnych, autonomicznych względem siebie, systemów automatyki. Większość tych systemów jest wyposażona w urządzenia z własnymi interfejsami komunikacyjnymi i działa w trybie niezależnym. Wyzwaniem dla personelu administrującego i zarządzającego jest nauczenie się obsługi każdego systemu z osobna. Wyznaczane są specjalne zespoły, aby zapewnić odpowiednio wysokie umiejętności w obsłudze każdego systemu. W efekcie budynki znajdujące się w tym samym kampusie lub na terenie tego samego obiektu są obsługiwane w sposób indywidualny, zamiast zbiorczo jako grupa, co prowadzi do mało efektywnego zarządzania zasobami operacyjnymi.
- Pełna możliwość integracji – to taka organizacja instalacji technologicznych, w której do sterowania zastosowano zintegrowane systemy rozproszone lub sieci sterowania

nadzorujące ich pracę. W poszczególnych podsystemach, objętych kontrolą systemu automatyzacji i sterowania budynkiem (BACS), instalowane są, przewidziane w ramach zintegrowanego procesu projektowania budynku zorientowanego na uzyskanie określonej efektywności energetycznej, moduły automatyki (czujniki, elementy wykonawcze) oraz sterowniki odpowiadające za pracę systemu w pomieszczeniach lub w określonych strefach. Przy takiej organizacji stosowana jest integracja modułów automatyki na poziomie obiektowym lub na poziomie automatyki, z wykorzystaniem wspólnego protokołu komunikacyjnego lub ewentualnie z zastosowaniem bramek i sterowników umożliwiających obsługę innych standardów. Przy takiej organizacji, z reguły stosowany jest jeden wspólny system z jednolitą platformą komunikacji danych, umożliwiający monitoring, zarządzanie i archiwizację danych – techniczne zarządzanie budynkiem, stanowiący system nadrzędny względem BACS. Główną korzyścią wynikającą z takiego sposobu integracji jest optymalizacja procesów oraz połączenie i analiza, tradycyjnie oddzielnych, systemów oraz funkcji monitoringu i sterowania w celu zwiększenia wydajności operacyjnej i energooszczędności.

Tabela 3.6. Sposoby sterowania podsystemami i możliwości ich integracji

Podsystem ogrzewania	Możliwości integracji
1. Sterowanie emisją (wydatkiem)	
1.1. Brak automatycznego sterowania temperaturą pomieszczenia	Brak możliwości integracji
1.2. Centralne automatyczne sterowanie	Ograniczona możliwość integracji
1.3. Indywidualne, automatyczne sterowanie pomieszczenia za pomocą zaworu termostatycznego lub sterownika pomieszczenia	Ograniczona możliwość integracji, np.: <ul style="list-style-type: none"> • Sterowniki pomieszczeń umożliwiają określenie punktów nastaw (np. temperatury) oraz wybór trybu pracy (np. tryb dzienny/nocny) oraz monitorowanie jej wartości.
1.4. Indywidualne sterowanie pomieszczenia z komunikacją pomiędzy sterownikami oraz do systemu automatyki budynku (BACS)	Częściowa możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Możliwość zastosowania: programów czasowych oraz ręcznego ustawienia zajętości pomieszczenia w wybranych okresach, • Na ogół programy czasowe oraz resetowania wartości punktów nastaw umożliwia ograniczenie strat ciepła.
1.5. Zintegrowane indywidualne sterowanie pomieszczenia uwzględniające zapotrzebowanie (harmonogramy, zajętość)	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu), • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu, • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia oraz określenie jego zapotrzebowania na pracę systemu ogrzewania przez wybór odpowiedniej formy energii oraz obliczanie punktów nastaw.
2. Sterowanie emisją przez termoaktywne systemy budynkowe (ang. TABS)	
2.1. Brak automatycznego sterowania temperaturą pomieszczenia	Brak możliwości integracji
2.2. Centralne automatyczne sterowanie	Ograniczona możliwość integracji
2.3. Zaawansowane centralne automatyczne sterowanie	Częściowa możliwość integracji, np. : <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów środowiskowych (np. temperatura)
2.4. Zaawansowane centralne automatyczne sterowanie z działaniem okresowym i/lub sterowaniem ze sprzężeniem zwrotnym od temperatury w pomieszczeniu	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Możliwość zastosowania: programów czasowych oraz ręcznego ustawienia stanu pracy w wybranych okresach, • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu

3. Sterowanie z przerwami zasilania i/lub dystrybucji	
3.1. Brak automatycznego sterowania	Brak możliwości integracji
3.2. Automatyczne sterowanie ze stałym programem czasowym	Częściowa możliwość integracji, np.: <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie programów czasowych ze stałymi nastawami • Możliwość zastosowania trybu kompensacji letniej.
3.3. Automatyczne sterowanie z optymalnym start-stopem	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Określenie zapotrzebowania na pracę systemu ogrzewania przez wybór odpowiedniej formy energii oraz uwzględnienie kompensacji letniej wraz z obliczeniem optymalnego start/stopu. - umożliwia to redukcję strat ciepła w godzinach porannych
3.4. Automatyczne sterowanie z oceną zapotrzebowania	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – ocena zapotrzebowania redukuje straty energii podczas braku obecności w pomieszczeniu.

Podsystem chłodzenia	Elementy infrastruktury sterującej
1. Sterowanie emisją (wydatkiem)	
1.1. Brak automatycznego sterowania temperaturą pomieszczenia	Brak możliwości integracji
1.2. Centralne automatyczne sterowanie	Ograniczona możliwość integracji
1.3. Indywidualne, automatyczne sterowanie pomieszczenia za pomocą zaworu termostatycznego lub sterownika pomieszczenia	Ograniczona możliwość integracji, np.: <ul style="list-style-type: none"> • Sterowniki pomieszczeń umożliwiają określenie punktów nastaw (np. temperatury) oraz wybór trybu pracy (np. tryb dzienny/nocny) oraz monitorowanie jej wartości.
1.4. Indywidualne sterowanie pomieszczeń z komunikacją pomiędzy sterownikami oraz do systemu automatyki budynku (BACS)	Częściowa możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Możliwość zastosowania: programów czasowych oraz ręcznego ustawienia zajętości pomieszczenia w wybranych okresach, • Na ogół programy czasowe oraz resetowania wartości punktów nastaw umożliwia ograniczenie strat ciepła.
1.5. Zintegrowane indywidualne sterowanie pomieszczeń uwzględniające zapotrzebowanie (harmonogramy, zajętość, jakość powietrza)	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu),

	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu (temperatura, jakość powietrza), • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia oraz określenie jego zapotrzebowania na pracę systemu ogrzewania poprzez wybór odpowiedniej formy energii oraz obliczanie punktów nastaw.
2. Sterowanie emisją przez termoaktywne systemy budynkowe (ang. TABS)	
2.1. Brak automatycznego sterowania temperaturą pomieszczenia	Brak możliwości integracji
2.2. Centralne automatyczne sterowanie	Ograniczona możliwość integracji
2.3. Zaawansowane centralne automatyczne sterowanie	Częściowa możliwość integracji, np. : <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów środowiskowych (np. temperatura)
2.4. Zaawansowane centralne automatyczne sterowanie z działaniem okresowym i/lub sterowaniem ze sprzężeniem zwrotnym od temperatury w pomieszczeniu	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Możliwość zastosowania: programów czasowych oraz ręcznego ustawienia stanu pracy w wybranych okresach, • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu
3. Sterowanie z przerwami zasilania i/lub dystrybucji	
3.1. Brak automatycznego sterowania	Brak możliwości integracji
3.2. Automatyczne sterowanie ze stałym programem czasowym	Częściowa możliwość integracji, np.: <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie programów czasowych ze stałymi nastawami • Możliwość zastosowania trybu kompensacji letniej.
3.3. Automatyczne sterowanie z optymalnym start-stopem	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Określenie zapotrzebowania na pracę systemu ogrzewania przez wybór odpowiedniej formy energii oraz uwzględnienie kompensacji letniej wraz z obliczeniem optymalnego start/stopu. - umożliwia to redukcję strat ciepła w godzinach porannych
3.4. Automatyczne sterowanie z oceną zapotrzebowania	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – ocena zapotrzebowania redukuje strat energii podczas braku obecności w pomieszczeniu.
4. Blokada pomiędzy ogrzewaniem i chłodzeniem w emisji i dystrybucji	
4.1. Bez blokady	Brak możliwości integracji
4.2. Częściowa blokada (zależną od systemu HVAC)	Częściowa możliwość integracji, np.:

	<ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie sterowania temperaturą w pomieszczeniu, z reguły realizowane przez płynne punkty nastaw dostarczanej temperatury.
4.3. Całkowita blokada	<p>Pełna możliwość integracji</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie sterowania temperaturą w pomieszczeniu, zapobiegającego równoczesnemu ogrzewaniu i chłodzeniu, które działałyby na siebie neutralizująco.

Podsystem sterowania wentylacją i klimatyzacją	Elementy infrastruktury sterującej
1. Sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia	
1.1. Brak automatycznego sterowania	Brak możliwości integracji
1.2. Sterowanie czasowe	<p>Częściowa możliwość integracji</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie programów czasowych
1.3. Sterowanie od obecności	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – ocena zapotrzebowania redukuje przepływ powietrza oraz moc pobieraną przez wentylatory podczas braku obecności w pomieszczeniu.
1.4. Sterowanie od zapotrzebowania	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu, w tym jakości powietrza – wartości przepływu dobierane w zależności od jakości powietrza, z reguły zmniejszają zużycie energii.
2. Sterowanie temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzne)	
2.1. Sterowanie załącz/wyłącz	<p>Ograniczona możliwość integracji, np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obsługa ręczna, ewentualnie zastosowanie termostatów – rozwiązanie uniemożliwiające integrację, • Zastosowanie programów czasowych, pozbawionych możliwości zmiany wartości nastaw temperatury.
2.2. Sterowanie zmiennymi nastawami temperatur w pomieszczeniu	<p>Częściowa możliwość integracji, np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie programów czasowych, oferujących pracę z różnymi wartościami nastaw temperatury, • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu (np. temperatury)
2.3. Sterowanie od zapotrzebowania	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obliczanie wartości punktów nastaw

	<ul style="list-style-type: none"> Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – ocena zapotrzebowania redukuje przepływ powietrza oraz moc pobieraną przez wentylatory podczas braku obecności w pomieszczeniu.
3. Sterowanie temperaturą powietrza w pomieszczeniu (systemy powietrzno-wodne)	
3.1. Brak wzajemnego oddziaływania na nastawy temperatury powietrza w pomieszczeniu	Brak możliwości integracji
3.2. Wzajemne oddziaływanie na nastawy temperatury powietrza w pomieszczeniu	Pełna możliwość integracji <ul style="list-style-type: none"> Możliwość integracji z innymi podsystemami oddziaływującymi na nastawy temperatury w pomieszczeniu
4. Sterowanie przepływem powietrza wywiewanego	
4.1. Stała wartość współczynnika powietrza wywiewanego	Ograniczona możliwość integracji
4.2. Sterowanie dwustopniowe od programu czasowego	Częściowa możliwość integracji <ul style="list-style-type: none"> Zastosowanie programów czasowych, umożliwiających realizację sterowania dwustopniowego
4.3. Sterowanie dwustopniowe od obecności	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu)
4.4. Sterowanie przepływem od zapotrzebowania	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu – ocena zapotrzebowania ma na celu ograniczenie zużycia energii
5. Swobodne chłodzenie mechaniczne	
5.1. Brak automatycznego sterowania	Brak możliwości integracji
5.2. Chłodzenie nocne	Częściowa możliwość integracji, np.: <ul style="list-style-type: none"> Monitoring temperatury zewnętrznej Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu (temperatura)
5.3. Chłodzenie swobodne	Częściowa możliwość integracji, jw. + np. <ul style="list-style-type: none"> Możliwość integracji ze sterowaniem oknami
5.4. Bezpośrednie sterowanie H,x	Pełna możliwość integracji, jw. + np.:

	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu (temperatura i wilgotność – entalpia)
6. Sterowanie wilgotnością	
6.1. Brak automatycznego sterowania	Brak możliwości integracji
6.2. Sterowanie punktem rosy	<p>Częściowa możliwość integracji, np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów środowiskowych w pomieszczeniu (temperatura i wilgotność)
6.3. Bezpośrednie sterowanie wilgotnością: powietrza nawiewanego lub powietrza w pomieszczeniu	<p>Pełna możliwość integracji</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring parametrów powietrza nawiewanego

Podsystem sterowania oświetleniem	Elementy infrastruktury sterującej
1. Sterowanie od obecności (zajętości) pomieszczenia	
1.1. Ręczny wyłącznik załącz/wyłącz	Brak możliwości integracji
1.2. Ręczny wyłącznik załącz/wyłącz + dodatkowe centralne wyłączanie ogólne	<p>Ograniczona możliwość integracji</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie programów czasowych
1.3. Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości) - Automatyczne załączanie/ściemniane wyłączanie:	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – automatyczne wyłączanie oświetlenia podczas braku zajętości w pomieszczeniu, umożliwia zmniejszenie zużycia energii
1.4. Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości) – Automatyczne załączanie/automatyczne wyłączanie	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – automatyczne wyłączanie oświetlenia podczas braku zajętości w pomieszczeniu, umożliwia zmniejszenie zużycia energii
1.5. Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości) – Ręczne załączanie/ściemniane wyłączanie:	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) – automatyczne wyłączanie oświetlenia podczas braku zajętości w pomieszczeniu, umożliwia zmniejszenie zużycia energii
1.6. Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości) – Ręczne załączanie/automatyczne wyłączanie	<p>Pełna możliwość integracji, jw. + np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w

	pomieszczeniu) – automatyczne wyłączanie oświetlenia podczas braku zajętości w pomieszczeniu, umożliwia zmniejszenie zużycia energii
2. Sterowanie od oświetlenia dziennego	
2.1. Sterowanie przez centralny sterownik nieuwzględniający oświetlenia dziennego	Ograniczona możliwość integracji
2.2. Ręczny wyłącznik	Brak możliwości integracji
2.3. Automatyczne załączanie/automatyczne wyłączanie – sterowanie z uwzględnieniem światła dziennego	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) • Monitoring natężenia oświetlenia
2.4. Automatyczne rozjaśnianie/automatyczne ściemnianie – sterowanie z uwzględnieniem światła dziennego	Pełna możliwość integracji, jw. + np.: <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) • Monitoring natężenia oświetlenia – dostosowanie, redukcja strumienia świetlnego sztucznego oświetlenia umożliwia minimalizację zużycia energii
Podsystem sterowania żaluzjami (roletami)	
1.1. Działanie ręczne	Brak możliwości integracji
1.2. Działanie za pomocą silnika z ręcznym sterowaniem / Napęd elektryczny ze sterowaniem ręcznym	Brak możliwości integracji
1.3. Działanie za pomocą silnika z automatycznym sterowaniem / Napęd elektryczny ze sterowaniem automatycznym	Ograniczona możliwość integracji <ul style="list-style-type: none"> • Zastosowanie programów czasowych • Monitoring parametrów pogodowych
1.4. Zintegrowane sterowanie oświetleniem/zasłanianiem/ HVAC	Pełna możliwość integracji <ul style="list-style-type: none"> • Automatyczna ocena zajętości pomieszczenia przez integrację z SSWiN (np. czujniki ruchu, uzbrojenie/rozbrojenie systemu itp.) lub kontrolą dostępu (np. informacja o ilości osób w pomieszczeniu) • Monitoring natężenia oświetlenia • Monitoring parametrów środowiskowych

3.3. Ocena znaczenia określonych zbiorów funkcjonalności rozproszonych systemów automatyzacji w procesie poprawy efektywności energetycznej budynków i instalacji

Określenie przynależności systemu sterowania i automatyki budynku (BACS) oraz systemu technicznego zarządzania budynkiem (TBM) do danej klasy wpływu na efektywność energetyczną, wynika z realizacji przez te systemy precyzyjnie zdefiniowanych funkcji sterowania i zarządzania, w odniesieniu do konkretnych, istniejących w budynku instalacji technologicznych. Klasyfikacji sprawności energetycznej systemów automatyzacji budynków została przedstawiona w normie PN-EN 15232. Zdefiniowano w niej cztery klasy, oznaczone literami od A do D, sprawności funkcji systemów sterowania i automatyki budynków, zarówno dla budynków mieszkalnych jak i budynków niemieszkalnych.

- Do klasy D należy zaliczyć systemy BACS, które nie cechują się wpływem na efektywność energetyczną budynków. Do klasy tej powinno zaliczyć się system, który nie posiada zaimplementowanego minimalnego zestawu funkcji właściwego dla systemu klasy C. Nie powinno się budować nowych budynków z takimi systemami, a istniejące budynki z takimi systemami powinny podlegać unowocześnieniu.
- Do klasy C należy zaliczyć standardowe systemy BACS. Do klasy tej powinno zaliczyć się system, który posiada zaimplementowany minimalny zestaw funkcji zdefiniowany w normie PN-EN 15232.
- Do klasy B należy zaliczyć zaawansowane systemy BACS z niektórymi funkcjami technicznego zarządzania budynkiem (TBM). Do klasy tej powinno zaliczyć się system, który niezależnie od funkcji właściwych dla systemu klasy C, posiada zaimplementowane niektóre szczególne funkcje automatyzacji budynku. Sterowniki pomieszczeń powinny mieć możliwość komunikacji z systemem automatyki budynku.
- Do klasy A należy zaliczyć system BACS i TBM o dużej efektywności energetycznej z pełną funkcjonalnością technicznego zarządzania budynkiem. Do klasy tej powinno zaliczyć się system, który niezależnie od funkcji właściwych dla systemu klasy B, posiada zaimplementowane najbardziej zaawansowane funkcje automatyzacji budynku i technicznego zarządzania budynkiem. Sterowniki pomieszczeń powinny zapewniać możliwość sterowania instalacjami HVAC wg aktualnego zapotrzebowania (np. dostosowanie wartości zadanych oparte na wykrywaniu obecności użytkownika, jakości powietrza, itp.) z uwzględnieniem dodatkowych zintegrowanych funkcji uwzględniających relacje pomiędzy systemem HVAC i różnymi innymi usługami budynkowymi (np. zasilanie elektryczne, oświetlenie, osłony przeciwsłoneczne, itd.). W klasie A, dostawa różnych form energii do każdego pomieszczenia budynku podlega precyzyjnemu sterowaniu zależnemu od rzeczywistego zapotrzebowania na daną formę energii w tym pomieszczeniu.

Istotnym aspektem realizacji funkcji sterowania i zarządzania określonymi instalacjami technologicznymi jest sposób konstrukcji tych instalacji, który ma bezpośredni wpływ na możliwość implementacji wspomnianych funkcji, a tym samym pośredni wpływ na sprawności energetyczną BACS. Dlatego ostateczna klasyfikacja wpływu systemu sterowania, automatyki i technicznego zarządzania budynkiem na efektywność energetyczną budynku, zależy w pierwszej kolejności od takiej konstrukcji instalacji technologicznych budynku, która

cechuje się podatnością na sterowanie, a w drugiej kolejności od zastosowanych funkcji sterowania i zarządzania. Przykładowo, jeżeli instalacja technologiczna wentylacji i/lub klimatyzacji uniemożliwia indywidualne sterowanie ilością dostarczanego powietrza do każdego z pomieszczeń lub stref, to nie możliwe jest zastosowanie w systemie sterowania funkcji indywidualnego sterowania wentylacją w każdym pomieszczeniu, a tym samym nie można zakwalifikować tej funkcji systemu sterowania do klasy A [42].

Norma PN-EN 15232 przedstawia dwie metody oceny wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków oraz sposób na ustalenia całkowitego zapotrzebowania budynku na energię w zależności od funkcjonalności systemu BACS. Pierwsza z metod to metoda uproszczona, nazwaną w normie „metodą współczynników efektywności BACS”. Druga to metoda szczegółowa, bazująca na metodologii obliczeń określonych przez normy branżowe dla poszczególnych instalacji technologicznych. Metoda współczynników efektywności BACS opiera się na przedstawionych w normie tabelach współczynników efektywności systemów BACS dla podstawowych instalacji technologicznych, dla różnego typu budynków, o różnych profilach użytkowania, w odniesieniu do referencyjnego systemu automatyzacji budynku, sterowania i zarządzania o funkcjonalności odpowiadającej klasie C wpływu systemu BACS na efektywność energetyczną budynku. Współczynniki efektywności BACS przedstawione w normie zostały określone w wyniku dużej liczby symulacji komputerowych. Wpływ systemu automatyki na właściwości energetyczne budynków został określony przez porównanie rocznego zużycia energii standardowego pomieszczenia (zgodnie z wytycznymi zawartymi w dyrektywie energetycznej EPBD 2006) dla różnych funkcji BACS i TBM, reprezentujących ich różne klasy. Metoda ta umożliwia proste oszacowanie wpływu funkcji BACS i TBM przy wykorzystaniu współczynników efektywności BACS związanych z rocznym zapotrzebowaniem energii budynku, uwzględniając:

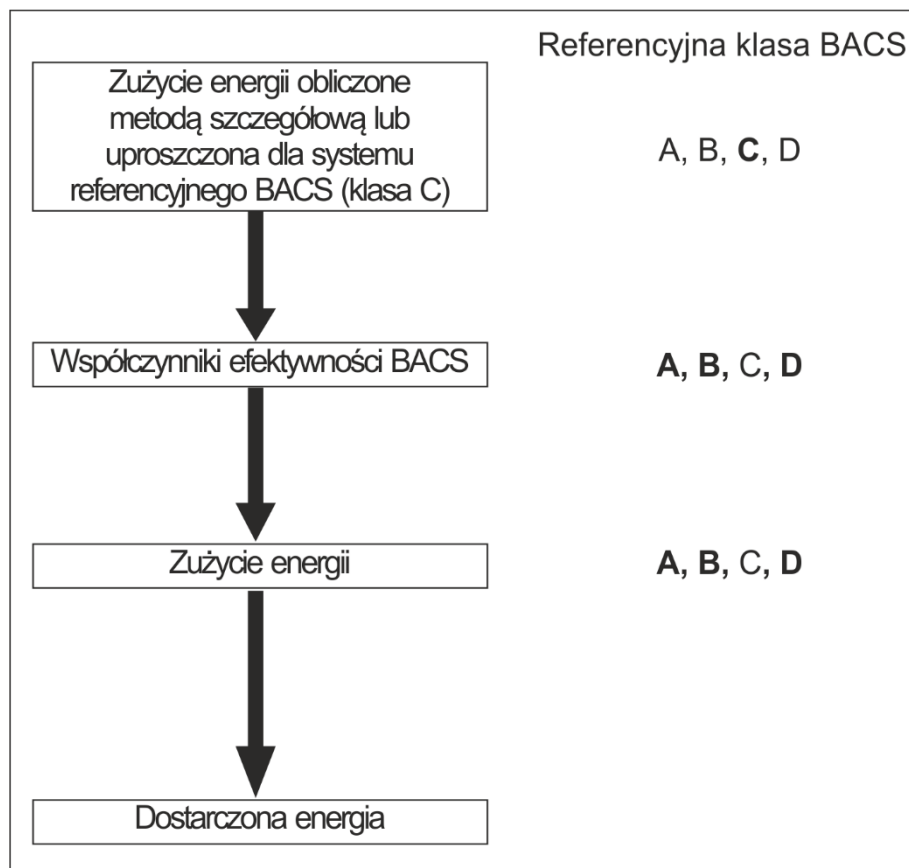
- energię cieplną oraz pomocniczą energię elektryczną dla instalacji grzewczych, obliczoną zgodnie PN-EN 15316 oraz PN-EN 13790,
- energię cieplną oraz pomocniczą energię elektryczną dla instalacji chłodniczych, obliczoną zgodnie PN-EN 15255 oraz PN-EN 13790,
- energię cieplną oraz pomocniczą energię elektryczną dla instalacji ciepłej wody użytkowej, obliczoną zgodnie PN-EN 15316 oraz PN-EN 13790,
- energię elektryczną dla oświetlenia, obliczoną zgodnie PN-EN 15193,
- energię elektryczną dla instalacji wentylacji, obliczoną zgodnie PN-EN 15241.

Otrzymane współczynniki efektywności BACS zostały uzyskane po wstępnych przejściowych obliczeniach dla różnych typów budynków (biura, sale wykładowe, szkoły, szpitale, hotele, restauracje, budynki usług handlu hurtowego i detalicznego, domy jednorodzinne, apartamentowce lub podobne budynki mieszkalne) wymienionych w normie PN-EN 15217. Tym samym każdy typ budynku został scharakteryzowany za pomocą istotnego profilu użytkowania oraz wewnętrznych zysków ciepła wywołanych odpowiednio przez ludzi i sprzęt. Dla możliwie największego uproszczenia metody współczynników efektywności BACS, wpływ różnych warunków klimatycznych na wartości współczynników potraktowano jako pomijalny. Ostatecznie, uzyskano cztery zestawy współczynników efektywności BACS odpowiednio dla:

- energii cieplnej dla ogrzewania i chłodzenia ($f_{BACS,H}$ i $f_{BACS,C}$ – zostały przedstawione

- w tabeli nr 3.7 oraz 3.8),
- energii cieplnej dla ciepłej wody użytkowej ($f_{BACS,DHW}$ – został przedstawiony w tabeli nr 3.9 oraz 3.10),
 - energii elektrycznej dla oświetlenia, wentylacji i urządzeń pomocniczych ($f_{BACS,el}$ – został przedstawiony w tabeli nr 3.11).

Procedura obliczeniowa metodą współczynników efektywności BACS została przedstawiona na rysunku nr 3.3. W pierwszej kolejności należy określić jako referencyjną jedną z klas sprawności – zazwyczaj jest to klasa C, odpowiadająca standardowemu systemowi BACS. Dla funkcjonalności systemu BACS w klasie C i konkretnego budynku należy oszacować, za pomocą metod szczegółowej lub uproszczonej, roczne zapotrzebowanie na energię cieplną (na ogrzewanie, chłodzenie, ciepłą wodę użytkową) oraz na energię elektryczną (na oświetlenie, wentylację oraz energię pomocniczą do obsługi pozostałych instalacji technologicznych). Następnie, wykorzystując tabele współczynników efektywności BACS (tabele 3.7 – 3.11), można obliczyć, przez przemnożenie tych wartości energii przez odpowiednie współczynniki efektywności, szacunkowe zapotrzebowanie na energię budynku rzeczywistego z systemem BACS w określonej klasie efektywności A, B lub D.



Rys. 3.3 – Sekwencja obliczeń metodą współczynników efektywności BACS

Tabela 3.7 Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii grzewczej $f_{BACS,H}$ i energii chłodniczej $f_{BACS,C}$ – budynki mieszkalne

Typy budynków mieszkalnych	Szczegółowe współczynniki efektywności BACS $f_{BACS,H}$ i $f_{BACS,C}$							
	D		C (referencyjna)		B		A	
	Energetycznie nieskuteczne		Standard		Systemy zaawansowane		Wysoka efektywność energetyczna	
	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$
Domy jednorodzinne Apartamentowce Inne domy mieszkalne lub podobne budynki mieszkalne	1,09	-	1	-	0,88	-	0,81	-

Tabela 3.8 Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii grzewczej $f_{BACS,H}$ i energii chłodniczej $f_{BACS,C}$ – budynki niemieszkalne

Typy budynków niemieszkalnych	Szczegółowe współczynniki efektywności BACS $f_{BACS,H}$ i $f_{BACS,C}$							
	D		C (referencyjna)		B		A	
	Energetycznie nieskuteczne		Standard		Systemy zaawansowane		Wysoka efektywność energetyczna	
	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$
Biura	1,44	1,57	1	1	0,79	0,80	0,70	0,57
Salony wykładowe	1,22	1,32	1	1	0,73	0,94	0,3 ^a	0,64
Budynki edukacyjne	1,20	-	1	1	0,88	-	0,80	-
Szpitala	1,31	-	1	1	0,91	-	0,86	-
Hotele	1,17	1,76	1	1	0,85	0,79	0,61	-
Restauracje	1,21	1,39	1	1	0,76	0,94	0,69	0,6
Budynki usług handlu hurtowego i detalicznego	1,56	1,59	1	1	0,71	0,85	0,46 ^a	0,55
Inne typy (obiekty sportowe, budynki przemysłowe, inne)			1	1				

^a Wartości te silnie zależą od wymagań w zakresie ogrzewania/chłodzenia dla systemu wentylacji.

Tabela 3.9 Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla ciepłej wody użytkowej $f_{BACS,DHW}$ – budynki mieszkalne

Typy budynków mieszkalnych	Szczegółowe współczynniki efektywności BACS $f_{BACS,DHW}$			
	D	C (referencyjna)	B	A
	Energetycznie nieskuteczne	Standard	Systemy zaawansowane	Wysoka efektywność energetyczna
	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$
Domy jednorodzinne Apartamentowce Inne domy mieszkalne lub podobne budynki mieszkalne	1,11	1	0,90	0,80

Tabela 3.10 Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla ciepłej wody użytkowej $f_{BACS,DHW}$ – budynki niemieszkalne

Typy budynków niemieszkalnych	Szczegółowe współczynniki efektywności BACS $f_{BACS,DHW}$			
	D	C (referencyjna)	B	A
	Energetycznie nieskuteczne	Standard	Systemy zaawansowane	Wysoka efektywność energetyczna
	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$
Biura Sale wykładowe Budynki edukacyjne Szpitale Hotele Restauracje Budynki usług handlu hurtowego i detalicznego Inne typy (obiekty sportowe, budynki przemysłowe, inne) lub podobne budynki mieszkalne	1,11	1	0,90	0,80

Tabela 3.11 Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla oświetlenia $f_{BACS,e-l}$ i dla pomocniczej energii elektrycznej $f_{BACS,e-a}$ – budynki niemieszkalne

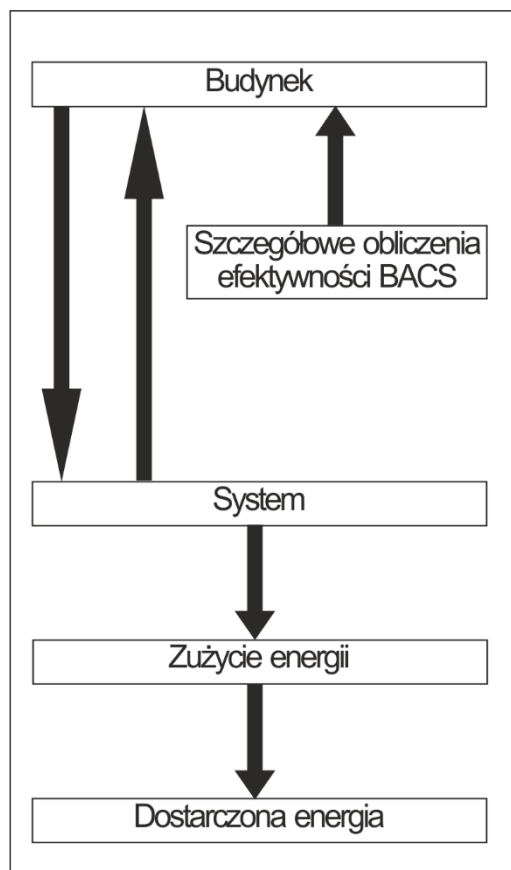
Typy budynków niemieszkalnych	Szczegółowe współczynniki efektywności BACS $f_{BACS,e-l}$ i $f_{BACS,e-a}$							
	D		C (referencyjna)		B		A	
	Energetycznie nieskuteczne		Standard		Systemy zaawansowane		Wysoka efektywność energetyczna	
	$f_{BACS,e-l}$	$f_{BACS,e-a}$	$f_{BACS,e-l}$	$f_{BACS,e-a}$	$f_{BACS,e-l}$	$f_{BACS,e-a}$	$f_{BACS,e-l}$	$f_{BACS,e-a}$
Biura	1,10	1,15	1	1	0,85	0,86	0,72	0,72
Sale wykładowe	1,10	1,11	1	1	0,88	0,88	0,76	0,78
Budynki edukacyjne	1,10	1,12	1	1	0,88	0,87	0,76	0,74
Szpitala	1,20	1,10	1	1	1	0,98	1	0,96
Hotele	1,10	1,12	1	1	0,88	0,89	0,76	0,78
Restauracje	1,10	1,09	1	1	1	0,96	1	0,92
Budynki usług handlu hurtowego i detalicznego	1,10	1,13	1	1	1	0,95	1	0,91
Inne typy (sportowe, budynki przemysłowe)			1	1				

Metoda współczynników efektywności BACS jest łatwa w użyciu, pod warunkiem, że istnieje możliwość oszacowania zapotrzebowania na energię dla budynku referencyjnego z systemem BACS w klasie C. Należy zaznaczyć, że współczynniki efektywności zawarte w tabelach 3.7–3.11 zostały obliczone metodami symulacyjnymi dla ściśle określonych, schematycznych profili użytkowania budynków. W przypadku gdy profil użytkowania budynku odbiega od profili przyjętych w normie, to zastosowanie metody współczynników efektywności może nie być wystarczająco dokładne. W takim przypadku konieczne jest zastosowanie metody szczegółowej do oceny wpływu systemów BACS i TBM na efektywność energetyczną budynków. [33], [43].

Metoda szczegółowa, której sekwencja obliczeń została przedstawiona na rysunku nr 3.4, opiera się na wykonaniu szczegółowych obliczeń zużycia energii przez poszczególne instalacje technologiczne budynku, z uwzględnieniem funkcjonalności systemów BACS i TBM. Powinna ona być stosowana tylko wtedy, gdy jest dostępna dostateczna wiedza dotycząca funkcji automatyzacji, sterowania i zarządzania oraz energii wykorzystywanej przez instalacje technologiczne stosowane w budynku. Oznacza to, że zastosowanie procedury obliczeniowej może zostać wykonane wtedy, gdy znane są wszystkie funkcje automatyzacji, sterowania i zarządzania, które powinny być brane pod uwagę w kontekście działania budynku i jego systemów energetycznych. Dla oceny wpływu poszczególnych funkcjonalności systemów BACS i TBM, należy stosować normy branżowe dotyczące obliczeń energetycznych dla poszczególnych instalacji. Normy umożliwiające obliczenie wpływu funkcji BACS i TBM na zużycie energii, zalecają różne podejście do tych obliczeń. Jednak możliwe jest wyróżnienie

pięciu sposobów podejścia:

- podejście bezpośrednie,
- podejście związane z trybem działania,
- podejście czasowe,
- podejście temperaturowe,
- podejście wykorzystujące współczynnik korygujący.



Rys. 3.4 – Sekwencja obliczeń metodą szczegółową

Pierwsze z tych podejść pozwala na bezpośrednie obliczenie wpływu szeregu funkcji sterowania, jeżeli obliczenia symulacyjne są wykonywane metodą szczegółowej symulacji lub metodą symulacji godzinowej, przedstawioną w PN-EN ISO 13790, pod warunkiem, że wpływ sterowania nie pociąga za sobą szybszych zmian w dynamice procesów niż krok czasowy symulacji.

W podejściu związanym z trybem działania należy uwzględnić w obliczeniach funkcjonowanie instalacji technologicznych w różnych trybach pracy (np. praca wentylacji w trybie zajętości/braku zajętości pomieszczenia, w trybie normalnym z przerywanym ogrzewaniem, w trybie nocnym itp.). Należy przeprowadzić obliczenia dla wszystkich trybów pracy i zsumować zużycie energii w poszczególnych trybach, z uwzględnieniem czasu pracy w poszczególnych trybach.

Podejście czasowe ma zastosowanie w przypadku, gdy system sterowania ma bezpośredni wpływ na czas pracy poszczególnych urządzeń lub instalacji (np. sterowanie wentylatorem, oświetleniem, itp.). Może być ono również stosowane, gdy system sterowania moduluje działanie instalacji lub urządzenia, a nie tylko steruje załączaniem/wyłączaniem.

Podejście temperaturowe może być stosowane, gdy system sterowania ma bezpośredni wpływ na temperaturę pomieszczeń. Polega ono na wzięciu pod uwagę, przy obliczeniach potrzebnej energii – zgodnie z PN-EN ISO 13790 – skorygowanej temperatury pomieszczenia uwzględniającej wpływ systemu sterowania.

Podejście z wykorzystaniem współczynnika korygującego ma zastosowanie w przypadkach, gdy wpływ systemu sterowania jest bardziej złożony, np. system steruje czasem załączenia/wyłączenia i temperaturą w zależności od aktualnego zapotrzebowania. Wartość współczynnika korygującego zależy od typu sterowania, klimatu, typu budynku itp.

Można stwierdzić, że metoda szczegółowa jest znacznie bardziej pracochłonna niż metoda uproszczona, ale pozwala uzyskać bardzo szczegółową ocenę wpływu BACS i TBM na efektywność energetyczną budynku. Metoda szczegółowa wymaga bardzo dokładnej wiedzy na temat rzeczywistej (lub planowanej) funkcjonalności systemów BACS i TBM oraz bardzo dobrej znajomości norm branżowych i metod obliczeniowych zalecanych przez te normy do obliczeń zużycia energii przez poszczególne instalacje technologiczne w warunkach określonych właściwości konstrukcyjnych budynku.

Przedstawione metody są rzetelnym narzędziem umożliwiającym jednoznaczną ocenę jakości systemów automatyzacji, sterowania i zarządzania, pod kątem ich wpływu na efektywność energetyczną. Należy jednak podkreślić, że uzyskanie danego wpływu na efektywność energetyczną przez zaimplementowanie systemów BACS i TBM, w dużym stopniu zależy od rozwiązań konstrukcyjnych instalacji technologicznych odpowiedzialnych za zużycie energii. W celu uzyskania jak najlepszych efektów poprawy efektywności energetycznej przez systemy sterowania należy dążyć do tego, że instalacje technologiczne umożliwiają sterowanie dostawą określonych form energii do każdego, pojedynczego pomieszczenia lub strefy o różnym od innych profilu użytkowania, a BACS i TBM muszą wykorzystywać zintegrowaną informację o zapotrzebowaniu na różne formy energii w poszczególnych pomieszczeniach i sterować dostawami energii indywidualnie w zależności od zapotrzebowania [33], [44].

3.4. *Koncepcja wariantów i strategii sterowania*

Realizacja systemu BACS powinna być poprzedzona rzetelną identyfikacją i analizą funkcji: instalacji technologicznych, pomieszczeń, systemu automatyzacji i wyposażenia technicznego. Działania te powinny wynikać z założeń inwestycyjnych i zostać realizowane podczas procesu projektowania, który jest ściśle podporządkowany uzyskaniu określonej, zadanej sprawności energetycznej budynku oraz zapewnieniu bezpieczeństwa i komfortu jego użytkowników. W ramach wspomnianej identyfikacji i analizy powinno dążyć się do określenia strategii sterowania poszczególnymi podsystemami, urządzeniami i elementami systemowymi instalowanymi w budynku. Wspomniane strategie można traktować jako zbiór funkcji oferowanych przez poszczególne węzły sieciowe (moduły automatyki, sensory i elementy wykonawcze), kontrolujące pracę instalacji technologicznej lub urządzenia. Z reguły strategie sterowania odnoszone są do różnych podsystemów infrastruktury budynkowej, ze szczególnym uwzględnieniem ich energochłonności i/lub bezpośredniego wpływu na komfort użytkowania pomieszczeń w budynku:

- ogrzewanie (generacja, dystrybucja, emisja),
- chłodzenie (generacja, dystrybucja, emisja),

- przygotowanie ciepłej wody użytkowej (generacja, dystrybucja, emisja),
- wentylacja i klimatyzacja,
- oświetlenie, zasilanie gniazd i innych odbiorników energii elektrycznej,
- żaluzje, osłony przeciwsłoneczne,
- bezpieczeństwo ludzi i mienia,
- zasilanie w energię (opomiarowanie, monitoring).

Jednak realizacja kompletnego systemu BACS, wymaga opracowania funkcji sterującej, która wykorzystuje właściwości instalacji technologicznych i możliwe w ich ramach strategie sterowania. Funkcja sterująca jest implementowana podczas procesu integracji systemu sterowania, tak aby jak najlepiej spełnić założenia inwestycyjne. Jej realizacja wymaga wybrania i opracowania wariantu sterowania, który określa zasady, cele i sposoby powiązań dla wspólnej pracy poszczególnych instalacji technologicznych i węzłów sieciowych. Zdaniem autora, najbardziej efektywnym i celowym podejściem, zapewniającym najlepsze możliwości integracji wielu funkcji i podsystemów, jest stosowanie sieciowych, rozproszonych standardów komunikacyjnych, umożliwiających integrację na poziomie obiektowym węzłów sieciowych w ramach systemu BACS. Ponieważ wspomniane technologie systemowe znajdują szeroki zakres zastosowań, bardzo trudne jest zdefiniowanie jednolitego i jedyne interfejsu logicznego (tzw. warstwy aplikacji).

Przykładowo taka szczegółowa specyfikacja została ustalona przez organizację LonMark, dla otwartego standardu LonWorks PN EN ISO/IEC 14908 (LON), dedykowanego sieciowym systemom sterowania. Stosowanie się do szczegółowych zaleceń, koncentrujących się na sposobie konstrukcji programów (aplikacji) sterowania, implementowanych w poszczególnych węzłach sieci, dotyczy w szczególności pojedynczych urządzeń. Warto podkreślić, że podejście to umożliwia zapewnienie otwartości oraz interoperacyjności, rozumianej jako „zdolności do współdziałania” modułów czujników, sterowników i elementów wykonawczych w różnych podsystemach infrastruktury budynków.

Jednak relacje między urządzeniami w ramach wariantu sterowania, opisane są w sposób niejednoznaczny, pozostawiając otwarte pole do kreowania różnych funkcji sterujących i integracji obiektowej. Podstawowymi elementami wspomnianej koncepcji są profile funkcjonalne, które z kolei definiują możliwe bloki funkcjonalne i wreszcie powiązane z nimi zmienne sieciowe, jako elementy bezpośredniej komunikacji danych między urządzeniami – węzłami sieci. W przypadku standardu sieciowego LonWorks profile funkcjonalne definiuje organizacja LonMark pod konkretne moduły podsystemów infrastruktury budynkowej (np. sterownik pomieszczenia dla systemu HVAC, oświetlenia, wejście analogowe itp.).

3.4.1. Strategie sterowania

Warto przypomnieć, że systemy zrealizowane w technologii LonWorks pracują z wykorzystaniem protokołu komunikacyjnego LonTalk. Węzły sieciowe komunikują się ze sobą z wykorzystaniem mechanizmu zmiennych sieciowych i wiadomości jawnych. Zmienne sieciowe stanowią interfejs do przekazywania danych pomiędzy warstwą aplikacji, a niższymi warstwami protokołu transmisji. Zostały one szczegółowo zdefiniowane i określają precyzyjnie struktury danych, do reprezentacji większości fizycznych sygnałów obiektowych. Zmienne sieciowe tego samego typu, a różnych kierunków, mogą zostać ze sobą powiązane (połączone) logicznie, w celu realizacji funkcji sterującej danym obiektem lub instalacją technologiczną.

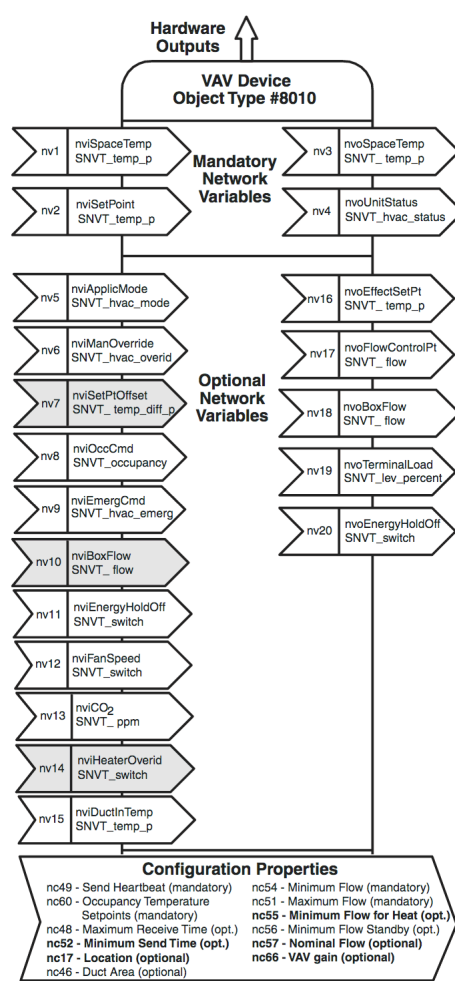
Połączenia takie są realizowane w ramach procesu integracji sieci sterowania z wykorzystaniem narzędzia zarządzania siecią. W ramach danego urządzenia zmienne sieciowe grupowane są z kolei w bloki funkcjonalne, których zadaniem jest zachowanie spójności pomiędzy sygnałami wejścia i wyjścia oraz algorytmem ich przetwarzania, jak również ustawienie własności konfiguracyjnych. Bloki funkcjonalne są budowane w oparciu o wspomniane wcześniej profile funkcjonalne, które determinują ilość wejściowych i wyjściowych zmiennych sieciowych obowiązkowych, opcjonalnych, ich typy i znaczenie dla określonego modułu, podsystemu. Ponadto profile funkcjonalne mogą określać postępowanie przy przetwarzaniu danych, reakcję węzła sieci na określone zdarzenia, a nawet dopuszczalne wartości zmiennych sieciowych. Zatem przy określaniu strategii sterowania, w technologii LON, punkt wyjścia stanowią profile funkcjonalne.

Obszary zastosowań dla, których opracowano profile funkcjonalne to:

- Kontrola dostępu/SSWiN/Monitoring;
- Zarządzanie energią;
- Urządzenia przeciwpożarowe i oddymiające;
- Urządzenia HVAC;
- Wejścia/Wyjścia;
- Oświetlenie;
- Sterowanie napędem;
- Chłodnictwo;
- Czujniki;

Jak już wspomniano wcześniej, interoperacyjność jest czynnikiem, który pozostaje w bezpośrednim związku z otwartością systemu BACS oraz jego elastycznością w zakresie organizacji funkcjonalnej różnych instalacji, urządzeń i węzłów. Wyjaśnienie tej idei, można przeprowadzić na przykładzie wybranego profilu funkcjonalnego, stowarzyszenia LonMark – profil sterownika VAV (zmiennego strumienia powietrza) nr #8010. Zawarto w nim wiele funkcjonalności podstawowych dla wszystkich typów sterowników VAV. Jeśli skupić uwagę na jednej z nich, związanej z ustaleniem punktu nastawy temperatury w kontrolowanej strefie, widać jakie znaczenie ma interoperacyjność. Spośród dwudziestu standardowych zmiennych sieciowych SNVT i dwunastu standardowych elementów ustawień konfiguracyjnych sterownika VAV, aż pięć odgrywa zasadniczą rolę w ustaleniu właściwej nastawy temperatury w strefie (rysunek nr 3.5). W rzeczywistej aplikacji omawianego profilu w węzle sieciowym, informacje w nagłówku aplikacji urządzenia pozwalają na jego identyfikację jako właśnie sterownika VAV, zgodnego z profilem #8010. Piąta ze zmiennych sieciowych (*nv5 – nviApplicMode*) szablonu profilu, jest zmienną wejściową z informacją o trybie pracy aplikacji sterownika VAV. Jest ona przechowywana w ustandaryzowanym formacie *SNVT_hvac_mode* i może przybrać jedną z kilku predefiniowanych wartości. Jest ich aż dwadzieścia m.in.: *HVAC_OFF=6*, *HVAC_HEAT=1* czy *HVAC_COOL=3*. Na przykład gdy sterownik otrzymuje rozkaz chłodzenia *COOL*, zmienna przyjmuje wartość *HVAC_COOL=3*. Wybór trybu pracy jest pierwszym krokiem do ustalenia temperatury w kontrolowanej strefie. W kolejnym kroku należy określić tryb obecności osób w strefie. Niezbędne informacje mogą być dostarczane przez podpięty do sterownika czujnik obecności lub za pośrednictwem sieci (zewnętrzny czujnik obecności). Za ich obsługę odpowiada zmienna ósma (*nv8 – nviOccCmd*), która jest standardowym elementem aplikacji, przewidzianym w profilu do obsługi danych o obecności.

Źródłem wspomnianych informacji dla sieci, może być również moduł z harmonogramem czasowym, czujnik obecności powiązany z systemem oświetlenia lub bezpieczeństwa czy inne moduły określające stan zajętości pomieszczeń (np. kontrola obecności). Niezależnie od tego w każdym przypadku, znając tryb pracy aplikacji (*COOL*) oraz stan zajętości strefy (*OCCUPIED* – obecność), punkt nastaw temperatury jest ustalany w module sterownika VAV, na podstawie zadanej standardowej własności konfiguracyjnej. Jest ona konfigurowana w procesie komisjonowania i zawiera wartości nastawy temperatur dla trybu chłodzenia i nagrzewania strefy/pomieszczenia dla stanów z obecnością i bez obecności. Równie istotnym element determinującym nastawę temperatury dla kontrolowanej strefy jest druga sieciowa zmienna wejściowa (*nv2* - *nviSetPoint*) w tym profilu funkcjonalnym. Ma ona charakter nadrzędny i umożliwia pobranie nowej nastawy temperatury, która może być wykorzystana do przeprogramowania z sieci punktów pracy sterownika VAV, zaproponowanych w ustawieniach konfiguracyjnych [45].



Rys. 3.5. Profil funkcjonalny #8010 ze zmiennymi sieciowymi i ustawieniami konfiguracyjnymi

Omówione w przykładzie zależności pomiędzy wieloma elementami pojedynczego profilu funkcjonalnego oraz możliwości ich integracji z innymi modułami węzłów sieciowych, wskazują jak znaczący jest potencjał przyjętych koncepcji otwartości i interoperacyjności w określaniu strategii sterowania ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej budynków, z wykorzystaniem sieciowych standardów automatyki budynkowej. Podkreślić też należy, że profile funkcjonalne służą przede wszystkim do szczegółowego

zdefiniowana funkcjonalności danego urządzenia i jego interfejsu funkcjonalnego, natomiast mniej szczegółowo opisują sposób integracji całego systemu sterowania. Dlatego też należy je postrzegać jako podstawowy element, determinujący możliwe do realizacji strategie i ich funkcje w projektowanym systemie sterowania. W ten sposób wiedza na temat profili funkcjonalnych obsługiwanych przez daną grupę urządzeń, pozwala na organizowanie/opracowywanie bardziej złożonych wariantów sterowania, uwzględniających strategię sterowania poszczególnymi instalacjami technologicznymi.

Strategie sterowania należy rozpatrywać w ramach poszczególnych instalacji technologicznych, węzłów sieciowych, podsystemów sterowania. Jak już wspomniano wcześniej możliwe jest wyróżnienie kilku grup podsystemów, w ramach których wyszczególnione są dane strategie sterowania. W przypadku standardu LonWorks możliwe do zrealizowania strategie opisane mogą być za pomocą profili funkcjonalnych. Na przykład strategie sterowania dotyczące oświetlenia, opisane są przez odpowiednie profile funkcjonalne zamieszczone w tabeli nr 3.12 (z listy profili stowarzyszenia LonMark [46]).

Tabela 3.12 Profile funkcjonalne używane w standardzie LonWorks

Oznaczenie profilu	Nazwa profilu (pol.)	Nazwa profilu (ang.)
Profile funkcjonalne oświetlenia		
3040_10	Element wykonawczy lampy	Lamp Actuator
3050_10	Sterownik stałego natężenia oświetlenia	Constant Light Controller
3071_10	Sterownik zajętości	Occupancy Controller
3200_10	Wyłącznik	Switch
3250_10	Panel zadawania scen świetlnych	Scene Panel
3251_10	Sterownik scen świetlnych	Scene Controller
3300_10	Zegar czasu rzeczywistego	Real Time Keeper
3301_10	Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego	Real Time Based Scheduler
3401_10	Sterownik panelu oświetlenia	Lighting Panel Controller
Profile funkcjonalne urządzeń HVAC - ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji		
8020_10	Sterownik klimakonwektora	Fan Coil Controller
8030_10	Sterownik jednostki dachowej	Roof Top Unit Controller
8040_10	Chłodnica	Chiller
8051_10	Sterownik pompy ciepła ze sterowaniem temperaturą	Heat Pump with Temperature Controller
8060_10	Termostat	Thermostat
8070_10	Sterownik sufitu chłodzonego	Chilled Ceiling Controller
8080_10	Sterownik wentylatora	Unit Ventilator Controller
8090_10	Zadajnik komfortu pomieszczenia	Space Comfort Control Command Module
8010_11	Sterownik VAV (zmiennego przepływu powietrza)	VAV Controller
8110_11	Siłownik kłapy (przepustnicy)	Damper Actuator
8120_10	Sterownik pompy	Pump Controller
8131_10	Pozycjoner zaworu	Valve Positioner
8301_10	Sterownik bojlera	Boiler Controller
8550_10	Sterownik jednostki grzewczej	Unit Heater

Oznaczenie profilu	Nazwa profilu (pol.)	Nazwa profilu (ang.)
8500_20	Sterownik komfortu pomieszczenia	Space Comfort Controller
Profile funkcjonalne kontroli dostępu, sygnalizacji włamania i monitoringu		
5035_10	Czujnik identyfikatora	Identifier Sensor
5051_10	Urządzenie sterowania przejściem	Entry/Exit Device
5091_10	Sterownik modemu	Modem Controller
5092_10	Spis telefonów	Telephone Direcory
Profile funkcjonalne wejść/wyjść		
0520_10	Wejście analogowe	Analog Input
0521_10	Wyjście analogowe	Analog Output
0001_11	Czujnik bez sprzężenia zwrotnego	Open-Loop Sensor
0002_11	Czujnik ze sprzężeniem zwrotnym	Closed-Loop Sensor
0003_11	Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego	Open-Loop Actuator
0004_11	Element wykonawczy ze sprzężeniem zwrotnym	Closed-Loop Actuator
Profile funkcjonalne zarządzania		
0000_20	Obiekt sterujący węzła sieci LON	Node Object
0006_10	Kalendarz	Calendar
0007_10	Harmonogram	Scheduler
2110_10	Rejestrator liczników mediów (energia elektryczna, woda, ciepło)	Utility Data Logger Register
2201_10	Licznik mediów	Utility Meter
Profile funkcjonalne sterowania napędem		
6010_11	Napęd o zmiennej prędkości	Variable Speed Motor Drive
6110_10	Element wykonawczy żaluzji	Sunblind Actuator
6111_10	Sterownik żaluzji	Sunblind Controller
Profile funkcjonalne czujników		
1010_11	Czujnik natężenia oświetlenia	Light Sensor
1030_10	Czujnik ciśnienia	Pressure Sensor
1040_10	Czujnik temperatury	Temperature Sensor
1042_10	Czujnik zamrożenia	Frost Sensor
1050_10	Czujnik wilgotności względnej	Relative Humidity Sensor
1051_10	Czujnik deszczu	Rain Sensor
1060_10	Czujnik obecności	Occupancy Sensor
1070_10	Czujnik CO ₂	CO ₂ Sensor
1083_10	Czujnik prędkości przepływu powietrza	Air VelocitySensor

3.4.2. Warianty sterowania

Zastosowanie poszczególnych wariantów sterowania, wpływa na efektywność energetyczną budynku. Punktem wyjścia przy ich ustalaniu powinna być przyjęta strategia, bazująca na przedstawionej wcześniej koncepcji wykorzystania elementów profili funkcjonalnych. Drugim elementem determinującym ostateczny kształt wariantów sterowania są również, szczególnie w przypadku sieciowych systemów automatyki budynkowej, klasy wpływu systemów automatyki na ich komfort i własności energetyczne – przedstawione w podrozdziale 3.3.

Dzięki temu, w oparciu o szczegółowe zalecenia i kategoryzacje zawarte w normie oraz profile funkcjonalne powiązane z konkretnymi modułami sieciowymi i sterownikami instalowanymi w danym systemie automatyki, inżynierowie i projektanci systemów sterowania w budynkach mogą opracować odpowiednie warianty sterowania, zależnie od istniejącej infrastruktury oraz złożoności funkcjonalnej samych systemów sterowania. W tabelach od 3.13 do 3.17 przedstawiono sposoby zrealizowania wariantów sterowania, zgodnych z klasami systemów automatyki przedstawionymi w normie PN-EN 15232, z wykorzystaniem dostępnych dla standardu LonWorks strategii sterowania.

Przykładowo do zrealizowania wariantu sterowania, zakładającego automatyczne załączenie oświetlenia w pomieszczeniu w przypadku zbyt niskiego poziomu natężenia światła, wymagane jest (zgodnie z tabelą 3.13) zastosowanie odpowiednich strategii sterowania:

- Strategia odpowiadająca za pracę lampy w standardzie LonWorks opisana jest za pomocą profilu nr #3040_10. Profil elementu wykonawczego lampy (#3040_10) jest przeznaczony dla węzłów sieci sterujących poziomem iluminacji oprawy oświetleniowej. Typowymi elementami lampy wykonawczej są ściemniacze, przekaźniki oraz elektronicznie regulowane balasty. Profil ten obowiązkowo przewiduje zastosowanie zmiennych sieciowych odpowiadających za: odebranie z sieci sterowania rozkazu załączenia/wyłączenia elementu wykonawczego oraz dostarczanie informacji o stanie pracy i poziomie iluminacji. Szczegółowo definiuje on dwie wymagane zmienne sieciowe typu *SNVT_switch* o nazwach: *nviLampValue* (zadawanie rozkazu) i *nvoLampValueFb* (realizacja sprzężenia zwrotnego od stanu pracy i poziomu iluminacji). Opcjonalnie w profilu przewidziano zmienne dostarczające informacje o ilości godzin pracy wraz ze zgłoszeniem alarmu czasu pracy oraz wartość zużytej energii przez lampę. Dodatkowo zdefiniowano własności konfiguracyjne umożliwiające ustawienie tekstu identyfikującego lokalizację zainstalowanej lampy, opóźnienie pomiędzy aktualizacją zmiennej *nviLampValue* a aktualizacją zmiennej *nvoLampValueFb*, stan załączenia oświetlenia po włączeniu węzła sieci, ustawienie wstępnej oraz alarmowej wartości całkowitego czasu pracy oraz zużytej energii elektrycznej. Po przekroczeniu wartości alarmowej węzeł sieci ma zgłosić taką informację z wykorzystaniem zmiennej statusu bloku obiektu węzła. W specyfikacji profilu podano znaczenie, prawidłowy zakres, warunki transmisji oraz domyślny typ usługi transmisji tych zmiennych i własności konfiguracyjnych. Typowe zastosowanie urządzeń zgodnych z tym profilem, w ramach wariantu sterowania, to połączenie z modułami włącznika i sterownika (sterownik stałego natężenia oświetlenia, sterownik scen świetlnych).
- Strategia odpowiadająca za pracę czujnika natężenia oświetlenia w standardzie LON opisana jest za pomocą profilu czujnika nr #1010_11. Jest on przeznaczony dla węzłów sieci, które odpowiedzialne są za pomiar poziomu natężenia oświetlenia. Profil ten obowiązkowo przewiduje zastosowanie zmiennej sieciowej odpowiadającej za transmitowanie do sieci sterowania o aktualnym poziomie natężenia oświetlenia. Opcjonalnie w profilu przewidziano własności konfiguracyjne umożliwiające ustawienie tekstu identyfikującego lokalizację zainstalowanego czujnika, ustawienie współczynnika odbicia światła, wartość natężenia światła uwzględnianą podczas procesu autokalibracji, interwały czasowe odnośnie transmisji zmierzonej wartości do sieci sterowania. Typowe zastosowanie urządzeń zgodnych z tym profilem, w ramach wariantu sterowania, to połączenie z modułami sterownik stałego natężenia oświetlenia.

- Strategia odpowiadająca za pracę sterownika stałego natężenia oświetlenia w standardzie LON opisana jest za pomocą profilu nr #3050_10. Obowiązkowo przewiduje on zastosowanie zmiennych sieciowych odpowiadających za: odebranie z sieci sterowania informacji o aktualnym poziomie natężenia oświetlenia (*nviLuxLevel*), odebranie rozkazu o trybie pracy sterownika i wartości punktu nastawy (*nviSetting*), wysłanie rozkazu, zawierającego obliczony na podstawie posiadanych przez sterownik informacji, o trybie pracy i poziomie natężenia iluminacji lampy. Obowiązkowo zdefiniowano również własność konfiguracyjną odpowiedzialną za ustawienie punktu nastawy poziomu natężenia oświetlenia jaki zapewnić ma sterownik. Opcjonalnie w profilu przewidziano zmienną sieciową przyjmującą informacje o ręcznie i/lub nadrzędnie zadanym punkcie nastawy. Ustawienie zmiennej spowoduje, że rozkaz o stanie pracy lampy wprowadzony na wejście sterownik bezpośrednio jest przekazywany na jego wyjście. Dodatkowo zdefiniowano własności konfiguracyjne umożliwiające ustawienie tekstu identyfikującego lokalizację zainstalowanego sterownika, interwały czasowe odnośnie transmisji zmierzonej wartości do sieci sterowania, wartości opóźnienia załączenia/wyłączenia jeśli poziom natężenia oświetlenia odpowiednio jest zbyt niski/wysoki oraz stan pracy sterownika po włączeniu węzła sieci.

Jak można zauważyć do spełnienia wymagań zakładanego wariantu konieczne jest zastosowanie strategii definiującej postępowanie poszczególnych urządzeń, instalacji technologicznych czy modułów automatyki oraz ich wzajemnego połączenia. Jak wspomniano typowe sposoby zrealizowania wariantów sterowania, zgodnych z klasami systemów automatyki przedstawionymi w normie PN-EN 15232, z wykorzystaniem dostępnych dla standardu LonWorks strategii sterowania zostały zaprezentowane w tabelach od 3.13, do 3.16.

Tabela 3.13. Sterowanie instalacjami oświetlenia

L p	Rodzaje sterowania	Wariant	Strategie sterowania zgodne z profilami LON	Wpływ na poprawę efektywności energetycznej
Sterowanie w zależności od obecności				
1	Ręczne załączanie/wyłączenie	Wariant dla klasy D	Brak automatyki lub #3040_10 - Element wykonawczy lampy #3200_10 - Wyłącznik	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Ręczne załączanie/wyłączenie z dodatkowym ogólnym sygnałem wyłączenia	Wariant dla klasy C	#3040_10 - Element wykonawczy lampy #3200_10 - Wyłącznik #3300_10 - Zegar czasu rzeczywistego #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego	Co najmniej raz dziennie system automatycznie wysyła sygnał wyłączenia oświetlenia, typowo wieczorem aby zapobiec nadmiernemu zużyciu energii na niepotrzebne w nocy oświetlenie
3	Automatyczne wykrywanie obecności (zajętości)	Wariant dla klasy A lub B	#3040_10 - Element wykonawczy lampy #3071_10 - Sterownik zajętości #1060_10 - Czujnik obecności	Automatyczne wyłączenie oświetlenia w przypadku braku obecności eliminuje zużycie energii w niezajętych pokojach.
Sterowanie w zależności od oświetlenia dziennego				
1	Ręczne	Wariant	Brak automatyki lub	Brak wpływu na poprawę

		dla klasy C lub D	#3040_10 - Element wykonawczy lampy #3200_10 - Wyłącznik	efektywności energetycznej
2	Automatyczne	Wariant dla klasy A lub B	#3040_10 - Element wykonawczy lampy #3050_10 - Sterownik stałego natężenia oświetlenia #1010_11 - Czujnik natężenia oświetlenia	Zmniejszenie strumienia świetlnego sztucznego oświetlenia do wymaganego minimum.
Sterowanie w zależności od zapotrzebowania (obecność + ilość oświetlenia dziennego)				
1	Ręczne	Wariant dla klasy C lub D	Brak automatyki lub #3040_10 - Element wykonawczy lampy #3200_10 - Wyłącznik	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Automatyczne	Wariant dla klasy A lub B	#3040_10 - Element wykonawczy lampy #3050_10 - Sterownik stałego natężenia oświetlenia #3071_10 - Sterownik zajętości #1060_10 - Czujnik obecności #1010_11 - Czujnik natężenia oświetlenia #3200_10 – Wyłącznik	Oświetlenie załączane przy występowaniu obecności w danej strefie lub pomieszczeniu jeśli warunki pracy są niespełnione. Rozwiązanie to pozwala na osiągnięcie minimalnego zużycia energii elektrycznej przeznaczonej na oświetlenie.

Dla spełnienia wymogów wariantu dla klasy A konieczne jest zastosowanie odpowiednich czujników, sterowników przetwarzających dane od sensorów oraz elementów wykonawczych lampy ze ściemniaczem. Dodatkowo technologia LON umożliwia zrealizowanie sterowania grupowego oraz scen świetlnych. Odpowiednie strategie sterowania, które mogą zostać wykorzystane podczas opracowywania wariantów zostały wskazane w profilach #3250_10, #3251_10 i #3401_10.

Tabela 3.14. Sterowanie zasłonami/żaluzjami

Lp	Rodzaje sterowania	Wariant	Strategie sterowania zgodne z PN-EN ISO/IEC 14908	Wpływ na poprawę efektywności energetycznej
1	Działanie ręczne	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Działanie za pomocą napędu z ręcznym sterowaniem	Wariant dla klasy D	#6110_10 - Element wykonawczy żaluzji #3200_10 – Wyłącznik	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
3	Działanie za pomocą napędu z automatycznym sterowaniem	Wariant dla klasy C	#6110_10 - Element wykonawczy żaluzji #6111_10 - Sterownik żaluzji #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego	Autonomiczne automatyczne sterowanie umożliwia realizację prostych mechanizmów zmniejszających zużycie energii jednak przede wszystkim zwiększa komfort użytkownika pomieszczeń.
4	Zespolone sterowanie oświetleniem / zasłonami / HVAC	Wariant dla klasy A lub B	#6110_10 - Element wykonawczy żaluzji #6111_10 - Sterownik żaluzji #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #1040_10 - Czujnik temperatury #1010_11 - Czujnik natężenia oświetlenia #3200_10 – Wyłącznik #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego	Maksymalizacja przenikania światła dziennego realizowana poprzez sterowanie położenia żaluzji i pozycji jej lameli minimalizuje ilość użycia sztucznego oświetlenia. Sterowanie zoptymalizowane pod względem wykorzystania energii promieni słonecznych zmniejsza zużycie energii systemów ogrzewania i chłodzenia.

Dla spełnienia wymogów wariantu dla klasy A niezbędne jest zastosowanie sterowników śledzących pozycję lameli, wraz ze sterownikami napędu żaluzji i sterownikiem komfortu pomieszczenia- automatyczne sterowanie warunkami termicznymi.

Tabela 3.15. Sterowanie instalacjami ogrzewania i/lub chłodzenia

L p	Rodzaje sterowania	Wariant	Strategie sterowania zgodne z PN-EN ISO/IEC 14908	Wpływ na poprawę efektywności energetycznej
Sterowanie emisją - wydatkiem (System sterowania jest instalowany przy grzejniku lub na poziomie pomieszczenia, dla przypadku pierwszego - jeden system może sterować kilkoma pomieszczeniami)				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki lub sterowanie ręczne z wykorzystaniem: #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego #3200_10 – Wyłącznik	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Centralne sterowanie automatyczne	Wariant dla klasy C	#0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #3200_10 – Wyłącznik	Możliwość zrealizowania prostych funkcji sterowania – brak emisji poza godzinami pracy lub w weekendy i święta. Rozwiązanie w nieznacznym stopniu pozwala na oszczędzenie energii.
3	Indywidualne sterowanie pomieszczeniem z komunikacją pomiędzy modułami i systemem nadrzędnym	Wariant dla klasy B	#0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór) #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #0001_11 – Czujnik bez sprzężenia zwrotnego (monitorowanie stanu okien)	Zastosowanie komunikacji umożliwia korzystanie z programów czasowych w celu redukcji zużycia energii w przypadku nieużywania pomieszczenia. Możliwość zastosowania centralnego sterowania.
4	Zintegrowane indywidualne sterowanie pomieszczeniem uwzględniające sterowanie w zależności od zapotrzebowania (zajętość, jakość powietrza itp.) – z komunikacją z systemem nadrzędnym	Wariant dla klasy A	#0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór) #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #0001_11 – Czujnik bez sprzężenia zwrotnego (monitorowanie stanu okien) #1030_10, #1040_10,	Sterowanie uzależnione od automatycznego wykrywania zajętości prowadzi do dalszej minimalizacji strat dostaw energii w przypadku całkowitego braku obciążenia pomieszczenia.

			#1050_10, #1060_10, #1070_10 (Multisensor: ciśnienie, temperatura, wilgotność, obecność, CO ₂)	
Sterowanie temperaturą sieci rozprowadzania ciepłej wody (wysyłanej/na zasilaniu lub powracającej/na powrocie)				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Sterowanie z kompensacją od temperatury zewnętrznej	Wariant dla klasy C	#8301_10 - Sterownik bojlera #1060_10 - Czujnik temperatury	Obecność automatycznego sterowania obniżającego średnią temperaturę przepływu zasilania i/lub powrotu prowadzi do zmniejszenia strat związanych z rozprowadzaniem
3	Sterowanie temperaturą wewnętrzną zależne od zapotrzebowania	Wariant dla klasy A lub B	#8301_10 - Sterownik bojlera #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #1040_10 - Czujnik temperatury #1060_10 - Czujnik obecności	Efektywne obciążanie grzewcze zależne od poszczególnych sterowników pomieszczeń zmniejsza straty dystrybucji do minimum, przyjmując odpowiednią temperaturę do efektywnego popytu w pomieszczeniu.
Sterowanie pompami rozprowadzającymi				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Sterowanie dwustanowe	Wariant dla klasy C	#0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego	Proste sterowanie pracą pompy - załącz/wyłącz
3	Sterowanie wielostopniowe	Wariant dla klasy B	#8120_10 - Sterownik pompy	Funkcje załączenia/wyłączenia lub kontrolowania ciśnienia, przepływu i prędkości pompy. W zależności od wartości punktu nastaw ciśnienia i przepływu pompa pracuje z odpowiednią prędkością.
4	Sterowanie zmienną	Wariant	#8120_10 - Sterownik	Funkcje załączenia/

	prędkością pomp	dla klasy A	pompy #1030_10 – Czujnik ciśnienia	wyłączenia lub kontrolowania ciśnienia, przepływu i prędkości pompy. Płynna regulacja prędkości ukierunkowana na uzyskanie wymaganego w danej chwili ciśnienia.
Przerwywane sterowanie grzaniem/zasilaniem i/lub rozprowadzaniem/dystrybucją (jeden sterownik może sterować różnymi pomieszczeniami/strefami o takich samych charakterystykach zajętości)				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Automatyczne sterowanie ze stałym programem czasowym	Wariant dla klasy C	#8120_10 – Sterownik pompy #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór)	Sterowanie bez optymalnego załączenia/wyłączenia. Sygnał o stanie pracy jest zadawany za pomocą harmonogramu.
3	Automatyczne sterowanie z optymalnym załączaniem/wyłączaniem (start/stop)	Wariant dla klasy B	#8120_10 – Sterownik pompy #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór)	Ostatni możliwy czas załączenia nagrzewania zmniejsza straty dostaw w godzinach porannych, co powoduje zmniejszenie zużycia energii.
4	Automatyczne sterowanie z oceną zapotrzebowania	Wariant dla klasy A	#8120_10 – Sterownik pompy #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór) #1040_10, #1060_10, (Multisensor:, temperatura, obecność)	Ogrzewanie w celu osiągnięcia komfortowego punktu nastawy temperatury tylko podczas obecności, przy jej braku programy czasowe zapewniają utrzymanie obniżonego punktu nastawy temperatury. Rozwiązanie to pozwala na efektywne wykorzystanie energii.
Sterowanie lokalnym źródłem ciepła (minimalizacja spalania) z uwzględnieniem zasilania z sieci ciepłowniczej				

1	Sterowanie na stałą temperaturą	Wariant dla klasy D	#8060_10 – Termostat #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór)	Prosta regulacja zapewniająca utrzymanie stałej temperatury pracy wytwornicy.
2	Generator sterowany zmianą temperatury w zależności od temperatury zewnętrznej	Wariant dla klasy A lub B lub C	#8060_10 – Termostat #1040_10 – Czujnik temperatury #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór)	Sterowanie temperaturą pracy wytwornicy uwzględniające wpływ temperatury zewnętrznej, dzięki czemu możliwe jest zmniejszenie zużycia energii.
3	Generator sterowany zmianą temperatury w zależności od obciążenia grzewczego lub zapotrzebowania, obejmuje to również sterowanie zależne od temperatury pomieszczenia	Wariant dla klasy A lub B lub C	#8550_10 - Sterownik jednostki grzewczej #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #1040_10 – Czujnik temperatury (zew+wew) #1060_10 – Czujnik obecności #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego (zawór)	Najbardziej optymalne sterowanie pozwalające na osiągnięcie minimalnego, wymaganego zużycia energii.
Sterowanie źródłem dla pomp ciepła				
1	Sterowanie na stałą temperaturą	Wariant dla klasy D	#8060_10 – Termostat #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego	Prosta regulacja zapewniająca utrzymanie stałej temperatury pracy pomp ciepła
2	Generator sterowany zmianą temperatury w zależności od temperatury zewnętrznej	Wariant dla klasy B lub C	#8060_10 – Termostat #1040_10 – Czujnik temperatury #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego	Sterowanie temperaturą pracy pompy ciepła uwzględniające wpływ temperatury zewnętrznej, dzięki czemu możliwe jest zmniejszenie zużycia energii.
3	Generator sterowany zmianą temperatury w zależności od obciążenia grzewczego, np. w zależności od temperatury wody zasilającej	Wariant dla klasy A	#8051_10 - Sterownik pompy ciepła ze sterowaniem temperaturą #1040_10 – Czujnik temperatury	Najbardziej optymalne sterowanie pozwalające na osiągnięcie minimalnego, wymaganego zużycia energii
Sekwencyjne sterowanie różnymi źródłami/generatorami				
1	Priorytet zależny tylko z upływającego czasu	Wariant dla	#3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego	Kolejność pracy danej wytwornicy zależy od

		klasy D	#Odpowiedni sterownik zastosowanych wytwornic	przygotowanego programu czasowego
2	Priorytet zależny tylko od obciążenia grzewczego	Wariant dla klasy C	#8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #1040_10 - Czujnik temperatury (zew+wew) #Odpowiedni sterownik zastosowanych wytwornic	W zależności od aktualnie panujących warunków termicznych załączane/odłączane są poszczególne wytwornice lub grupa wytwornic
3	Priorytet zależny od obciążenia grzewczego i możliwości źródła	Wariant dla klasy B	#8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #1040_10 - Czujnik temperatury (zew+wew) #Odpowiedni sterownik zastosowanych wytwornic	W zależności od aktualnie panujących warunków termicznych załączane/odłączane jest wytwornica, która posiada odpowiednią moc grzewczą
4	Priorytet zależny od wydajności, sprawności źródła	Wariant dla klasy A	#8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #1040_10 - Czujnik temperatury (zew+wew) #Odpowiedni sterownik zastosowanych wytwornic	W zależności od aktualnie panujących warunków termicznych pracuje wytwornica o aktualnie posiadanej najlepszej sprawności w celu osiągnięcia komfortu cieplnego.
Korelacja pomiędzy sterowaniem emisji grzania i chłodzenia i/lub rozprowadzania				
1	Brak korelacji	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Negatywny wpływ na poprawę efektywności energetycznej
2	Częściowa korelacja	Wariant dla klasy C	#Odpowiednie sterowniki (np. #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia)	Sterowanie zrealizowane przez zastosowanie płynnych punktów nastaw temperatury, brak integracji pomiędzy odpowiednimi węzłami sieci
3	Całkowita korelacja	Wariant dla klasy A lub B	#Odpowiednie sterowniki (np. #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia)	Funkcja sterująca uniemożliwiająca równoczesne ogrzewania i chłodzenia strefy, poprzez pełną integrację i zapewnienie wymiany informacji pomiędzy węzłami sieci, zapewnia zmniejszenie zużycia energii

Dla spełnienia wymogów wariantu dla klasy B wymagane jest zastosowanie modułów umożliwiających pomiar temperatur oraz sterownika klimatu (komfortu) w pomieszczeniu. Dodatkowo dla wariantu dla klasy A wymagane jest zastosowanie odpowiednich sensorów.

Tabela 3.16. Sterowanie wentylacją klimatyzacją powietrza

L p	Rodzaje sterowania	Wariant	Strategie sterowania zgodne z PN-EN ISO/IEC 14908	Wpływ na poprawę efektywności energetycznej
Sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Sterowanie czasowe	Wariant dla klasy C	#3301_10 - Harmonogram na bazie czasu #8110_11 - Siłownik kłapy (przepustnicy)	Proste sterowanie stanem pracy - załącz/wyłącz w zależności od przygotowanego programu czasowego
3	Sterowanie od zajętości (obecności)	Wariant dla klasy B	#8110_11 - Siłownik kłapy (przepustnicy) #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #3071_10 - Sterownik zajętości #1060_10 - Czujnik obecności #0001_11 – Czujnik bez sprzężenia zwrotnego (monitorowanie stanu okien)	Zmniejszenie objętościowego natężenia przepływu powietrza w przypadku braku wykorzystania pomieszczenia obniża zużycie energii wymaganej przez wentylację.
4	Sterowanie na żądanie lub zajętością – od zapotrzebowania	Wariant dla klasy A	#8110_11 - Siłownik kłapy (przepustnicy) #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #3071_10 - Sterownik zajętości #1060_10 - Czujnik obecności #0001_11 – Czujnik bez sprzężenia zwrotnego (monitorowanie stanu okien #Czujniki jakości powietrza(#1070_10.	Sterowanie zależne od zapotrzebowanie (jakość powietrza podczas obecności w pomieszczeniu) zmniejsza zużycie energii do minimum.

			#1050_10, 1040_10, 1030_10)	
Sterowanie przepływem powietrza lub ciśnieniem na poziomie jednostki przygotowującej powietrze – przepustnice powietrza				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Sterowanie czasowe dwustanowe	Wariant dla klasy C	#3301_10 - Harmonogram na bazie czasu rzeczywistego #8110_11 - Siłownik klapy (przepustnicy) #0003_11 - Element wykonawczy bez sprzężenia zwrotnego	Proste sterowanie pracą jednostki - załącz/wyłącz
3	Sterowanie wielostopniowe	Wariant dla klasy B	#8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #8110_11 - Siłownik klapy (przepustnicy)	Sterowanie zapewniające różne poziomy stanu pracy przepustnicy.
4	Automatyczne sterowanie przepływem lub ciśnieniem	Wariant dla klasy A	#8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #8010_11 – Sterownik VAV #1030_10 – Czujnik ciśnienia #1083_10 - Czujnik prędkości przepływu powietrza	Funkcje zapewniające regulację ciśnienia lub prędkości przepływu powietrza. Płynna regulacja prędkości ukierunkowana na uzyskanie wymaganego w danej chwili ciśnienia i odpowiednich warunków termicznych.
Sterowanie zabezpieczeniem przed zeszczeniem strony wywiewu wymiennika odzysku ciepła/chłodu				
1	Brak sterowania przeciwzamrozeniowego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak działań podczas chłodnego okresu
2	Ze sterowaniem przeciwzamrozeniowym	Wariant dla klasy A lub B lub C	#8010_11 – Sterownik VAV #1042_10 – Czujnik zamrożenia lub #0001_11 – Czujnik bez sprzężenia zwrotnego	Podczas chłodnego okresu system gwarantuje, że temperatura powietrza opuszczającego wymiennik ciepła nie spada zbyt nisko, co zapobiega zamrożeniu
Sterowanie odzyskiem ciepła (zapobieganie przegrzewaniu)				
1	Brak sterowania	Wariant	Brak automatyki	Brak działań podczas

	przeciwprzegrzewaniowego	dla klasy D		gorącego okresu
2	Ze sterowaniem przeciwprzegrzewaniu	Wariant dla klasy A lub B lub C	#8010_11 – Sterownik VAV #1040_10 – Czujnik temperatury lub #0001_11 – Czujnik bez sprzężenia zwrotnego	Gdy działanie wymiennika ciepła nie będzie korzystne, ze względu na zbyt wysoką temperaturę, sterownik przestaje go wykorzystywać
Swobodne chłodzenie mechaniczne				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Chłodzenie nocne	Wariant dla klasy C	#8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #6110_10 - Element wykonawczy żaluzji #6111_10 - Sterownik żaluzji #1040_10 – Czujnik temperatury (zew+wew) #1051_10 – Czujnik deszczu	Podczas braku zajętości jeśli temperatura w pomieszczeniu jest większa od ustawionej wartości dla okresu komfortu lub jeśli różnica pomiędzy temperaturą wewnętrzną i zewnętrzną przekracza ustaloną granicę to aktywowane jest chłodzenie nocne. Jeśli chłodzenie zostanie zrealizowane za pomocą automatycznie otwieranych okien to nie wykorzystuje się wentylacji mechanicznej.
3	Chłodzenie swobodne	Wariant dla klasy A lub B	#8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #1040_10 – Czujnik temperatury (zew+wew)	Ilość powietrza zewnętrznego oraz powietrza ponownie wykorzystanego jest modulowana w celu zminimalizowania ilości mechanicznego chłodzenia, tym samym zużytej energii. Modulowanie jest realizowane z uwzględnieniem temperatury
4	Bezpośrednie sterowanie H,x –	Wariant	#8500_20 - Sterownik	Ilość powietrza

	ukierunkowane sterowanie	dla klasy A lub B	komfortu pomieszczenia #8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #8010_11 – Sterownik VAV #1040_10 – Czujnik temperatury (zew+wew) #1050_10 – Czujnik wilgotności	zewnątrznego oraz powietrza ponownie wykorzystanego jest modulowana w celu zminimalizowania ilości mechanicznego chłodzenia, tym samym zużytej energii. Modulowanie jest realizowane z uwzględnieniem temperatury i wilgotności (entalpii)
Sterowanie temperaturą dostarczanego powietrza				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Stała wartość zadanego punktu nastawy	Wariant dla klasy C	#8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #1040_10 – Czujnik temperatury	Sterowanie zorientowane na temperaturę dostarczanego powietrza, punkt ustawienia jest stały i może być modyfikowany tylko ręcznie
3	Zmienna wartość zadana z kompensacją zależną od temperatury zewnętrznej	Wariant dla klasy A lub B	#8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #1040_10 – Czujnik temperatury (zew+wew)	Sterowanie zapewnia regulację temperatury dostarczanej do pomieszczenia. Wartość punktu nastawy jest prostą funkcją zależną od temperatury zewnętrznej (np. funkcja liniowa)
4	Zmienna wartość zadana z kompensacją zależną od obciążenia	Wariant dla klasy A lub B	#8500_20 - Sterownik komfortu pomieszczenia #8090_10 - Zadajnik komfortu pomieszczenia #8030_11 – Sterownik jednostki dachowej lub #8020_11 – Sterownik klimakonwektora #1040_10 – Czujnik temperatury #1060_10 – Czujnik obecności	Sterowanie zapewnia regulację temperatury dostarczanej do pomieszczenia. Wartość punktu nastawy jest zmieniana w zależności od obciążenia cieplnego pomieszczenia. Regulacja taka może zostać zrealizowana tylko za pomocą zintegrowanego

				sterowania posiadającego informacje o temperaturze i/lub pozycji nastawników w poszczególnych pomieszczeniach
Sterowanie wilgotnością				
1	Brak sterowania automatycznego	Wariant dla klasy D	Brak automatyki	Brak wpływu na poprawę efektywności energetycznej
2	Sterowanie wilgotnością dostarczanego powietrza	Wariant dla klasy C	#1050_10 – Czujnik wilgotności #Sterownik nawilzacza	Sterowanie zapewnia utrzymanie stałej wartości dostarczanego powietrza
3	Sterowanie wilgotnością powietrza w pomieszczeniu lub powietrza wydalanego	Wariant dla klasy A lub B	#1050_10 – Czujnik wilgotności #Sterownik nawilzacza	Sterowanie wilgotnością powietrza w pomieszczeniu aby utrzymać ją na stałym poziomie. Sterowanie wilgotnością jest uzależnione od wydalanego powietrza.

Należy zwrócić uwagę, że wszystkie węzły sieci technologii LON mogą wymieniać między sobą informacje bezpośrednio na poziomie obiektowym. Przykładowo, rozwiązanie to umożliwia dostęp do informacji pochodzących z jednego fizycznie zamontowanego w pomieszczeniu czujnika obecności różnym podsystemom. Ta sama czujka ruchu może być elementem podsystemu sygnalizacji włamania i napadu, oświetlenia lub HVAC. Ponadto należy podkreślić, że technologia LON pozwala na opracowywanie, producentom urządzeń i deweloperom aplikacji, własnych profili funkcjonalnych (UFPT – wzorzec profilu funkcjonalnego użytkownika), które mogą wykorzystywać standardowe zmienne sieciowe lub zmienne sieciowe użytkownika. Profil funkcjonalny użytkownika może dziedziczyć wszystkie obiekty i ich zachowania ze standardowego profilu funkcjonalnego oraz dodatkowo zawierać specyficzne zmienne i reguły danej aplikacji. Dodatkowo zastosowanie serwerów automatyki, urządzeń posiadających większą moc obliczeniową i możliwości operacyjne niż zwykłe węzły sieci, które również są zintegrowane na poziomie obiektowym z siecią sterowania, umożliwia integratorom tworzenie własnych bloków funkcjonalnych. Wymienione rozwiązania, zgodne z zasadami technologii LON, pozwalają na odpowiednie dostosowanie strategii sterowania tak, aby całkowicie spełnić wymagania koncepcji danego wariantu.

4. Badania własne różnych wariantów sterowania w rozproszonych systemach automatyzacji i analiza wyników

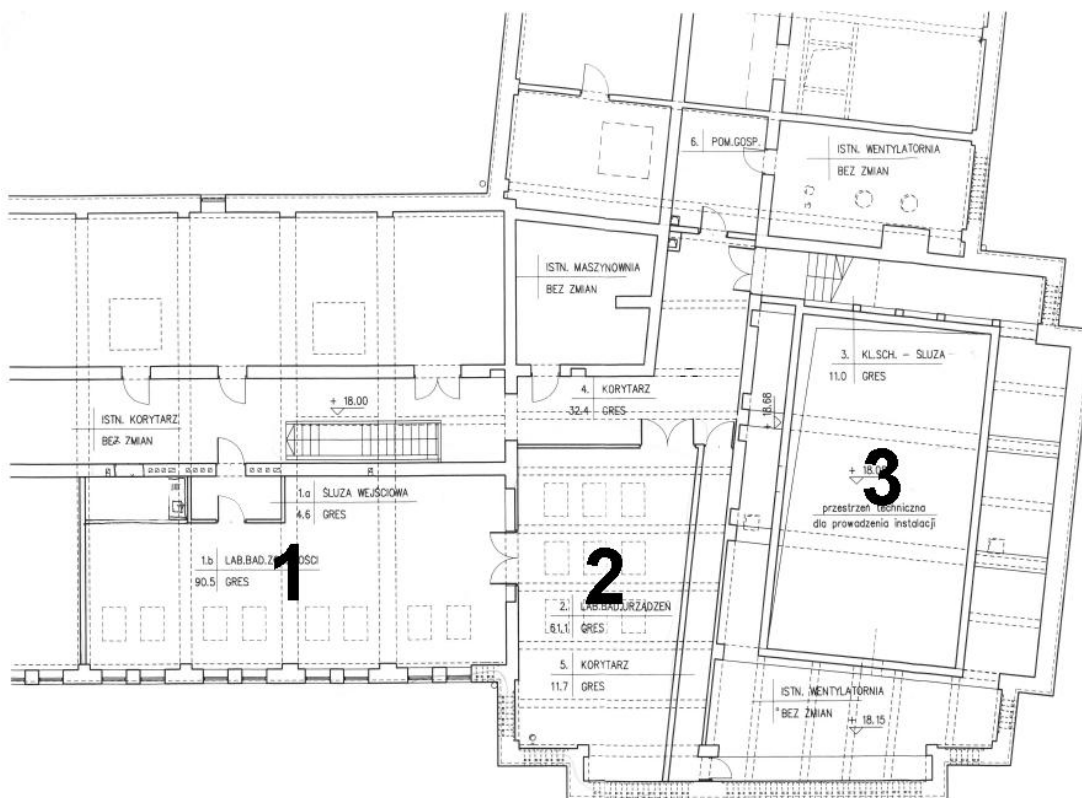
Dla realizacji celów badawczych wynikających z tezy niniejszej pracy, dokonano implementacji i integracji funkcji rozproszonych systemów automatyzacji budynków, bazujących na światowych standardach w tym zakresie. Autor zaproponował różne modele i warianty sterowania, spełniające wymagania stawiane poszczególnym klasom sprawności BACS wg normy PN-EN 15232. Przeprowadził również ich implementację, badania i pomiary, wraz z obserwacjami wpływu na efektywność energetyczną obsługiwaną infrastrukturą. Wykorzystano w tym celu pomieszczenia Laboratorium Oceny Efektywności Energetycznej i Automatyki Budynków AutBudNet, funkcjonującego na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej krakowskiej AGH, wyposażonych w kompleksową instalację automatyki budynkowej, bazującą na standardzie LonWorks. Infrastruktura ta stanowi ciekawy obiekt badawczy, z możliwością implementacji i obserwacji różnych algorytmów, wariantów i strategii sterowania, w pomieszczeniach wyposażonych w podsystemy oświetlenia, ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, kontroli dostępu, otwarcia i zamknięcia okien oraz rolet, monitorowania zużycia energii elektrycznej oraz ciepłej i inne. Wszystkie wymienione elementy infrastruktury pomieszczeń laboratorium AutBudNet sterowane są modułami sieci LonWorks, z możliwością pełnej integracji i wymiany danych sterujących oraz monitoringu ich stanu.

4.1. Infrastruktura laboratoryjna - możliwości implementacyjne wariantów sterowania

Laboratorium AutBudNet składa się z trzech pomieszczeń o łącznej powierzchni użytkowej ok. 250 m². Na rysunku 4.1 zaprezentowano plan sytuacyjny pomieszczeń laboratoryjnych. Wszystkie urządzenia zainstalowane w pomieszczeniach laboratorium mają moduły sterowania zgodne standardem LonWorks i są połączone siecią LON, która służy do sterowania i monitorowania instalacji technologicznych w pomieszczeniach, w ramach system BACS.

Na podstawową infrastrukturę laboratoriów składają się następujące elementy:

- oprawy oświetleniowe wyposażone w świetlówki liniowe jako źródło światła, część z możliwością sterowania natężeniem oświetlenia,
- okna wraz z roletami, sterowanymi za pomocą silników elektrycznych, wyposażone w kontaktronowe czujniki krańcowe monitorujące położenie rolet,
- w pomieszczeniu nr 3 – okna otwierane/zamykane za pomocą siłowników elektrycznych,
- czujniki temperatury, wilgotności, różnicy ciśnień pomiędzy pomieszczeniami laboratoriów a otoczeniem zewnętrznym, czujniki jakości powietrza,
- czujniki kontaktronowe zamknięcia drzwi,
- czujniki ruchu,
- zestawy ściennych wyłączników monostabilnych do sterowania oświetleniem, oknami, roletami okiennymi,



Rys. 4.1. Rzut pomieszczeń laboratoryjnych w AGH w Krakowie [47]

- panele dotykowe z ekranami graficznymi, umożliwiające sterowanie i wizualizację stanu pracy różnych urządzeń w pomieszczeniach,
- dwie centrale wentylacyjne, z odzyskiem ciepła (wymiennik obrotowy), wyposażone w sekcję recyrkulacji oraz w nagrzewnicę elektryczną i chłodnicę glikolową, wraz z nawilżaczami parowymi i agregatem wody lodowej,
- instalacja grzewcza w systemie dwururowym, pompowym, z grzejnikami płytowymi
- liczniki energii elektrycznej,
- liczniki energii cieplnej,
- dwie szafy BMS – w szafach tych zainstalowane są sterowniki poszczególnych urządzeń oraz elementy infrastruktury BACS – routery i serwery automatyki. Routery umożliwiają podział sieci sterującej na podsieci oraz zapewniają zdalny i bezpieczny dostęp do sieci np. za pośrednictwem Internetu. Serwery automatyki to urządzenia pozwalające na realizację zaawansowanych algorytmów sterowania, zapewniające obsługę funkcji alarmowania, harmonogramowania, rejestrację danych historycznych oraz wizualizację i zarządzanie daną siecią sterowania. W przypadku niektórych modeli, algorytmy sterowania można implementować zgodnie z normą IEC 61131-3 [47].

Wymieniona infrastruktura oferuje warunki do prowadzenia różnorodnych badań, gromadzenia dużych ilości danych pomiarowych z systemów monitoringu i wyników pomiarów oraz pozwala traktować pomieszczenia laboratoryjne jako obiekt do testowania różnych strategii sterowania lub źródło danych pomiarowych z rzeczywistego obiektu budowlanego.

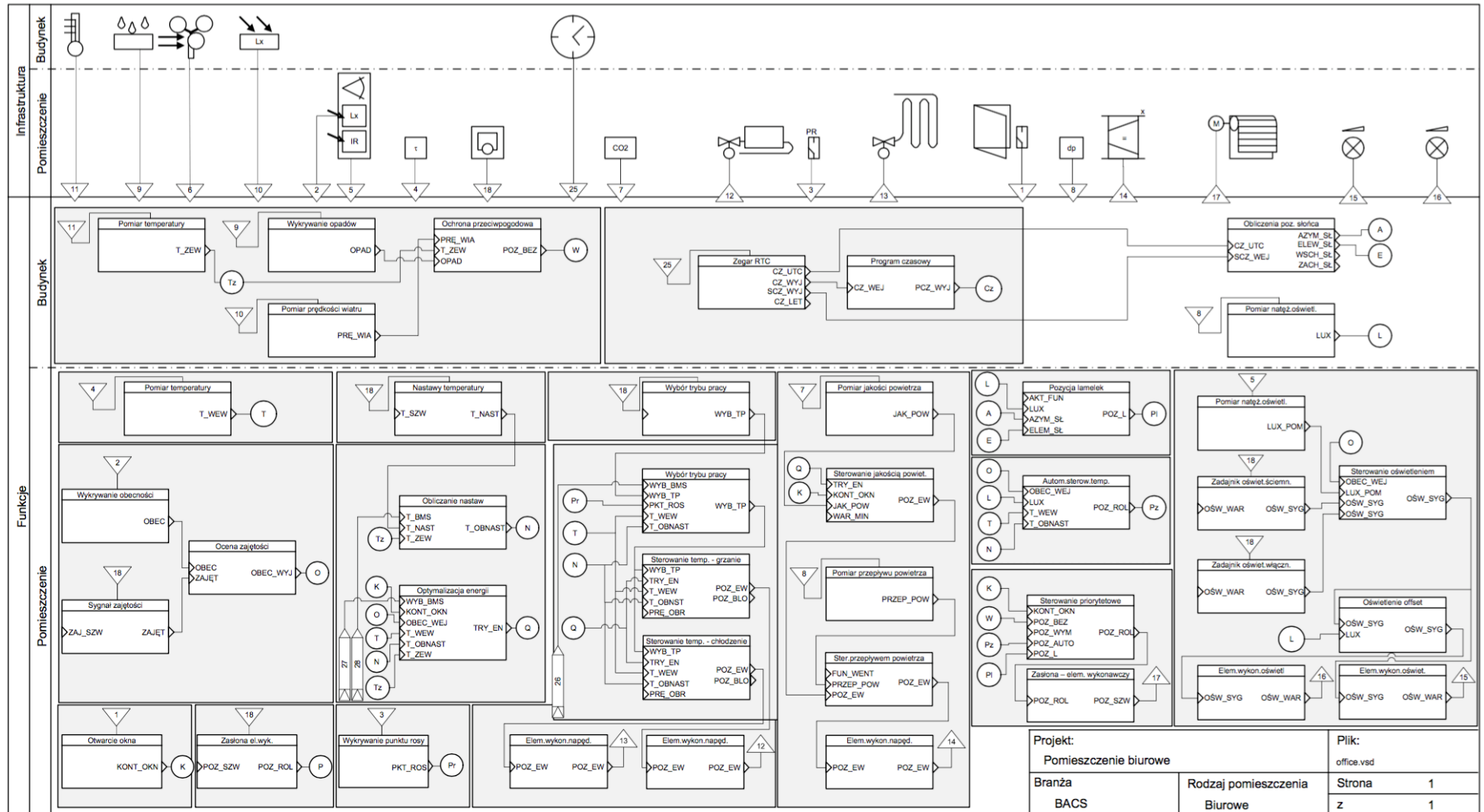
4.2. Modele funkcjonalne systemów automatyki dla określonych typów obiektów

Na potrzeby badań własnych dotyczących weryfikacji skuteczności różnych wariantów sterowania w zakresie poprawy efektywności energetycznej, konieczne było przygotowanie modeli funkcjonalnych systemów BACS dla określonych typów obiektów. Zgodnie z informacjami przedstawionymi w poprzednich rozdziałach, w przypadku organizacji systemów BACS aspektem równie istotnym, jak zastosowana do ich realizacji technologia, sposób konstrukcji i wykonania, jest także zakładana i osiągnięta funkcjonalność. Zbiór funkcji BACS zależy od zakładanej klasy sprawności systemu automatyki oraz od typu i przeznaczenia budynku. Należy zwrócić uwagę, że oprócz określenia tego zbioru, istotne jest zdefiniowanie sposobu połączeń punktów danych w celu realizacji sterowania danym procesem. Do odwzorowania sposobu funkcjonowania systemu BACS, można zastosować model funkcjonalny. Powinien on dostarczać informacji o funkcjach i procesach zachodzących w danym systemie. Jeśli więc model strukturalny określa budowę systemu BACS, to model funkcjonalny powinien określić jego działanie. Dla wybranych typów obiektów, jak podano w PN-EN 15217 oraz VDI 3813: (i) pomieszczenia biurowe, (ii) sala konferencyjna, (iii) sala lekcyjna oraz (iv) pokój hotelowy, przykładowe modele funkcjonalne, w postaci schematów, zostały przedstawione na rysunkach nr 4.2-4.6 oraz w tabelach 4.1-4.4. Wykorzystanie takich schematów, zostało przedstawione w VDI 3813. Opis funkcjonowania i wymagania stawiane przykładowemu pomieszczeniu biurowemu, przeznaczonemu do pracy biurowej, spotkań, zostały przedstawione w tabeli nr 4.1, a model funkcjonalny zawierające schemat sterowania został przedstawiony na rysunku nr 4.2 [40], [48].

Tabela 4.1 – Założenia i funkcjonowanie przykładowego pomieszczenia biurowego

Instalacje technologiczne	Opis
Ogrzewanie/Chłodzenie	Sufit grzewczo-chłodzący (system 2-rurowy) z oddzielnym zasilaniem dla poszczególnych pomieszczeń, stref za pomocą zaworów regulacyjnych
Wentylacja i klimatyzacja	Centralny system wentylacji z regulacją strumienia objętości powietrza nawiewanego zależnego od jakości powietrza dla pomieszczenia, strefy, wyciąg przez kratki w suficie oraz wyrzut zużytego powietrza przez wyrzutnie dachowe.
Oświetlenie	Oprawy sufitowe ze ściemniaczem, jedna grupa dla pomieszczenia, strefy
Zasłony (rolety, żaluzje)	Rolety zewnętrzne, z regulacją położenia lamelk – napęd elekt.
Okna, drzwi	Okna i drzwi obsługiwane ręcznie, wyposażone w kontaktrony
Sterowanie przez użytkownika	Zadawanie nastaw temperatury w pomieszczeniu Lokalne (dla strefy) sterowanie pozycją zasłon Lokalne (dla strefy) sterowanie oświetleniem (zał./wyl., jasność) Sterowanie z poziomego panelu dla całego pomieszczenia Wykrywanie obecności, z możliwością ręcznego zadania sygnału zajętości

Wymogi elastyczności, skalowalności	Grupowania stref w pomieszczenia bez modyfikacji okablowania Jeden lub kilka paneli sterowania dla poszczególnych biur Jeden lub kilka czujników temperatury w pomieszczeniu dla każdego biura
Wymagana efektywności energetyczna	Klasa sprawności energetycznej A zgodnie z PN-EN 15232

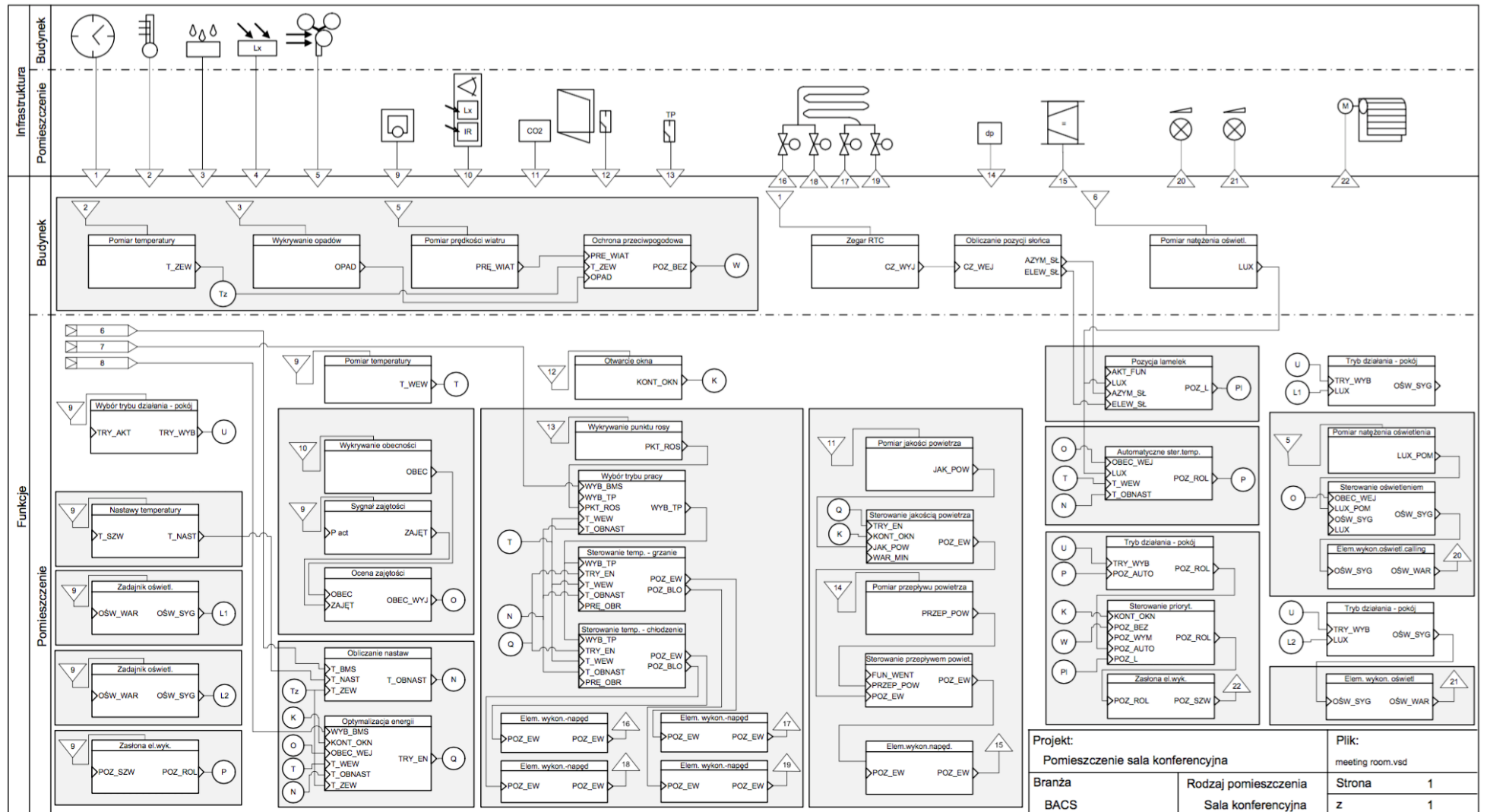


Rys. 4.2 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w przykładowym pomieszczeniu biurowym

Opis funkcjonowania i wymagania stawiane przykładowej sali konferencyjnej, przeznaczonej do organizowania konferencji, spotkań bądź wykładów, zostały przedstawione w tabeli nr 4.2, a model funkcjonalny zawierające schemat sterowania został przedstawiony na rysunku nr 4.3.

Tabela 4.2 – Założenia i funkcjonowanie przykładowej sali konferencyjnej

Instalacje technologiczne	Opis
Ogrzewanie/Chłodzenie	Sufit grzewczo-chłodzący (system 4-rurowy) z monitoringiem punktu rosy. Sterowanie ogrzewaniem i chłodzeniem realizowane z wykorzystaniem zaworów regulacyjnych (np. sygnał 0V-10V) i odcinających (zał./wył.)
Wentylacja i klimatyzacja	Centralny system wentylacji z regulacją strumienia objętości powietrza nawiewanego zależnego od jakości powietrza w pomieszczeniu, wyciąg przez kratki w suficie oraz wyrzut zużytego powietrza przez wyrzutnie dachowe
Oświetlenie	Oprawy sufitowe ze ściemniaczem – oświetlenie podstawowe, oprawy ścienne ze ściemniaczem – oświetlenie dekoracyjne
Zasłony (rolety, żaluzje)	Rolety zewnętrzne, z regulacją położenia lametek – napęd elekt.
Okna, drzwi	Okna z siłownikami, wyposażone w kontaktrony
Sterowanie przez użytkownika	Sterowanie z poziomu panelu dla całego pomieszczenia Zadawanie nastaw temperatury w pomieszczeniu Dostosowywanie poziomu oświetlenia i położenia zasłon z funkcją scen Ręczne sterowanie pozycją zasłon Ręczne sterowanie całym oświetleniem (zał./wył., jasność)
Wymagana efektywności energetyczna	Klasa sprawności energetycznej A zgodnie z PN-EN 15232

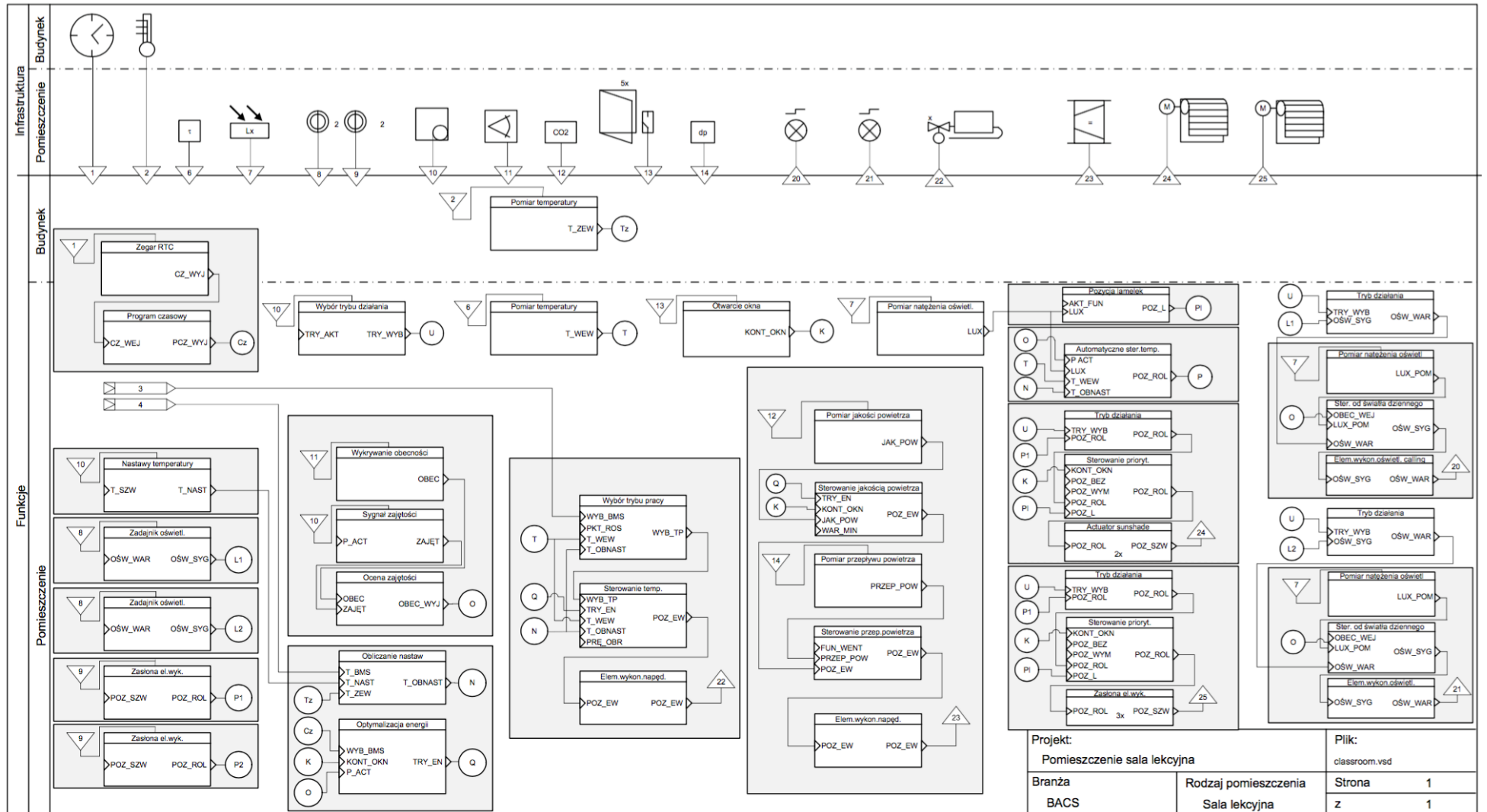


Rys. 4.3 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w przykładowej sali konferencyjnej

Opis funkcjonowania i wymagania stawiane przykładowej sali lekcyjnej, przeznaczonej do przeprowadzania lekcji lub seminarium, zostały przedstawione w tabeli nr 4.3, a model funkcjonalny zawierające schemat sterowania został przedstawiony na rysunku nr 4.4.

Tabela 4.3 – Założenia i funkcjonowanie przykładowej sali lekcyjnej

Instalacje technologiczne	Opis
Ogrzewanie/Chłodzenie	Ogrzewanie realizowane przez 4 kaloryfery sterowane zaworem strefowym - dla całego pomieszczenia. Zawór podłączony do elementu wykonawczego (np. sygnał 0V-10V)
Wentylacja i klimatyzacja	Wentylacja realizowana przez lokalną jednostkę w każdym pomieszczeniu z regulacją strumienia objętości powietrza nawiewanego zależnego od jakości powietrza w pomieszczeniu, wyciąg przez kratki w suficie oraz wyrzut zużytego powietrza przez wyrzutnie dachowe
Oświetlenie	Oprawy sufitowe – zależnie od dostępności światła dziennego, dostosowywanie poziomu natężenia oświetlenia dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń i prowadzonych zajęć
Zasłony (rolety, żaluzje)	Rolety wewnętrzne
Okna, drzwi	Okna i drzwi obsługiwane ręcznie, wyposażone w kontaktrony
Sterowanie przez użytkownika	<p>Sterowanie z poziomu panelu dla całego pomieszczenia</p> <p>Zadawanie nastaw temperatury w pomieszczeniu</p> <p>Dostosowywanie poziomu oświetlenia i położenia zasłon z funkcją scen</p> <p>Lokalne (dla strefy) sterowanie pozycją zasłon</p> <p>Lokalne (dla strefy) sterowanie oświetleniem (zał./wył., jasność)</p> <p>Wykrywanie obecności, z możliwością ręcznego zadania sygnału zajętości</p>
Wymagana efektywności energetyczna	Klasa sprawności energetycznej B zgodnie z PN-EN 15232

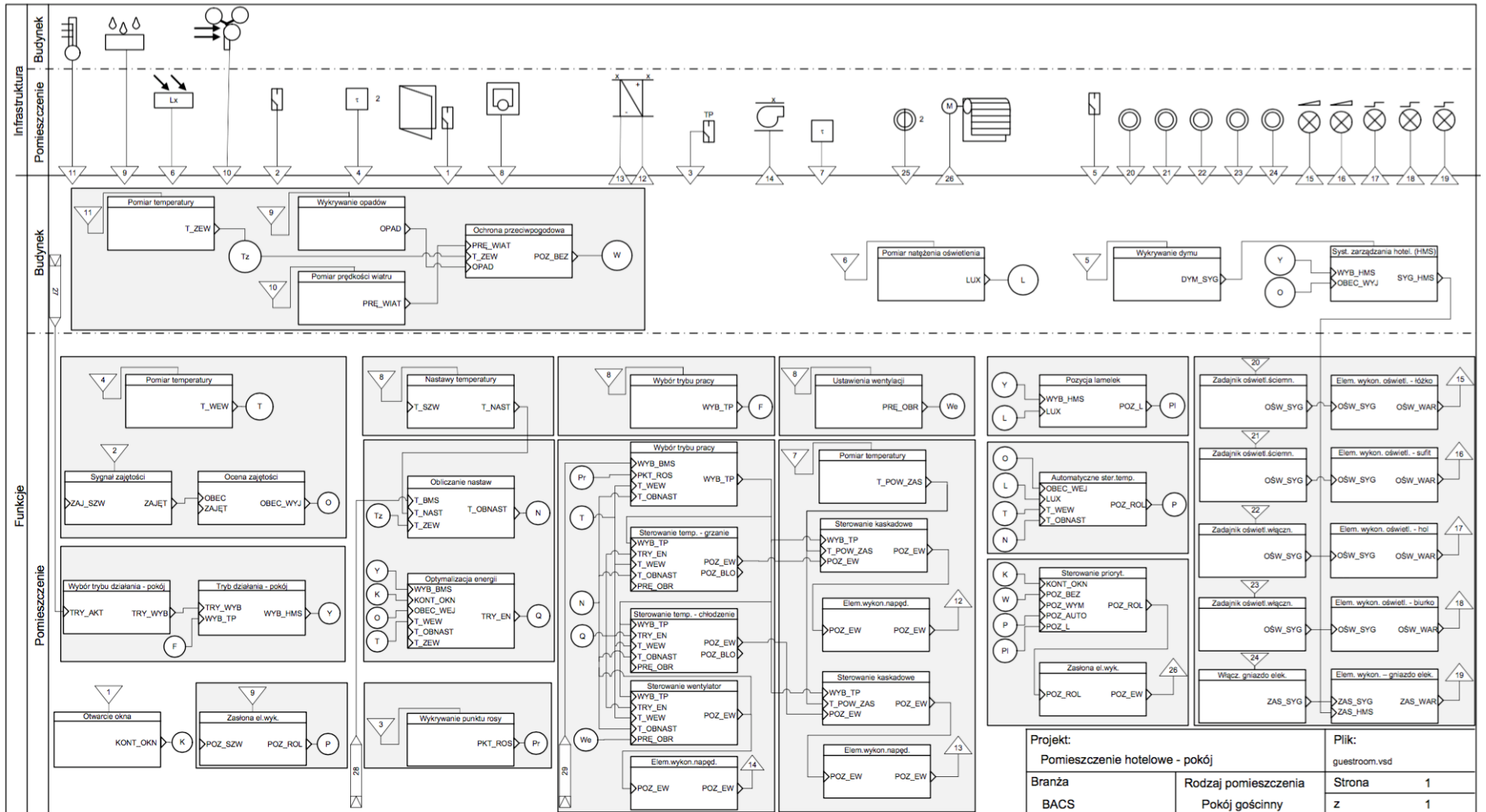


Rys. 4.4 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w przykładowej sali lekcyjnej

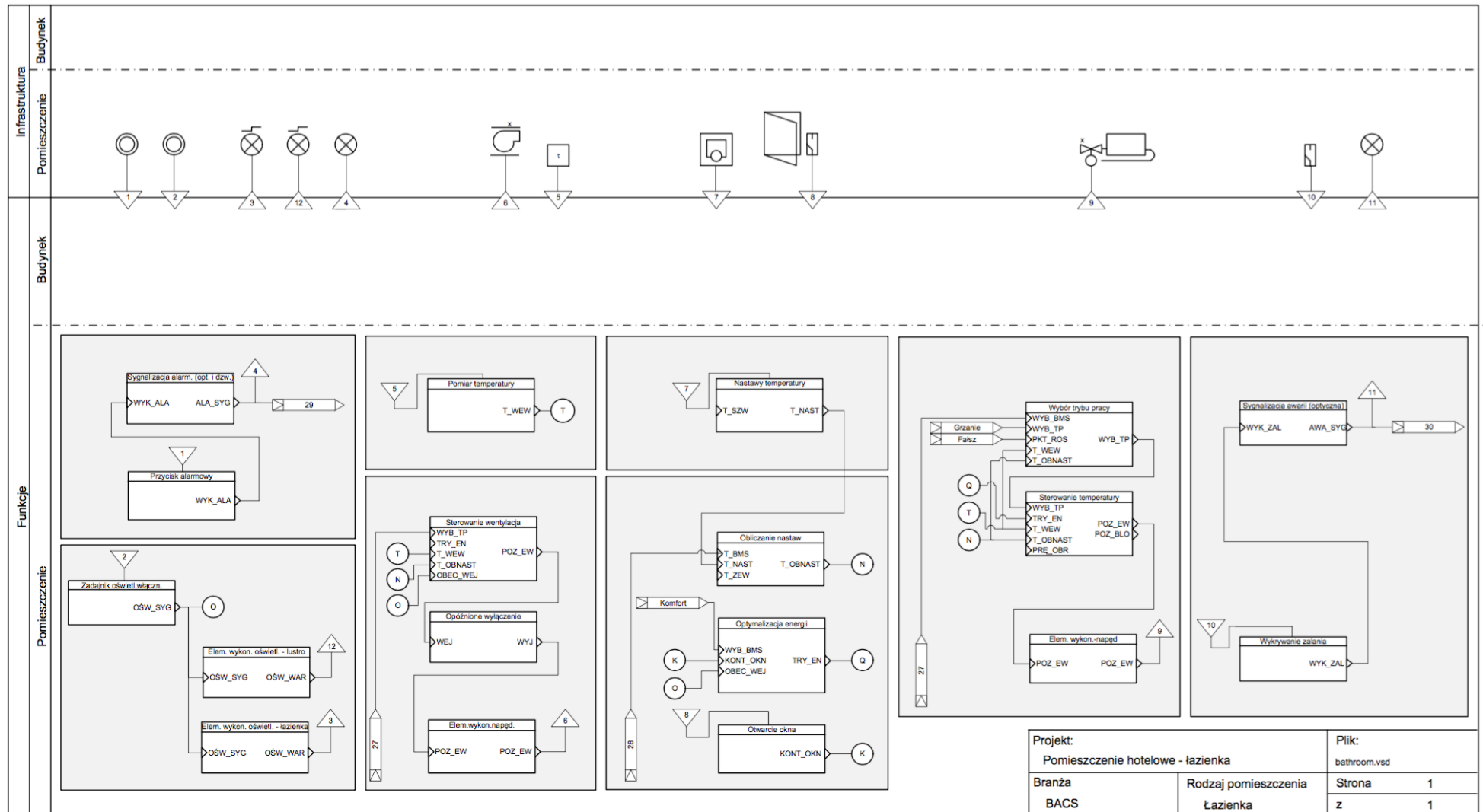
Opis funkcjonowania i wymagania stawiane przykładowemu pokojowi hotelowemu, przeznaczonemu do pobytu gości hotelowych, z możliwością obsługi scen przez system zarządzania hotelem, z osobnymi nastawami dla personelu sprząającego oraz z możliwością aranżacji powitania gości hotelowych, zostały przedstawione w tabeli nr 4.4, a model funkcjonalny zawierające schemat sterowania został przedstawiony na rysunku nr 4.5 i 4.6.

Tabela 4.4 – Założenia i funkcjonowanie przykładowego pokoju hotelowego

Instalacje technologiczne	Opis
Ogrzewanie/Chłodzenie	Konwektor wentylatorowy (fan-coil) w pokoju (system 4-rurowy) z wentylatorem 3-biegowym, elektrozawór do nagrzewnicy i chłodnicy oraz zintegrowany czujnik temperatury powietrza nawiewanego Pomiar temperatury w pokoju przez jeden lub kilka czujników bezprzewodowych Grzejnik w łazience (np. na ręczniki) z elektrozaworem Sterownik temperatury w łazience ze zintegrowanym czujnikiem temperatury wraz z lokalnym zadawaniem nastaw temperatury
Wentylacja i klimatyzacja	Wyciąg w łazience
Oświetlenie	Oprawy przy łóżku ze ściemniaczem Oprawy sufitowe ze ściemniaczem Oprawy w przedpokoju Lampka biurkowa Sterowanie gniazdami elektrycznymi Sterownik stałego poziomu oświetlenia oraz dostosowanie iluminacji świetlnej dla różnych scen
Wykrywanie zajętości	Czytnik kart przy wejściu, system rezerwacyjny hotelu
Zasłony (rolety, żaluzje)	Rolety zewnętrzne, z regulacją położenia lamelk – napęd elekt.
System bezpieczeństwa	Detekcja zalania w łazience z sygnalizacją optyczną i akustyczną Przycisk bezpieczeństwa w łazience z sygnalizacją optyczną i akustyczną Czujnik dymy oddziałujący na oświetlenie, wentylacje i zasłony
Sterowanie przez użytkownika	Sterowanie z poziomu panelu klimatyzacją (nastawy temperatury, wybór biegu wentylatora oraz sceny) Lokalne sterowanie pozycją zasłon Lokalne sterowanie oświetleniem (zał./wył., jasność) dla całego pomieszczenia Wybór scen z poziomu systemu zarządzania hotelu
Wymagana efektywności energetyczna	Klasa sprawności energetycznej A zgodnie z PN-EN 15232



Rys. 4.5 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w przykładowym pokoju hotelowym – pokój gościnny



Rys. 4.6 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w przykładowym pokoju hotelowym - łazienka

4.3. *Badania i pomiary modeli funkcjonalnych przy uwzględnieniu różnych wariantów sterowania*

Przedstawione w poprzednim podrozdziale modele funkcjonalne odwzorowują sposób funkcjonowania BACS dla różnych typów obiektów (różne profile użytkowania), w jednym z wybranych wariantów sterowania. Istotny wpływ na dany wariant sterowania, a tym samym na kształt modelu funkcjonalnego, posiada przyjęta klasa sprawności BACS. Dlatego dla wspomnianego wcześniej laboratorium AutBudNet, postanowiono opracować modele funkcjonalne uwzględniające różne warianty sterowania dla wybranych typów obiektów. Następnie, zaimplementowano je w ramach wspomnianej infrastruktury i dokonano pomiarów odpowiednich parametrów, dla poszczególnych modeli funkcjonalnych. Zgodnie z przedstawionym na rysunku nr 4.1 planem laboratorium AutBudNet, pomieszczenia nr 1 i 2 można potraktować jako pomieszczenie o biurowym profilu użytkowania, a pomieszczenie nr 3 to profil użytkowania sala lekcyjna. Pomieszczenia te, jako że są częściami tego samego laboratorium, wykonane zostały w tej samej technologii budowlanej, z podobnymi instalacjami technologicznymi oraz posiadają identyczną dostępną infrastrukturę sieciowego systemu sterowania BACS, w standardzie LonWorks. Na potrzeby niniejszych prac badawczych, można zatem przyjąć założenie, że różnią się one zasadniczo tylko sposobem ich użytkowania. Ogólny opis funkcjonowania i wymagania stawiane wspomnianym pomieszczeniom, zostały przedstawione w tabeli nr 4.5. Na rysunkach nr 4.7 do 4.14 przedstawiono modele funkcjonalne dla poszczególnych klas sprawności BACS.

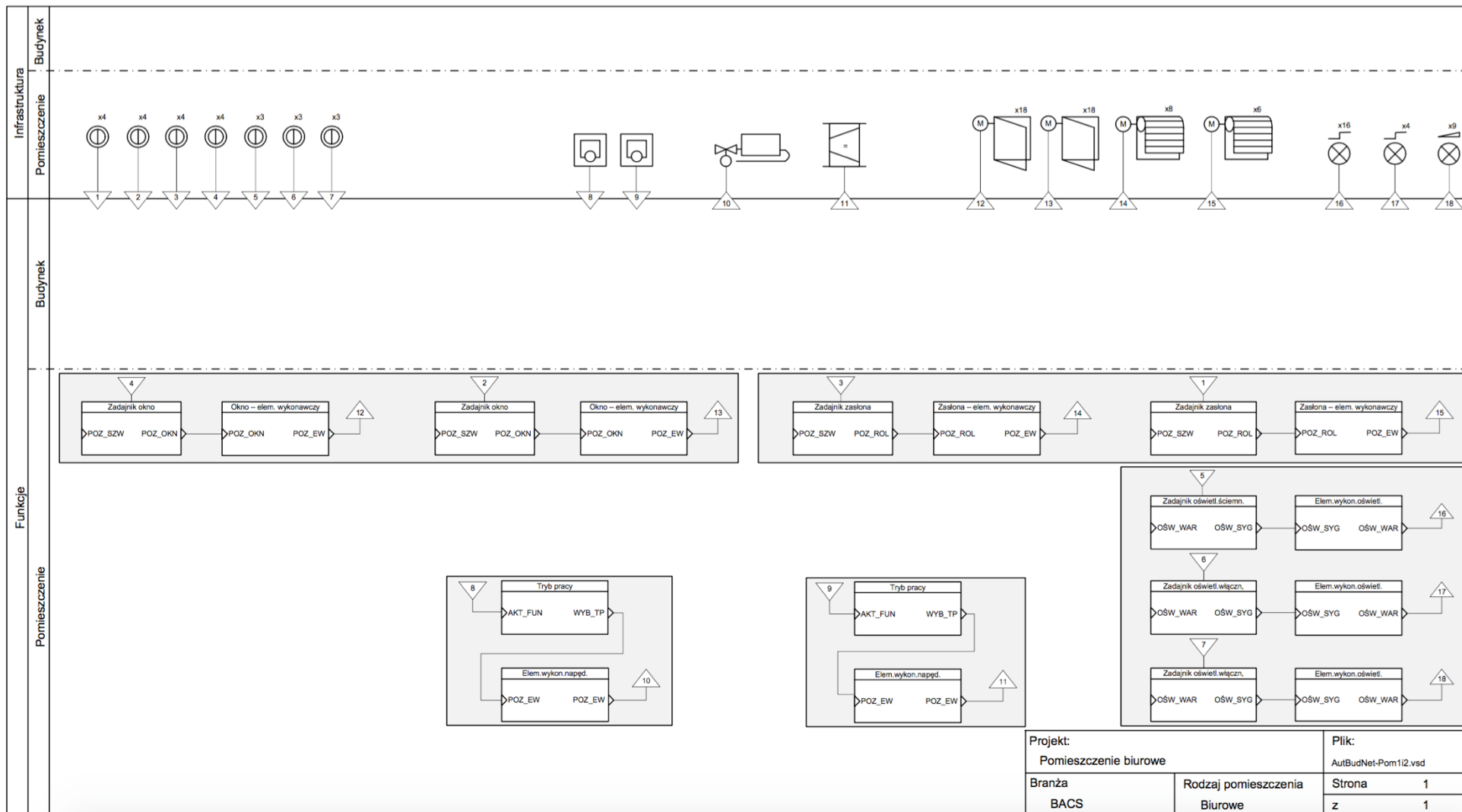
Tabela 4.5 – Założenia i funkcjonowanie pomieszczeń laboratorium AutBudNet

Instalacje technologiczne	Opis
Ogrzewanie/Chłodzenie	<p>W pomieszczeniu nr 1: ogrzewanie realizowane przez 5 grzejników stalowych płytowych PURMO Ventil Compact CV33-30 z wbudowanym zaworem termostatycznym typu 101 80 80 firmy Oventrop, wraz z siłownikami do tych zaworów o działaniu załącz/wyłącz.</p> <p>W pomieszczeniu nr 2: ogrzewanie realizowane przez 3 grzejniki stalowe płytowe PURMO Ventil Compact CV22-50 z wbudowanym zaworem termostatycznym typu 101 80 80 firmy Oventrop, wraz z siłownikami do tych zaworów o działaniu załącz/wyłącz.</p> <p>W pomieszczeniu nr 3: ogrzewanie realizowane przez 4 grzejniki stalowe płytowe PURMO Ventil Compact CV22-50 z wbudowanym zaworem termostatycznym typu 101 80 80 firmy Oventrop, wraz z siłownikami do tych zaworów o działaniu załącz/wyłącz.</p>
Wentylacja i klimatyzacja	W pomieszczeniu nr 1 i 2: Centralny system wentylacji z regulacją strumienia objętości powietrza nawiewanego zależnego od jakości powietrza w pomieszczeniu, wyciąg przez kratki w suficie oraz wyrzut zużytego powietrza przez wyrzutnie dachowe.

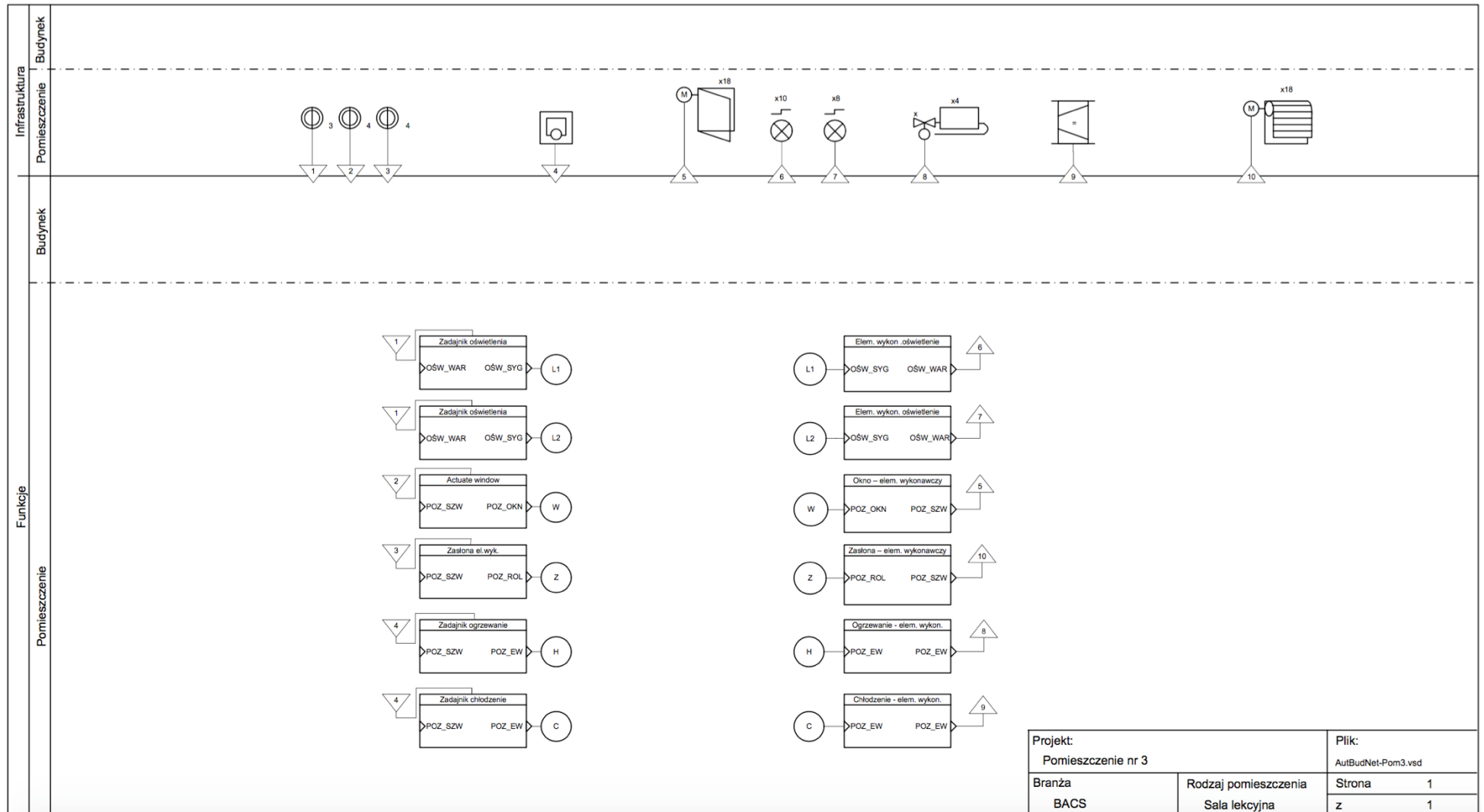
	W pomieszczeniu nr 3: Lokalna jednostka wentylacyjna z regulacją strumienia objętości powietrza nawiewanego zależnego od jakości powietrza w pomieszczeniu, wyciąg przez kratki w suficie oraz wyrzut zużytego powietrza przez wyrzutnie dachowe.
Oświetlenie	W pomieszczeniu nr 1: Oprawy sufitowe ESSystem 6047 KT 414.1P-AM – 16 szt. oraz ESSystem 6308 S3000 – 4 szt. W pomieszczeniu nr 2: Oprawy sufitowe ESSystem TRIO 6723001 z możliwością regulacji natężenia oświetlenia – 9 szt. W pomieszczeniu nr 3: Oprawy sufitowe ESSystem 6045 KT 314.1P-AM – 10 szt. oraz ESSystem 6308 S3000 – 8 szt. – zależnie od dostępności światła dziennego, dostosowywanie poziomu natężenia oświetlenia dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń i prowadzonych zajęć
Zasłony (rolety, żaluzje)	Rolety zewnętrzne, z regulacją ich położenia – napęd elektryczny
Okna, drzwi	W pomieszczeniu nr 1: okna ściennie i drzwi obsługiwane ręcznie, okna dachowe z napędem elektrycznym - wyposażone w kontaktrony. W pomieszczeniu nr 2: okna dachowe z napędem elektrycznym oraz drzwi obsługiwane ręcznie - wyposażone w kontaktrony. W pomieszczeniu nr 3: okna ściennie i dachowe z napędem elektrycznym oraz drzwi obsługiwane ręcznie - wyposażone w kontaktrony. Dodatkowo drzwi zewnętrzne (z korytarzy) do poszczególnych pomieszczeń wyposażone w elektrozaczepy oraz czytniki kart RFID.
Sterowanie przez użytkownika	Sterowanie z poziomu panelu dla całego laboratorium Zadawanie nastaw temperatury w pomieszczeniu Dostosowywanie poziomu oświetlenia i położenia zasłon Lokalne sterowanie pozycją zasłon i stanem okien Lokalne sterowanie oświetleniem (zał./wył., jasność)

4.3.1. Wariant sterowania dla klasy D

Z reguły systemy BACS zaliczane do klasy sprawności D nie umożliwiają realizacji poprawy efektywności energetycznej budynku przez zastosowane sterowanie oraz cechują się obojętnym lub negatywnym wpływem na nią. Zwykle do klasy sprawności D zaliczane są podsystemy i instalacje technologiczne w budynkach, sterowane ręcznie, przy braku automatycznego sterowania. W celu przeprowadzania niezbędnych badań i pomiarów w laboratorium AutBudNet, pomimo zastosowanej rozbudowanej infrastruktury sterującej, dokonano integracji systemu BACS, tak aby spełnić wymagania klasy D – modele funkcjonalne zawierające taki schemat sterowania zostały przedstawione na rysunku nr 4.7 i 4.8. W przypadku wspomnianych pomieszczeń i ich infrastruktury zarówno ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja, oświetlenie jak i zasłony oraz okna były sterowane ręcznie.



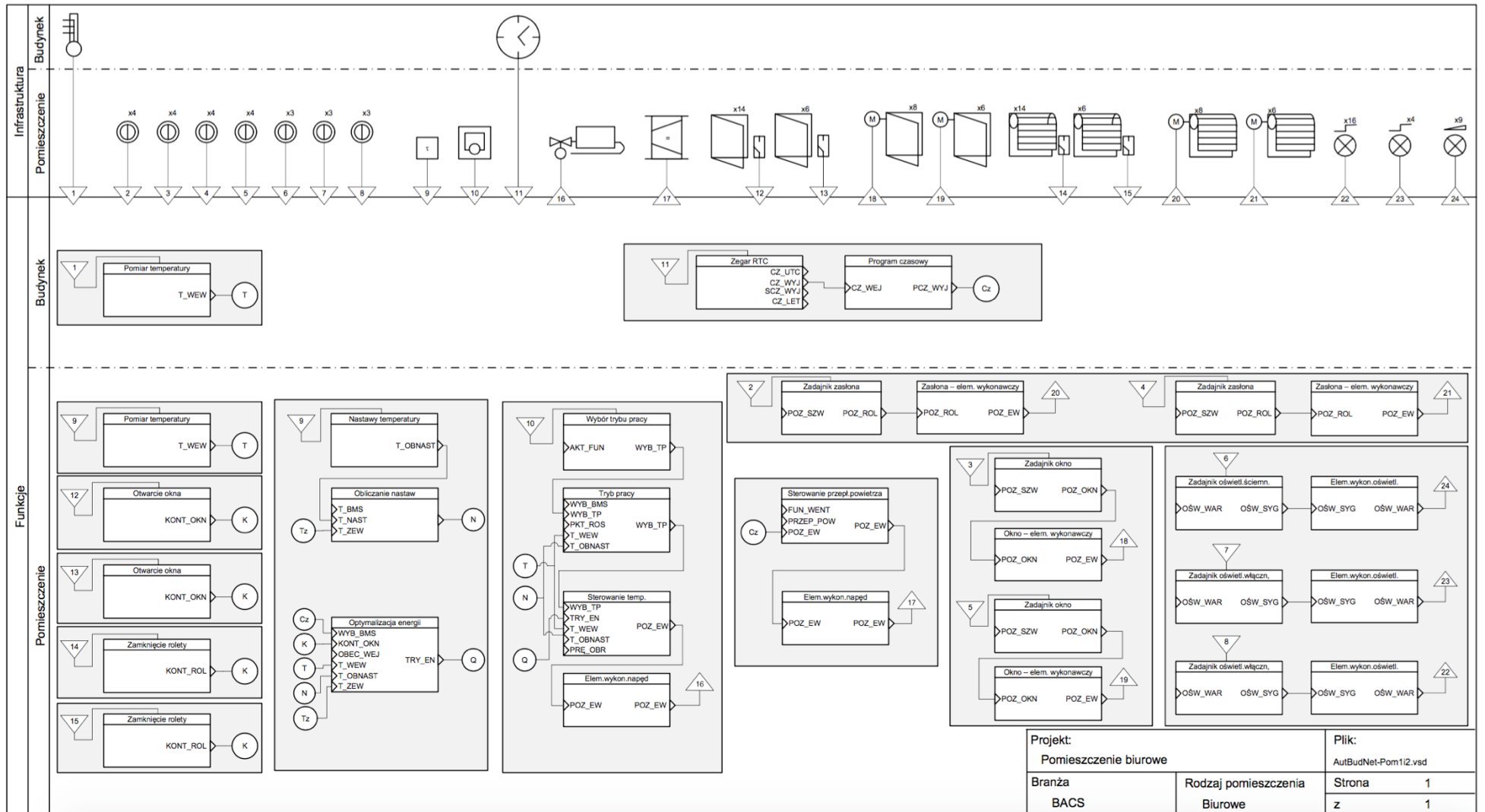
Rys. 4.7 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniach 1 i 2 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej D



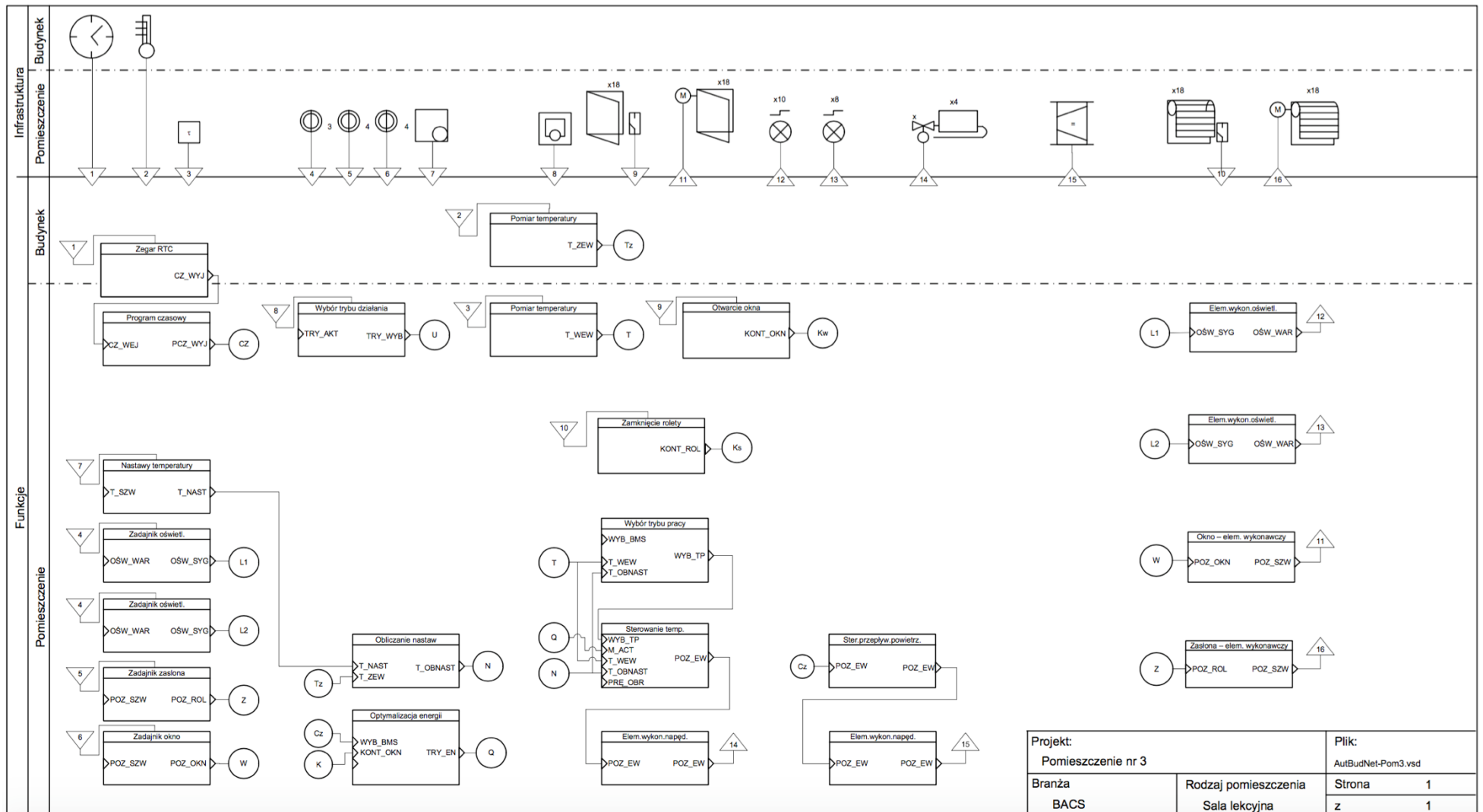
Rys. 4.8 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniu 3 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej D

4.3.2. Wariant sterowania dla klasy C

Do klasy C należy zaliczyć standardowe systemy BACS, realizowane powszechnie w budynkach, zgodnie z listą wymagań zawartą w normie PN-EN 15232:2012.. W celu przeprowadzenia niezbędnych badań i pomiarów w laboratorium AutBudNet, dzięki zastosowanej rozbudowanej infrastruktury sterującej, dokonano integracji systemu BACS, tak aby spełnić wymagania klasy C – modele funkcjonalne zawierające taki schemat sterowania zostały przedstawione na rysunku nr 4.9 i 4.10. W przypadku wspomnianych pomieszczeń i ich infrastruktury oświetlenie oraz zasłony i okna były sterowane ręcznie. Emisja w podsystemie ogrzewania w ramach każdego pomieszczenia była sterowana indywidualnie, automatycznie za pomocą zaworu termostatycznego lub sterownika pomieszczenia. Sterowanie dystrybucją w ramach tego podsystemu zapewniało kompensację temperatury zewnętrznej, dodatkowo przerwy w dystrybucji były sterowane automatycznie, ze stałym harmonogramem czasowym. Ponadto zrealizowano częściową blokadę ogrzewania, w zależności od działania systemu HVAC oraz stanu otwarcia okien. Dla instalacji wentylacji i klimatyzacji wprowadzono sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia, w zależności od harmonogramów czasowych. Dodatkowo sterowanie przepływem powietrza lub ciśnieniem na poziomie jednostki przygotowującej powietrze, zrealizowano jako funkcję załącz/wyłącz, również w zależności od harmonogramów czasowych. W ramach swobodnego chłodzenia mechanicznego, zaimplementowano funkcję chłodzenia nocnego.



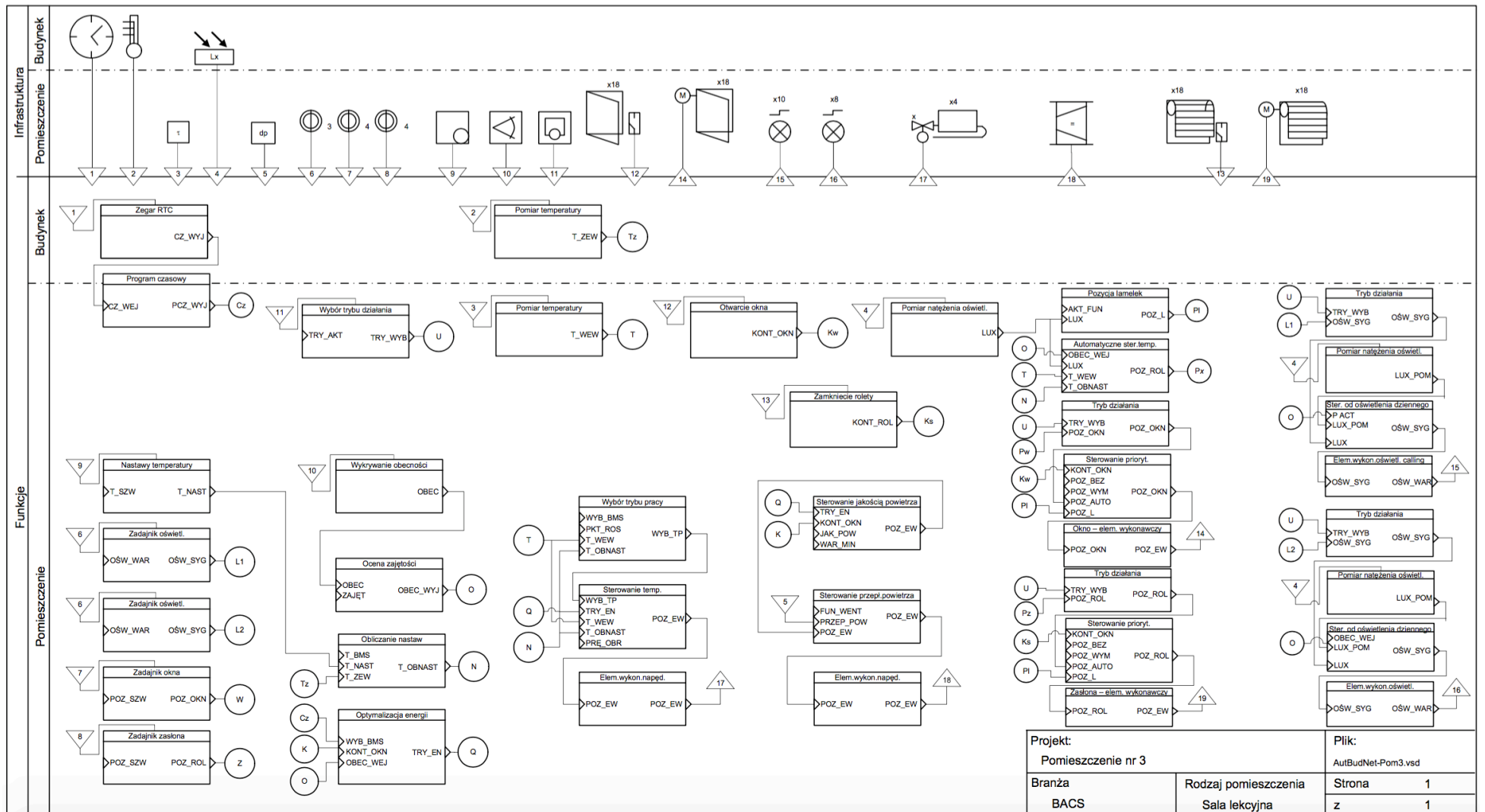
Rys. 4.9 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniach 1 i 2 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej C



Rys. 4.10 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniu 3 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej C

4.3.3. Wariant sterowania dla klasy B

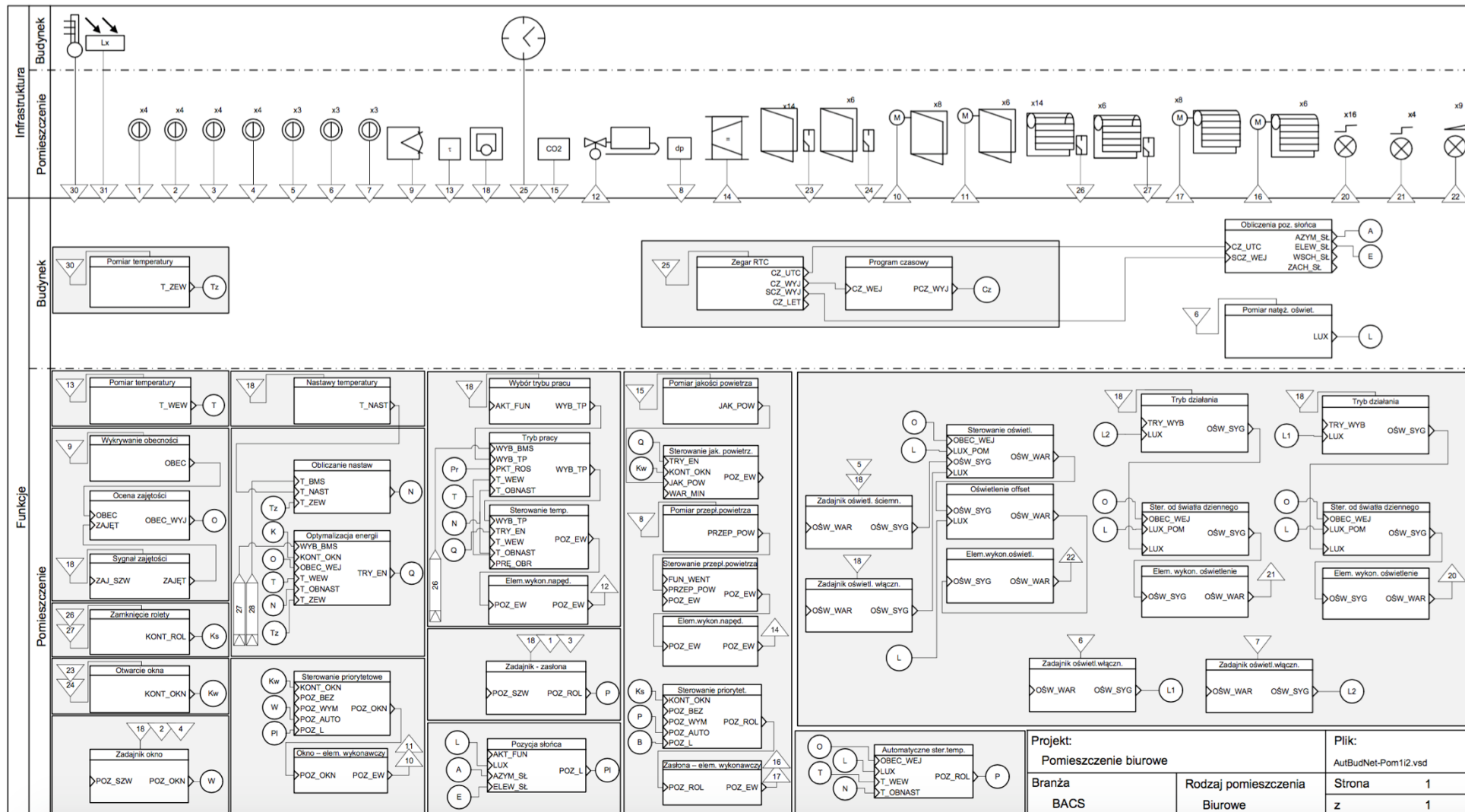
Do klasy B należy zaliczyć zaawansowane systemy BACS, z zaimplementowanymi niektórymi funkcjami technicznego zarządzania budynkiem (TBM). W celu przeprowadzania niezbędnych badań i pomiarów w laboratorium AutBudNet, dokonano integracji systemu BACS, tak aby spełnić wymagania klasy B – modele funkcjonalne zawierające taki schemat sterowania zostały przedstawione na rysunku nr 4.11 i 4.12. W przypadku wspomnianych pomieszczeń i ich infrastruktury, instalacja oświetlenia była sterowana w zależności od automatycznego wykrywania obecności w pomieszczeniu, wraz z automatycznym uwzględnieniem oświetlenia dziennego. Sterowanie zasłonami oraz oknami wyposażonymi w silniki elektryczne, zostało zrealizowane w sposób automatyczny. W instalacji ogrzewania emisja była sterowana przez indywidualne sterowniki pomieszczeń wraz z komunikacją pomiędzy tymi sterownikami oraz z systemem BACS. Sterowanie dystrybucją w ramach tego podsystemu było zależne od zapotrzebowania, a przerwy w dystrybucji były sterowane automatycznie z optymalnym załączeniem/wyłączeniem (start/stop). Ponadto zrealizowano całkowitą blokadę ogrzewania, w zależności od działania systemu HVAC oraz stanu otwarcia okien. Dla instalacji wentylacji i klimatyzacji zrealizowano sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia, w zależności od obecności. Dodatkowo zrealizowano wielostopniowe sterowanie przepływem powietrza lub ciśnieniem, na poziomie jednostki przygotowującej powietrze. W ramach swobodnego chłodzenia mechanicznego zaimplementowano funkcję chłodzenia swobodnego. Zaimplementowano również niektóre funkcje TBM takie jak, wykrywanie usterek w systemie pomieszczeń oraz raportowanie o zużyciu energii..



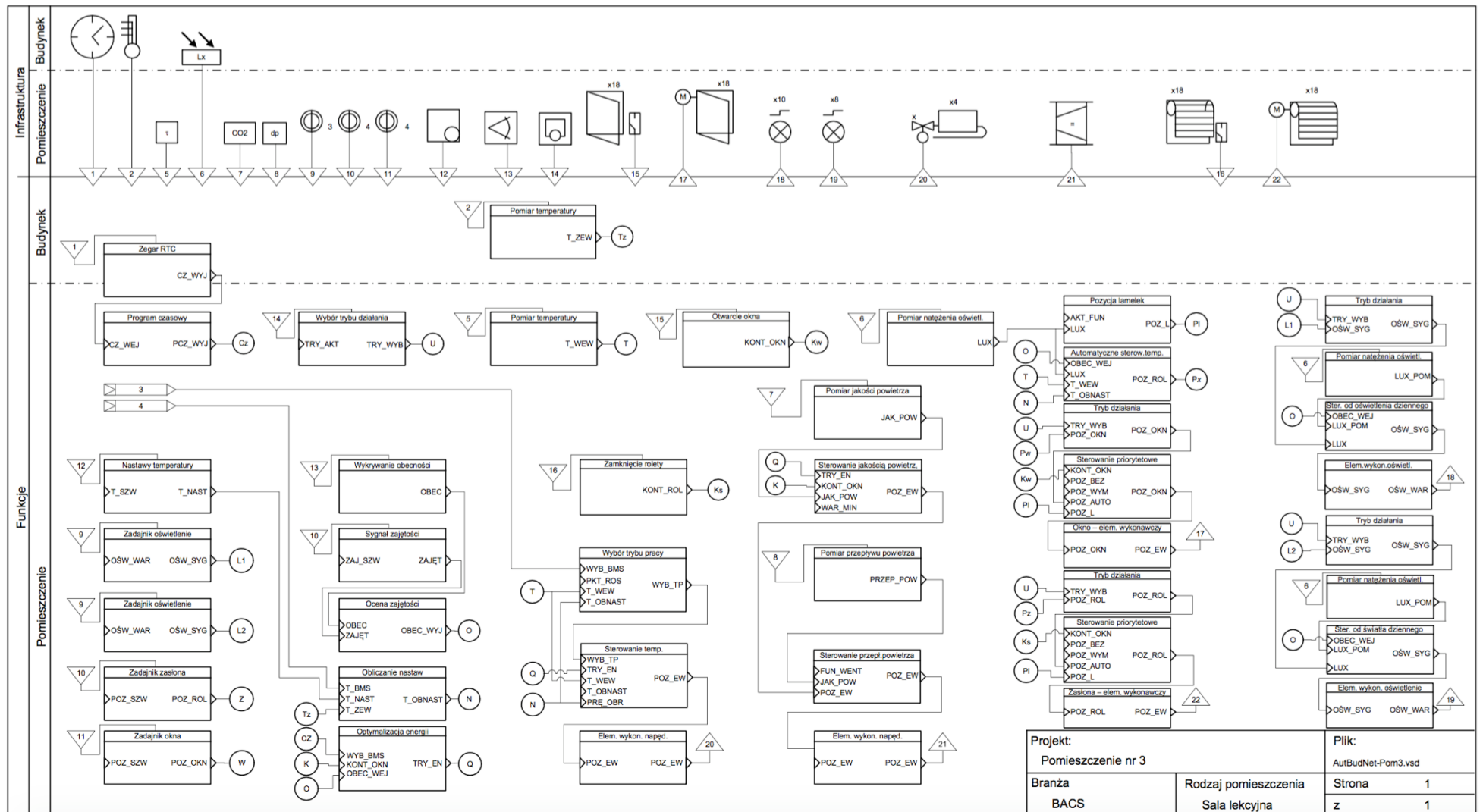
Rys. 4.12 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniu 3 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej B

4.3.4. Wariant sterowania dla klasy A

Do klasy A należy zaliczyć system BACS i TBM o dużej efektywności energetycznej, z pełną funkcjonalnością technicznego zarządzania budynkiem. W celu przeprowadzania niezbędnych badań i pomiarów w laboratorium AutBudNet, dokonano integracji systemu BACS, tak aby spełnić wymagania klasy A – modele funkcjonalne zawierające taki schemat sterowania zostały przedstawione na rysunku nr 4.13 i 4.14. W przypadku wspomnianych pomieszczeń i ich infrastruktury, instalacja oświetlenia była sterowana w zależności od automatycznego wykrywania obecności w pomieszczeniu oraz automatycznie uwzględnionego sygnału o poziomie oświetlenia dziennego. Zrealizowano zintegrowane sterowanie oświetleniem, zasłanianiem okien oraz systemem HVAC. W instalacji ogrzewania emisja została zrealizowana jako zintegrowane sterowanie, z indywidualnymi sterownikami pomieszczeń, wraz z komunikacją pomiędzy sterownikami i systemem BACS, przy uwzględnieniu obecności. Sterowanie dystrybucją w ramach tego podsystemu było zależne od zapotrzebowania, a przerwy w dystrybucji były sterowane automatycznie, z oceną zapotrzebowania. Ponadto zrealizowano całkowitą blokadę ogrzewania w zależności od działania systemu HVAC oraz stanu otwarcia okien. Dla instalacji wentylacji i klimatyzacji zrealizowano sterowanie przepływem powietrza na poziomie pomieszczenia, w zależności od zapotrzebowania. Dodatkowo, na poziomie jednostki przygotowującej powietrze, zrealizowano automatyczne sterowanie przepływem lub ciśnieniem, bez resetowania ciśnieniowego, zależne od obciążenia (przepływ powietrza) z podłączonych pomieszczeń. W ramach swobodnego chłodzenia mechanicznego, zaimplementowano funkcję chłodzenia swobodnego. Zaimplementowano również funkcje TBM takie jak: wykrywanie usterek w systemie pomieszczeń – wspomagającego ich diagnostykę oraz raportowanie o zużyciu energii, warunkach wewnętrznych – umożliwiającą analizę udoskonaleń.



Rys. 4.13 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniach 1 i 2 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej A



Rys. 4.14 – Schemat dla modelu funkcjonalnego automatyki budynkowej w pomieszczeniu 3 laboratorium AutBudNet dla wymaganej klasy sprawności energetycznej A

4.4. Analiza wyników badań modeli funkcjonalnych uwzględniających różne warianty sterowania systemu automatyzacji

Jednym z czynników, który skłonił autora do zaproponowania i postawienia głównej tezy niniejszej pracy, był przeprowadzony w czerwcu 2012 roku eksperyment, zrealizowany w laboratoriach AutBudNet AGH, z wykorzystaniem posiadanej w nich unikalnej infrastruktury badawczej. Celem tego eksperymentu było zbadanie wpływu integracji funkcji sterowania rolet okiennych, samych okien (czujniki otwarcia/zamknięcia), oświetlenia i klimatyzacji, na efektywność energetyczną pomieszczeń laboratorium AutBudNet AGH. Podczas trwającego jeden miesiąc eksperymentu, w pierwszej fazie (dwa tygodnie) zostały zamknięte wszystkie okna oraz opuszczone wszystkie rolety (w oknach dachowych i ściennych), centrale klimatyzacyjne zaprogramowane w tryb pracy na niskich obrotach, a oświetlenie pomieszczeń realizowane było przez lampy wewnętrzne, bez udziału światła dziennego. Stwierdzono, że komfort termiczny użytkownika pomieszczeń został zachowany, przy dość istotnym subiektywnym dyskomforcie użytkowników pomieszczeń, wynikającym z braku dostępu światła dziennego. W tym okresie uśrednione, dobowe zużycie energii elektrycznej wyniosło: 193,09 kWh. W drugiej fazie (kolejnych dwóch tygodniach czerwca), wszystkie okna pozostały zamknięte, a rolety okienne odsłonięte, co przyczyniało się do wzrostu temperatury w pomieszczeniach, ale również poprawiało samopoczucie użytkowników (dostęp naturalnego światła dziennego). Jednocześnie centrale klimatyzacyjne pracowały w trybie wysokich obrotów, dla zapewnienia odpowiedniego komfortu termicznego, a sztuczne oświetlenie wewnętrzne używane było sporadycznie, w wyjątkowych sytuacjach. W tym okresie uśrednione, dobowe zużycie energii elektrycznej wyniosło: 418,26 kWh.

Uzyskane wyniki, choć oczywiście ze względu na stosunkowo krótki okres pomiarowy i proste założenia funkcji sterującej pracą urządzeń, nie do końca miarodajne, wskazały jednak wyraźnie na fakt, iż powiązanie funkcjonalne układów sterowania klimatyzacji i wentylacji (HVAC) ze sterownikami rolet okiennych i systemami sterowania sztucznego oświetlenia, może przynieść znaczące oszczędności w zużyciu energii elektrycznej. Przy czym zmniejszenie zużycia energii przez agregaty systemu klimatyzacji, które przy ograniczeniu dostępu intensywnego światła słonecznego mogą pracować z mniejszą wydajnością, jest znacznie większe, niż odnotowywany wzrost zużycia energii na oświetlenie. Przeprowadzony eksperyment pozwolił wstępnie wysnuć wniosek, że każde działanie sprzyjające redukcji intensywności działania agregatów klimatyzacyjnych, bez utraty komfortu użytkownika pomieszczeń, przyczynia się do poprawy efektywności energetycznej budynku lub poszczególnych jego pomieszczeń.

Wniosek ten skłonił autora do podjęcia kolejnych testów i badań różnych wariantów sterowania, bazujących na zintegrowaniu różnych podsystemów infrastruktury pomieszczeń laboratoriów AutBudNet w oparciu o magistralowy system automatyki budynkowej standardu LonWorks PN-EN ISO/IEC 14908. Zaproponowano i przebadano wstępnie cztery warianty sterowania o nazwach: tradycyjny, harmonogramy, kontrola dostępu oraz komfort.

Wariant tradycyjny – pomieszczenia bez zaawansowanych funkcjonalności automatyki budynkowej; proste sterowania załącz-wyłącz, bez integracji (eliminacja połączeń funkcjonalnych w systemie BACS). Okres pomiarów obejmował pełne trzy miesiące letnie w roku 2012, przy wyłączonym systemie centralnego ogrzewania, dlatego też całkowite

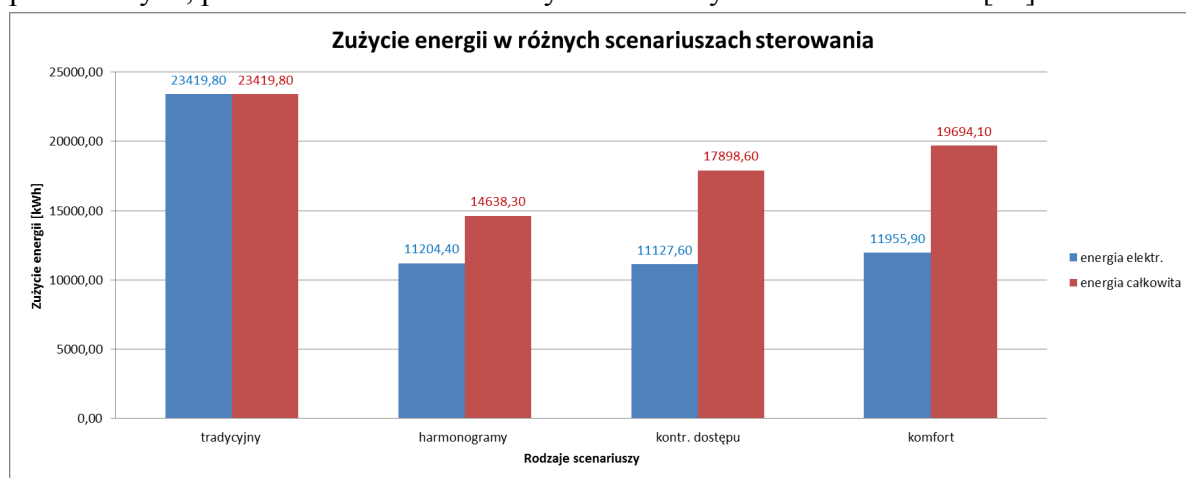
zużycie energii równe jest tylko zużyciu energii elektrycznej. Pamiętać jednak należy, że w okresie tym klimatyzacja i wentylacja pracowała przez cały czas, bez regulacji obrotów i intensywności nawiewu-wywiewu, dla zapewnienia właściwego komfortu temperaturowego i jakości powietrza w pomieszczeniach. Oświetlenie wewnętrzne załączane i wyłączane było przez użytkowników.

Wariant harmonogramy – urządzenia klimatyzacji i wentylacji, oświetlenie i ogrzewanie działały według ustalonych, stałych harmonogramów czasowych, dopasowanych do rytmu użytkowania pomieszczeń. Okres pomiarów obejmował trzy pełne miesiące okresu jesiennego roku 2012, z uwzględnieniem załączenia systemów centralnego ogrzewania, wspieranego również agregatami klimatyzacji, które nie były jednak w pełni odpowiedzialne za zapewnienie komfortu temperaturowego, stąd możliwość ograniczenia intensywności ich pracy w różnych okresach doby i tygodnia (uwzględnione w harmonogramach czasowych trybów pracy).

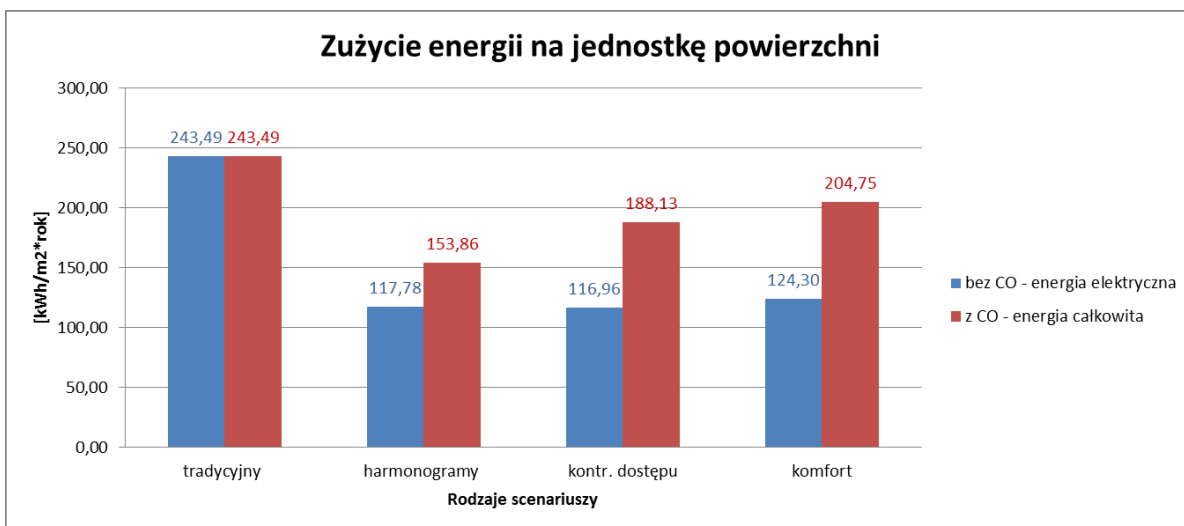
Wariant kontrola dostępu – urządzenia klimatyzacji i wentylacji, oświetlenie i ogrzewanie działały według harmonogramów czasowych, ale z uwzględnieniem sygnałów z urządzeń kontroli dostępu i innych czujników zintegrowanych w systemie automatyki budynkowej (ruchu, temperatury, wilgotności). W efekcie system taki dopasowuje pracę urządzeń infrastruktury budynkowej do zmieniających się stanów i parametrów w pomieszczeniach, zależnie od obecności osób, nasłonecznienia, temperatury zewnętrznej itp. Okres pomiarów obejmował w tym przypadku trzy pełne miesiące okresu zimowego na przełomie lat 2012-2013.

Wariant komfort - urządzenia klimatyzacji i wentylacji, oświetlenie i ogrzewanie działały według harmonogramów czasowych, z uwzględnieniem sygnałów z urządzeń kontroli dostępu i innych czujników zintegrowanych w systemie BACS (podobnie jak w wariacie kontrola dostępu), ale z wydłużonymi czasami podtrzymania np. oświetlenia czy temperatury, po stwierdzeniu nieobecności w pomieszczeniu. W efekcie uzyskano nieco dłuższe czasy pracy wybranych elementów i podsystemów infrastruktury budynkowej, ale również wyższy komfort i lepsze samopoczucie użytkowników. Okres pomiarów obejmował trzy pełne miesiące wiosenne roku 2013.

Zużycie energii elektrycznej i całkowitej (z uwzględnieniem energii cieplnej dostarczanej do pomieszczeń laboratoriów AutBudNet) dla omówionych wariantów i okresów pomiarowych, przedstawiono w formie wykresów na rysunkach 4.15 i 4.16 [23].



Rys. 4.15 – Wyniki pomiarów zużycia energii dla poszczególnych wariantów



Rys. 4.16 – Wyniki pomiarów zużycia energii na jednostkę powierzchni pomieszczeń laboratoryjnych w stosunku rocznym

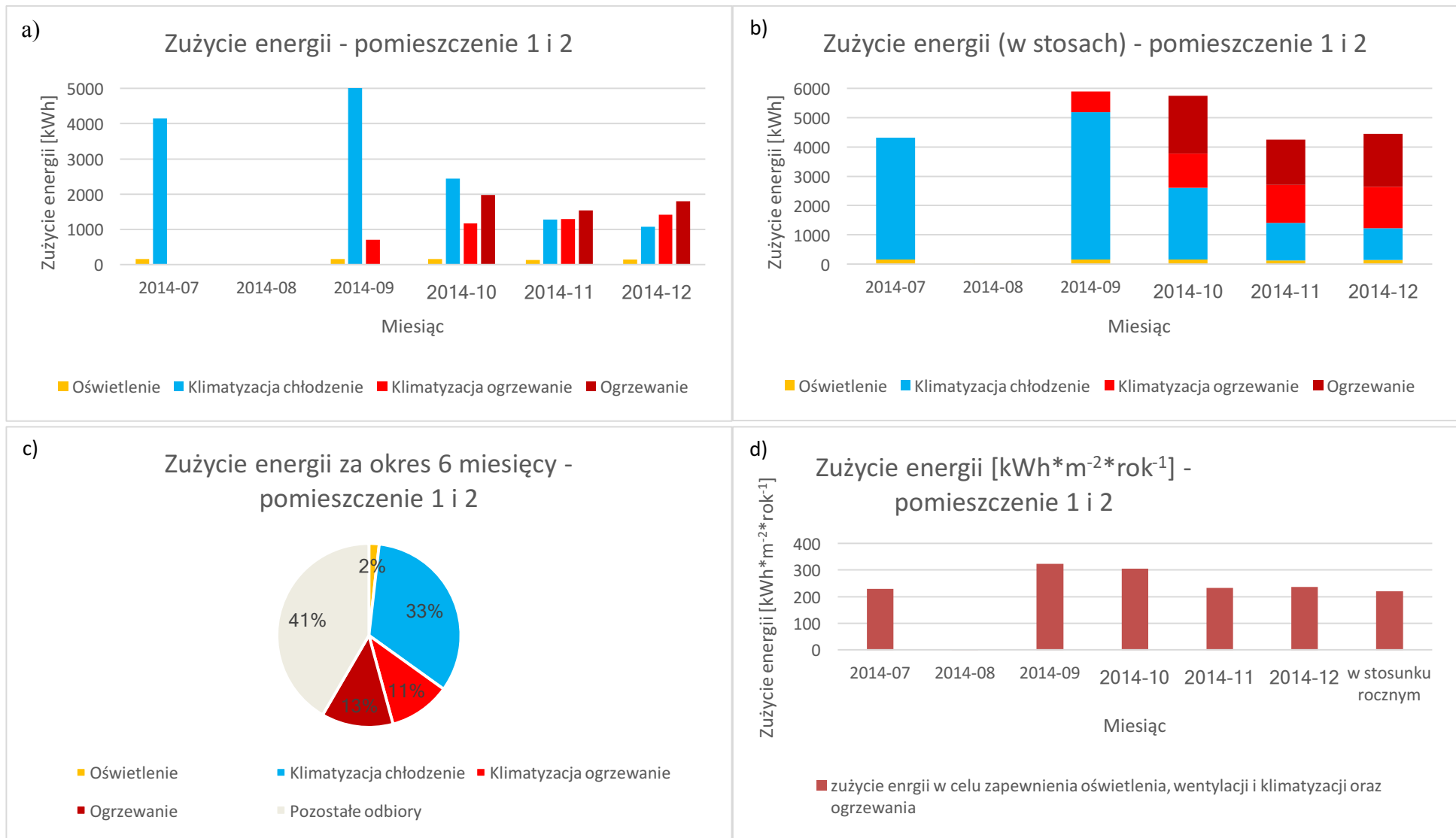
Jak już wspomniano, przedstawione eksperymenty były podstawą podjęcia, w ramach niniejszej pracy, w laboratoriach AutBudNet AGH, szczegółowych badań modeli funkcjonalnych przy uwzględnieniu różnych wariantów sterowania infrastrukturą pomieszczeń laboratoryjnych i możliwości wpływu integracji zautomatyzowanych urządzeń infrastruktury budynkowej na efektywność energetyczną. Obiektem integracji była infrastruktura wymieniona w poprzednim podrozdziale (tabela 4.5), a przedstawiona na opracowanych schematach funkcjonowania automatyki w pomieszczeniach laboratorium AutBudNet – rysunki nr 4.7 do 4.14. Różnica pomiędzy przeprowadzonym wcześniej eksperymentem a opracowanymi na potrzeby niniejszej pracy założeniami i celami badawczymi polega na opracowaniu przez autora pracy wariantów sterowania w postaci kompleksowych modeli funkcjonalnych (rozdział 4.1.2) uwzględniających takie warianty sterowania infrastrukturą pomieszczeń, aby jak najlepiej spełnić wymagania danej klasy sprawności energetycznej BACS zgodnie z PN-EN 15232. Dodatkowo należy pamiętać o różnym charakterze wykorzystania, a tym samym odmiennych profilach użytkowania pomieszczeń laboratorium AutBudNet. Pomieszczenia nr 1 i 2 odpowiadają profilowi użytkowania biura, a pomieszczenie nr 3 to profil użytkowania sala lekcyjna. W przyjętych okresach pomiarowych zarejestrowano dane dotyczące parametrów pracy poszczególnych podsystemów i zużycia energii elektrycznej oraz ciepłej w pomieszczeniach laboratoriów. Wśród parametrów pracy należy wymienić czas pracy urządzeń, detekcja obecności w strefie czujników ruchu, stan urządzenia (okna i rolety – zamknięte lub otwarte), temperaturę w pomieszczeniu itp. Dane dotyczące zużycia energii elektrycznej i ciepłej (energia dostarczana do pomieszczeń laboratorium AutBudNet) dla opracowanych wariantów sterowania, a przedstawionych jako modele funkcjonalne z różnymi wariantami sterowania i okresami pomiarowymi, po odpowiedniej obróbce przedstawiono w formie wykresów na rysunkach 4.17 do 4.24. Rysunki zostały pogrupowane w taki sposób, że w pierwszej kolejności przedstawiono zużycie energii dla pomieszczeń nr 1 i 2 laboratorium AutBudNet (rysunki nr 4.17 do 4.20), a następnie dla pomieszczenia nr 3 (rysunki nr 4.21 do 4.24). W ramach danej grupy pomieszczeń, w formie wykresu kolumnowego zaprezentowano bezwzględne sumaryczne zużycie energii oraz sumaryczne, w postaci wykresu skumulowanego. Dodatkowo przedstawiono wykres kołowy za okres 6 miesięcy oraz wykres obrazujący wskaźnik zużycia energii w odniesieniu do powierzchni pomieszczeń, w stosunku

rocznym. Opracowano zestawy wykresów odpowiednio dla wariantów sterowania odpowiadających poszczególnym klasom D, C, B i A. Ponadto w każdym z miesięcy zarejestrowano zużycie energii przez grupę odbiorników nazwaną pozostałe odbiory. Odbiorniki te (np. komputery PC, drukarka, serwery itp.) były poza całkowitymi zainteresowaniami z punktu widzenia przeprowadzonego eksperymentu, ponieważ nie podlegają sterowaniu przez zrealizowane warianty systemu automatyki i są traktowane jako wyposażenie dodatkowe. Zarówno dla pomieszczeń nr 1 i 2 oraz dla pomieszczenia nr 3, dane pomiarowe dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D obejmowały okres od początku lipca do końca grudnia 2014. Z kolei dla wariantu zgodnego z klasą C dane rejestrowano w okresie od początku stycznia do końca czerwca 2015. W przypadku wariantu sterowania dla klasy B pomiary i rejestracja danych obejmowały okres od początku stycznia do końca czerwca 2016. Natomiast, dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie A dane pomiarowe rejestrowano w okresie od początku lipca do końca grudnia 2015.

4.4.1. Analiza wyników dla pomieszczeń o biurowym profilu użytkowania

Pierwszy z zestawów wykresów (rysunki 4.17.a do 4.17.d) obrazuje informacje o zużyciu energii w pomieszczeniach nr 1 i 2 dla zrealizowanego wariantu sterowania dla klasy D. Na rysunku nr 4.17.a zaprezentowano wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii na przestrzeni 6 miesięcy. Warto nadmienić, że przedstawione na wykresie miesiące w sensie energetycznym cechują się swoistym charakterem i zróżnicowanym wykorzystaniem poszczególnych form energii. Lipiec i sierpień to miesiące letnie, wrzesień oraz pierwszą połowę października można potraktować jako miesiące przejściowe, a listopad i grudzień jako zimowe. Podział ten jest zauważalny na wspomnianym wykresie. W miesiącach ciepłych, o wysokich średnich, zewnętrznych temperaturach dobowych, największe jest zużycie energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację pracującą w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Z uwagi na specyfikę pracy Uczelni, okres urlopowy przypada na drugą połowę lipca oraz głównie sierpień. Z tego też powodu zużycie tej formy energii w lipcu jest mniejsze niż we wrześniu, a w sierpniu odnotowano praktycznie zerowe zużycie energii. Energia do zapewnienia tego celu była używana również w październiku, listopadzie i grudniu, przy czym jej ilość malała w każdym kolejnym miesiącu. We wrześniu zarejestrowano zużycie energii elektrycznej w celu ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Zużycie energii elektrycznej w tej formie wzrastało w każdym kolejnym miesiącu, a największą wartość osiągnęło w grudniu. Od października do grudnia zarejestrowano również konsumpcję energii cieplnej wynikającą z ogrzewania pomieszczeń z wykorzystaniem grzejników. Największe zużycie tej formy energii miało miejsce w październiku, a najmniejsze w listopadzie. Należy podkreślić, że co do profilu zużycia energii na ten cel w listopadzie było identyczne jak w grudniu. Stosunkowo intrygującym okresem pod względem analizy zużycia energii elektrycznej jest październik. W miesiącu tym największe zużycie energii przypada na wentylację i klimatyzację pracującą w trybie chłodzenia pomieszczeń, ale nie jest ono znacząco większe w stosunku do pozostałych form zużycia energii, jak to miało miejsce poprzednich miesiącach. Warto też zaznaczyć, że to w październiku odnotowano największe zużycie energii cieplnej w analizowanym okresie pomiarowym 6 miesięcy, a zużycie energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację w celu

ogrzewania powietrza, nie było znacząco niższe w stosunku do listopada oraz grudnia. W październiku zarejestrowano największe zużycie energii całkowitej w całym analizowanym okresie pomiarowym. Z uwagi na fakt, że system BACS zrealizowany w wariancie sterowania odpowiadającym klasie sprawności D nie uwzględniał blokady i korelacji pomiędzy równoczesnym chłodzeniem przez wentylację i klimatyzację, a pracą grzejników, w październiku, listopadzie i grudniu odnotowano okresy występowania tego zjawiska. We wszystkich przedstawionych na wykresie miesiącach zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia, które nominalnie co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami. Największe i prawie identyczne wartości zużycie energii w tym celu zarejestrowano w lipcu i w październiku. Stosunkowo dużą ilość zużytej energii przez instalację oświetlenia należy też powiązać z statusem rolet. Najdłużej pozostawały one zamknięte w lipcu. Na rysunku nr 4.17.b widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Wykres tego typu obrazuje w dogodnej formie zużycie energii na poszczególne cele, w stosunku do pozostałego zużycia energii. Energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 2,6% w październiku do 3,8% w lipcu ogólnego zużycia. Natomiast, biorąc pod uwagę wspomnianą specyfikę funkcjonowania Uczelni, w sierpniu jedynym zarejestrowanym rodzajem zużycia była energia elektryczna na potrzeby oświetlenia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 96% w lipcu, do nawet 24% ogólnego zużycia w grudniu, malejąc z każdym kolejnym miesiącem. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe w grudniu i wynosiło 31,8%, udział konsumpcji energii na ten cel w listopadzie był zbliżony i równy 30,5%, a najmniejszy odnotowano we wrześniu – 12% ogólnego zużycia. Zużycie energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń zarejestrowano w październiku i wynosiło ono 34,4%, a najwyższy udział tej formy energii odnotowano w grudniu, był on równy 40,6% ogólnego zużycia energii w danym miesiącu. Na rysunku nr 4.17.c przedstawiono wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Na wykresie tym przedstawiono procentowy udział zużycia danej formy energii w pomieszczeniach nr 1 i 2 na poszczególny cel, na tle całkowitego zużycia energii przez całe laboratorium AutBudNet. Za największy udział zużycia energii, wynoszący 33% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji pracująca w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń nr 1 i 2. Kolejno za konsumpcję energii odpowiedzialne jest dostarczanie energii cieplnej na potrzeby ogrzewania, udział tej formy energii jest prawie trzykrotnie mniejszy i wynosi 13% całkowitego zużycia. Podobny udział w zużyciu energii ma również wentylacja i klimatyzacja, pracująca w celu ogrzewania powietrza i wynosi on 11%. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w analizowanym okresie. Na rysunku nr 4.17.d zaprezentowano wykres wskaźnika zużycia energii do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$). Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji pracującej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenia nr 1 i 2, przy wariancie sterowania, który odpowiada klasie D sprawności BACS, w stosunku rocznym pobierają $221,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$, a w ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $229,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w lipcu do $324,3 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ we wrześniu.



Rys. 4.17 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 - wariant sterowania dla klasy D

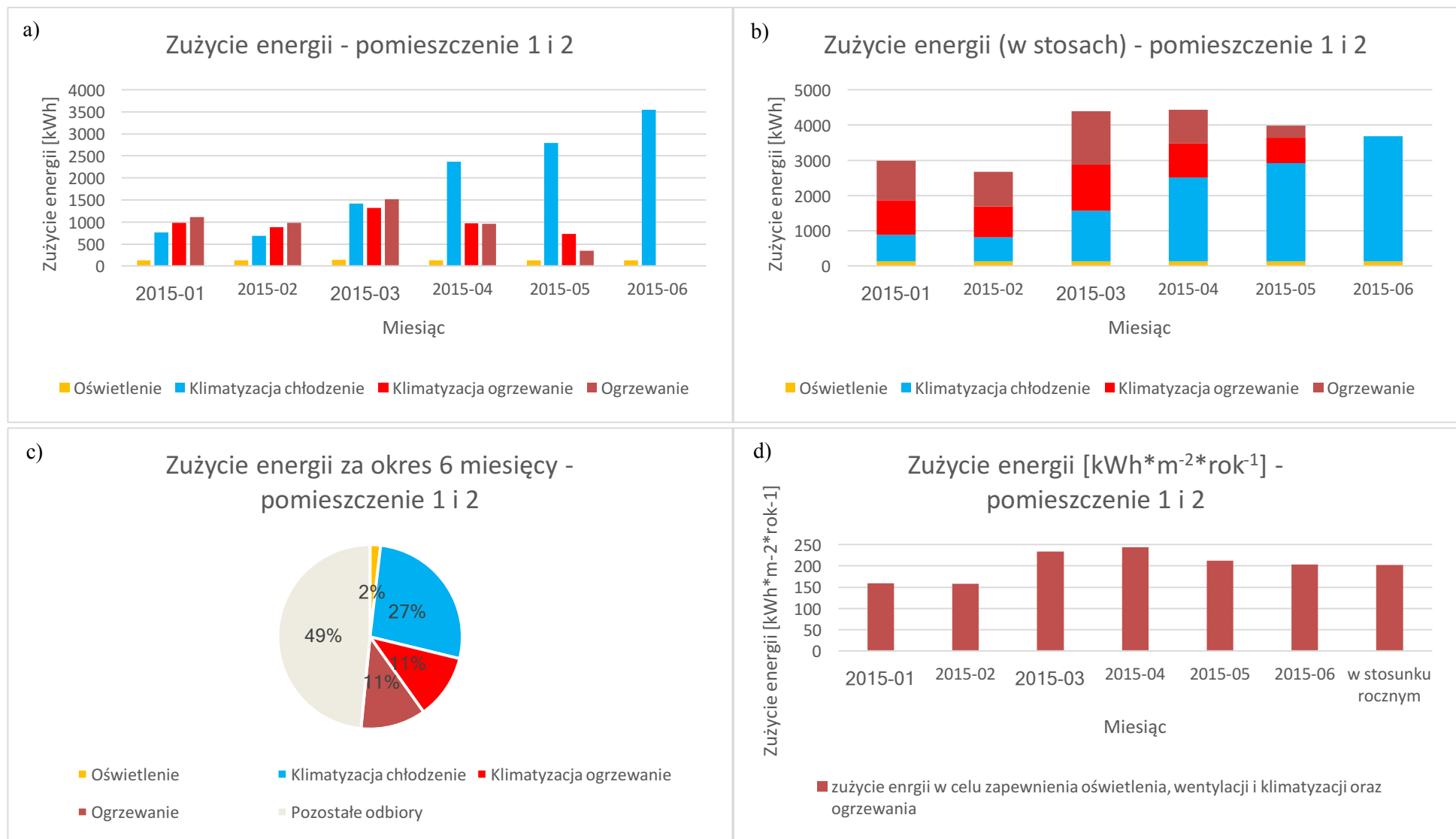
Kolejny z zestawów wykresów (rysunki 4.18.a do 4.18.b) pokazuje informacje o zużyciu energii we wspomnianych pomieszczeniach, dla wariantu sterowania dla klasy C.

Na rysunku nr 4.18.a przedstawiono wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii w formie wykresu kolumnowego na przestrzeni 6 miesięcy. Warto nadmienić, że w sensie energetycznym, przedstawione na wykresie miesiące cechują się swoistym charakterem i zróżnicowanym wykorzystaniem poszczególnych form energii. Styczeń, luty i marzec to miesiące zimowe, kwiecień i pierwsza połowa maja to miesiące wiosenne przejściowe, a czerwiec to miesiąc letni. Na wykresie łatwo zauważalne jest, że w miesiącach zimowych największe jest zużycie energii cieplnej, w celu ogrzewania pomieszczeń z wykorzystaniem grzejników. Największą wartość zużycia energii cieplnej zarejestrowano w marcu. Należy zwrócić uwagę, że zużycie tej formy energii w kwietniu oscylowało na podobnym poziomie jak w lutym. Natomiast tzw. sezon grzewczy zakończył się z początkiem maja. Wentylacja i klimatyzacja pracująca w trybie ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń działała od stycznia do maja. Największe zużycie energii elektrycznej w tym celu miało miejsce w marcu, a najmniejsze w maju. Również w tym przypadku należy zwrócić uwagę, że zużycie tej formy energii dla wspomnianego celu było wyższe w kwietniu niż w lutym. Dodatkowo różnica ta jest bardziej znacząca niż miało to miejsce w przypadku energii cieplnej. Stosunkowo małe zużycie energii do celów ogrzewania w lutym w porównaniu z kwietniem, to efekt przerwy międzysemestralnej oraz fakt, że jest to miesiąc krótszy. System BACS zrealizowany w wariantcie sterowania odpowiadającym klasie sprawności C, uwzględniał wspomniany efekt ferii zimowych. W całym przedstawionym okresie pomiarowym odnotowano zużycie energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację na potrzeby chłodzenia. Oprócz lutego, można zauważyć wzrost konsumpcji energii dla tego celu w każdym kolejnym miesiącu. Różnica zużycia energii w celu chłodzenia pomiędzy majem a kwietniem jest mniejsza niż pomiędzy czerwcem a majem. Trend ten nie pokrywa się z obserwacją różnicy średniej temperatury zewnętrznej między majem a kwietniem oraz między czerwcem a majem. Wy tłumaczeniem tego stanu może być fakt, że system BACS w klasie C oferuje zbyt mało skuteczną korelację temperatury zewnętrznej z pracą wentylacji i klimatyzacji. We wszystkich przedstawionych na wykresie miesiącach zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia, które co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami.

Na rysunku nr 4.18.b widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Wykres tego typu obrazuje przystępnie zużycie energii na poszczególne cele, w stosunku do pozostałego zużycia energii. Energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 3% w kwietniu do 4,8% w lutym ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 25,6% w styczniu i lutym do nawet 96% w czerwcu ogólnego zużycia, wzrastając w każdym kolejnym miesiącu. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe, w stosunku do udziału pozostałych rodzajów zużycia w danym miesiącu, w styczniu i wynosiło 33%, a następnie malało stopniowo do maja, gdzie wynosiło 18,2% ogólnego zużycia energii. Identyczny trend można zaobserwować w przypadku energii cieplnej używanej w celu ogrzewania pomieszczeń. W styczniu wynosiło ono 37,3% a w maju 8,6% ogólnego zużycia energii.

Na rysunku nr 4.18.c zaprezentowano wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Na wykresie tym przedstawiono procentowy udział zużycia

danej formy energii w pomieszczeniach nr 1 i 2 na poszczególny cel, na tle całkowitego zużycia energii przez całe laboratorium AutBudNet. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 27% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji pracująca w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Kolejno obie formy energii, ciepła jak i elektryczna, niezbędne do potrzeb ogrzewania odpowiadały za po 11% całkowitego zużycia energii każda. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w analizowanym okresie. Na wykresie zamieszczonym na rysunku nr 4.18.d zobrazowano wskaźnik zużycia energii, do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$), w okresie pomiarowym, w którym zrealizowano wariant sterowania infrastrukturą pomieszczeń odpowiadający klasie C sprawności BACS. Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji pracującej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenia nr 1 i 2 w stosunku rocznym pobierają $202,1 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$, a w ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $157,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w lutym do $244,1 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w kwietniu.



Rys. 4.18 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 - wariant sterowania dla klasy C

Następny zestaw wykresów (rysunki 4.19.a do 4.19.d) przedstawia informacje o zużyciu energii w pomieszczeniach nr 1 i 2 dla zrealizowanego wariantu sterowania dla klasy B.

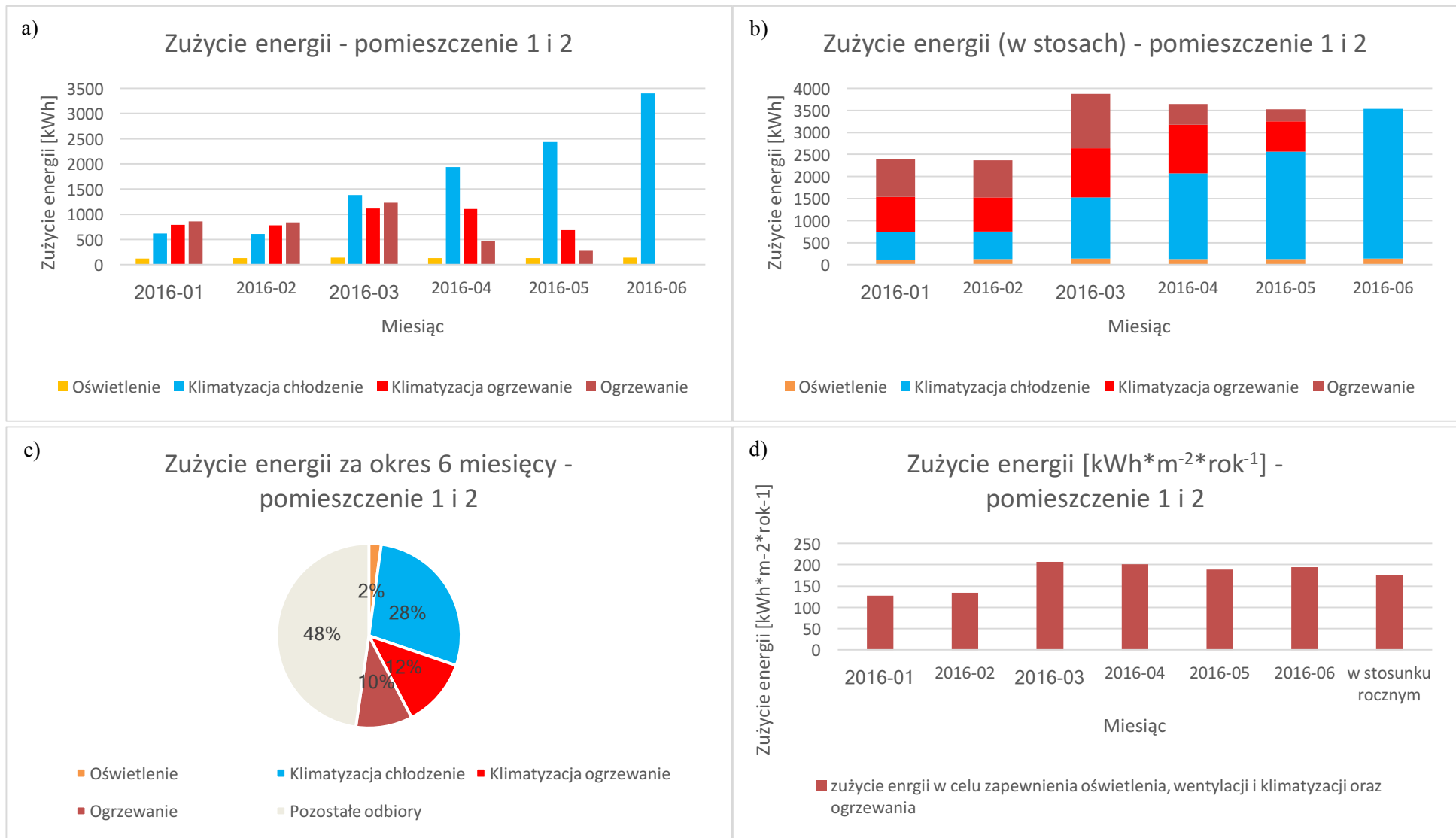
Na rysunku nr 4.19.a widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii w formie wykresu kolumnowego na przestrzeni 6 miesięcy. Z uwagi na podobieństwo cykli pomiarowych do okresu dla klasy C, również w tym przypadku przedstawione na wykresie miesiące w sensie energetycznym cechują się swoistym charakterem i zróżnicowanym wykorzystaniem poszczególnych form energii. Na wykresie łatwo zauważalny jest trend, że wraz z każdym kolejnym miesiącem oraz wraz ze wzrostem średnich temperatur dobowych, wzrastało zużycie energii elektrycznej pobieranej przez wentylację i klimatyzację do potrzeb chłodzenia dostarczanego powietrza do pomieszczeń. Natomiast obserwując konsumpcję energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację w celu ogrzewania dostarczanego powietrza, można zasadniczo wyróżnić dwa poziomy zużycia energii. Wyższy poziom zużycia tej formy energii dla wspomnianego celu utrzymywał się w marcu i kwietniu (identyczne zużycie w obu miesiącach), z kolei niższy poziom zużycia miał miejsce w styczniu i lutym (również identyczne zużycie w obu miesiącach). W maju również zarejestrowano pobór energii w tym celu. Największe zużycie energii cieplnej dla potrzeb ogrzewania odnotowano w marcu, a najmniejsze w maju. Należy zwrócić uwagę, że w miesiącach zimowych poziom zużycia energii cieplnej jest wyższy niż poziom zużycia energii elektrycznej w celu ogrzewania dostarczanego powietrza. Natomiast w miesiącach przejściowych trend ten jest odwrotny. Dodatkowo w miesiącach zimowych wartości pobranej energii cieplnej i elektrycznej dla potrzeb ogrzewania są zbliżone do siebie w poszczególnym miesiącu, a w przypadku miesięcy przejściowych zużycie energii elektrycznej jest znacząco większe niż energii cieplnej. We wszystkich przedstawionych na wykresie miesiącach zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia, które nominalnie co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami. Największa wartość zużycia energii w tym celu zarejestrowano w styczniu a najmniejsza w maju.

Na rysunku nr 4.19.b przedstawiono wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 3,6% w maju do 5,7% w lutym ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 25,9% w lutym do nawet 96% w czerwcu ogólnego zużycia, wzrastając w każdym kolejnym miesiącu. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe, w stosunku do udziału pozostałych rodzajów zużycia w danym miesiącu, w styczniu oraz lutym i wynosiło 33%, a następnie utrzymywało się na poziomie 29% i 30% odpowiednio w marcu i kwietniu, malejąc w maju, gdzie wynosiło 19,4% ogólnego zużycia energii. W przypadku energii cieplnej używanej w celu ogrzewania pomieszczeń największy udział w zużyciu zarejestrowano w styczniu wynosiło ono 35,8%, zbliżony poziom można zauważyć w lutym i marcu. Natomiast w miesiącach przejściowych udział ten był wyraźnie mniejszy, wynosił 12,9% w kwietniu i 7,9% w maju ogólnego zużycia energii.

Na rysunku nr 4.19.c zaprezentowano wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Na wykresie tym przedstawiono procentowy udział zużycia danej formy energii w pomieszczeniach nr 1 i 2 na poszczególny cel, na tle całkowitego zużycia energii przez całe laboratorium AutBudNet. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 28% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji pracująca w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Na

drugim miejscu za konsumpcję energii odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji, tym razem pracująca w celu ogrzewania powietrza, udział ten jest dwa i pół raza mniejszy i wynosi 12% całkowitego zużycia. Podobny udział w zużyciu ma również energia cieplna na potrzeby ogrzewania, wynosi on 10%. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w całym laboratorium AutBudNet w analizowanym okresie.

Na rysunku nr 4.19.d widoczny jest wykres wskaźnika zużycia energii, do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$). Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji pracującej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenia nr 1 i 2 pracujące zgodnie z wariantem sterowania, który odpowiada klasie B sprawności BACS, w stosunku rocznym pobierają $175,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$, a w ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $134,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w lutym do $206,3 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w marcu.



Rys. 4.19 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 - wariant sterowania dla klasy B

Informacje o zużyciu energii dla wariantu sterowania dla klasy A, zostały zaprezentowane na rysunkach nr 4.20.a do 4.20.d.

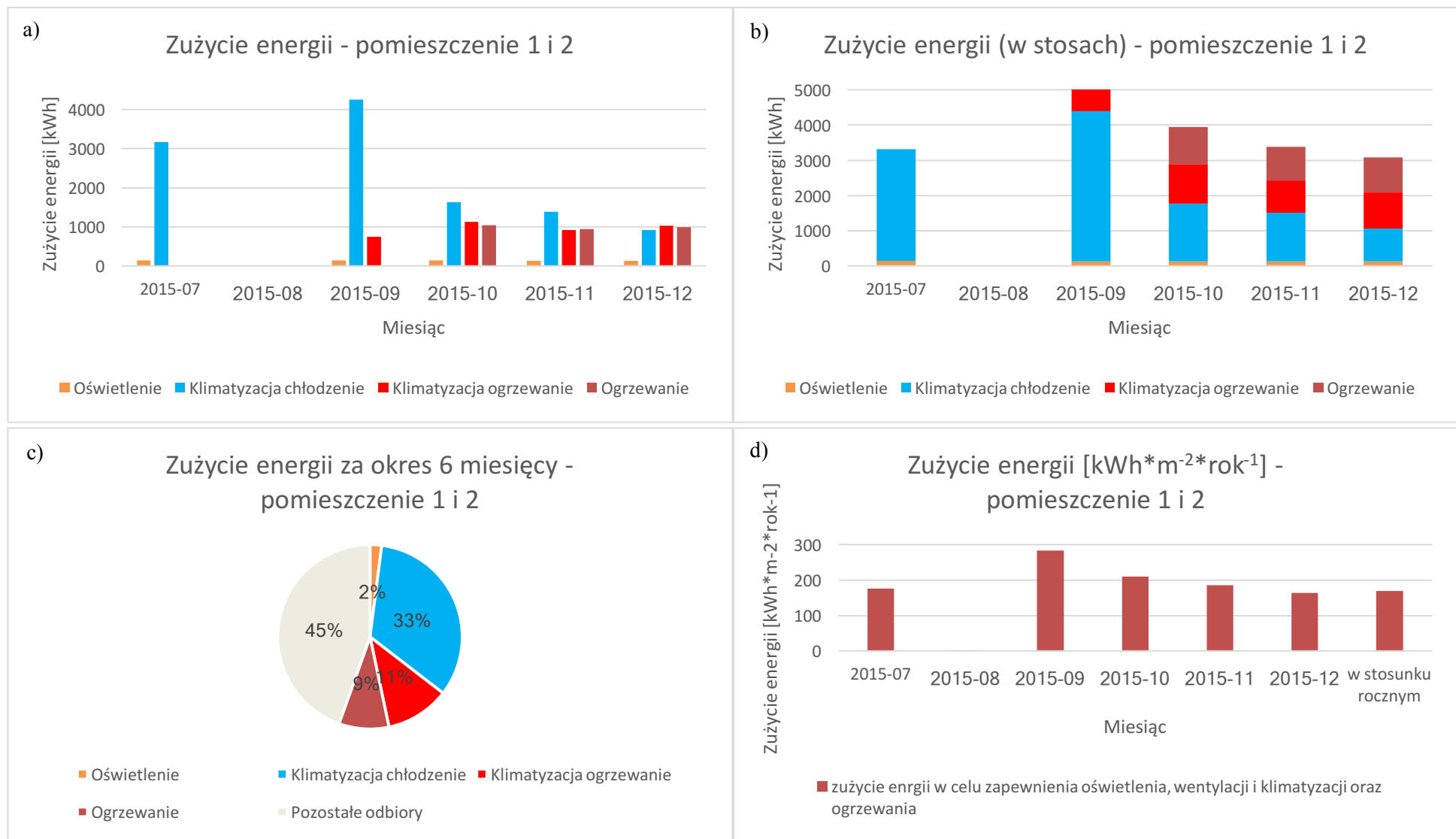
Na rysunku nr 4.20.a zaprezentowano wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii na przestrzeni 6 miesięcy. Z uwagi na podobieństwo cykli pomiarowych do okresu dla klasy D, również w tym przypadku przedstawione na wykresie miesiące w sensie energetycznym cechują się swoistym charakterem i zróżnicowanym wykorzystaniem poszczególnych form energii. Dlatego w miesiącach ciepłych, największe jest zużycie energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację, która działała w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Energia do zapewnienia wspomnianego celu była używana również w październiku, listopadzie i grudniu, przy czym jej ilość malała w każdym kolejnym miesiącu. Jak już nadmieniono, specyfika pracy Uczelni, spowodowała, że zużycie energii w lipcu jest mniejsze niż we wrześniu, a w sierpniu odnotowano praktycznie zerowe zużycie energii. We wrześniu zarejestrowano zużycie energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację w celu ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Było ono największe w październiku, a najmniejsze we wrześniu. W listopadzie i grudniu utrzymywało się na podobnym poziomie i stosunkowo zbliżone do zużycia w październiku. Od października do grudnia zarejestrowano również konsumpcje energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń z wykorzystaniem grzejników. Największe zużycie tej formy energii miało miejsce w październiku a najmniejsze w listopadzie. We wspomnianych trzech miesiącach zużycie to kształtowało się na podobnym poziomie. We wszystkich widocznych na wykresie miesiącach zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia, które nominalnie co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami.

Z informacji przedstawionych na rysunku nr 4.20.b wynika, że energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 2,7% we wrześniu do 4,4% w grudniu ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 30% w grudniu do 95,5% w lipcu ogólnego zużycia, malejąc z każdym kolejnym miesiącem. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było najmniejsze, w stosunku do udziału pozostałych rodzajów zużycia w danym miesiącu, we wrześniu i wynosiło 14,6%, a następnie wzrastało do grudnia, gdzie wynosiło 33,4% ogólnego zużycia energii. Identyczny trend można zaobserwować w przypadku energii cieplnej zużywanej w celu ogrzewania pomieszczeń. W listopadzie wynosiło ono 26,4% a w grudniu 32,2% ogólnego zużycia energii.

Na rysunku nr 4.20.c widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 33% całkowitego zużycia, odpowiedzialne jest dostarczenie energii dla wentylacji i klimatyzacji, która działała w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń nr 1 i 2. Na drugim miejscu, konsumpcję energii można przypisać również wentylacji i klimatyzacji, tym razem pracująca w celu ogrzewania powietrza, udział ten jest ponad trzykrotnie mniejszy i wynosi 11% całkowitego zużycia. Podobny udział w zużyciu energii ma również energia cieplna na potrzeby ogrzewania, wynosi on 9%. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w całym laboratorium AutBudNet w analizowanym okresie.

Na wykresie z rysunku nr 4.20.d pokazano poziomy zużycia energii w poszczególnych miesiącach oraz w ujęciu rocznym do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym

(kWh*m⁻²*rok⁻¹), w okresie pomiarowym, w którym zrealizowano wariant sterowania infrastruktura pomieszczeń odpowiadający klasie A sprawności BACS. Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji działającej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenia nr 1 i 2 w stosunku rocznym pobierają 169,1 kWh*m⁻²*rok⁻¹, a w ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od 164 kWh*m⁻²*rok⁻¹ w grudniu do 282,7 kWh*m⁻²*rok⁻¹ we wrześniu.



Rys. 4.20 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 - wariant sterowania dla klasy A

4.4.2. Analiza wyników dla pomieszczenia o profilu użytkowym sali lekcyjnej

Analogiczne zestawy wykresów, wraz z analizą danych, zostały opracowane dla pomieszczenia nr 3 laboratorium AutBudNet. Warianty sterowania dla poszczególnych klas, były badane w tych samych cyklach pomiarowych, jak dla badań i pomiarów w pomieszczeniach nr 1 i 2 – opisanych w poprzednim podrozdziale. Dlatego, dla zachowania jak najlepszej czytelności pracy, opisy charakterystyki okresów pomiarowych zostały skrócone lub pominięte.

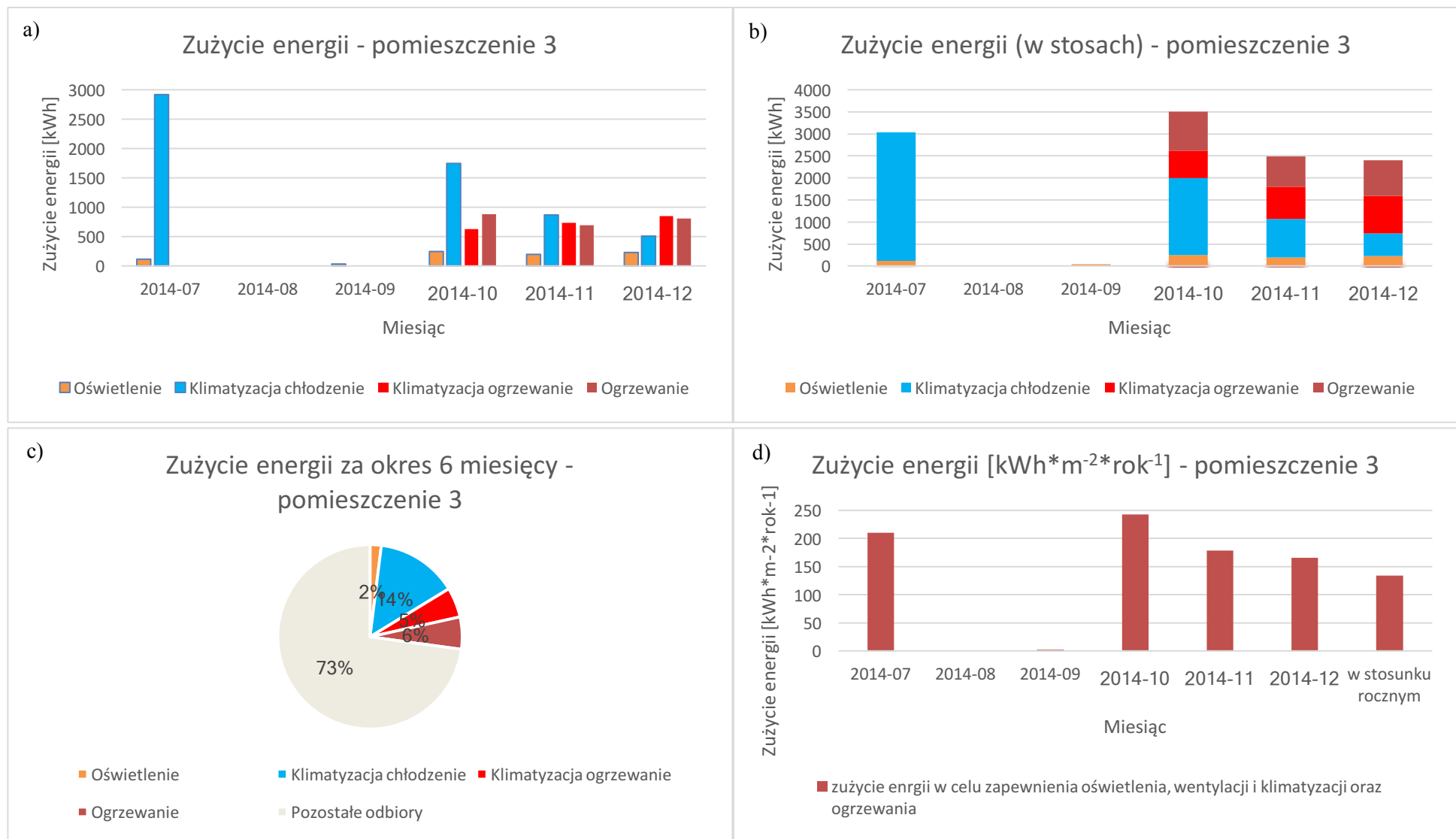
Pierwszy z zestawów wykresów (rysunki 4.21.a do 4.21.d) obrazuje informacje o zużyciu energii dla zrealizowanego wariantu sterowania dla klasy D. Na rysunku nr 4.21.a zamieszczono wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii na przestrzeni 6 miesięcy. Należy podkreślić, że pomieszczenie nr 3 pełni głównie rolę sali lekcyjnej, dlatego wrzesień jest również miesiącem o stosunkowo niskim współczynniku wykorzystania pomieszczenia. Z tego powodu zużycie energii w sierpniu jest praktycznie zerowe, we wrześniu jest ono również znikome, a fakt zarejestrowania poboru energii w lipcu, wynika głównie z pozostawienia ustawień pracy po skończonym semestrze letnim. Mając na uwadze ten fakt, analizie poddać należy okres od października do grudnia oraz lipiec. Największe zużycie energii elektrycznej przez instalację wentylacji i klimatyzacji pracującą w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń miało miejsce w lipcu, następnie w okresie od października do grudnia zużycie to stopniowo malało, z każdym kolejnym miesiącem. Odwrotnie kształtuje się pobór energii elektrycznej w celu ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń, najmniejsze w październiku a największe w grudniu. Od października do grudnia zarejestrowano również konsumpcję energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń z wykorzystaniem grzejników. Największe zużycie tej formy energii miało miejsce w październiku, a najmniejsze w listopadzie. Stosunkowo intrygujące w analizie są dane dotyczące zużycia energii zarejestrowane w październiku. W miesiącu tym, największe zużycie energii przypada na wentylację i klimatyzację pracującą w trybie chłodzenia pomieszczeń, a zużycie energii cieplnej przyjęło największą wartość w całym analizowanym okresie pomiarowym 6 miesięcy. Uwzględniając również zużycie energii elektrycznej przez wentylację i klimatyzację w celu ogrzewania powietrza, można stwierdzić, że miesiąc ten był najbardziej energochłonny w analizowanym okresie pomiarowym – potwierdza to również obserwacja rysunku nr 4.21.b. Dodatkowo analizując, wartości zarejestrowanej temperatury w pomieszczeniu, można zaobserwować wyższą średnią temperaturę w pomieszczeniu niż w innych miesiącach zimowych. Odpowiedzialny za to zjawisko był system BACS zrealizowany w wariantcie sterowania odpowiadającym klasie sprawności D, który nie uwzględnia blokady i korelacji pomiędzy równoczesnym chłodzeniem przez wentylację i klimatyzację a pracą grzejników. We wszystkich prezentowanych na wykresie miesiącach zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalację oświetlenia, które nominalnie co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami. Największe i prawie identyczne wartości zużycie energii w tym celu zarejestrowano w październiku a najmniejszą w lipcu.

Na rysunku nr 4.21.b widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Jak już wspomniano wcześniej o specyfice funkcjonowania Uczelni, w analizie pominięto sierpień i wrzesień. Energia

elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 4% w lipcu do 9,5% w grudniu ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 96% w lipcu do 21,4% w grudniu ogólnego zużycia, malejąc z każdym kolejnym miesiącem. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe w grudniu i wynosiło 35,4%, a najmniejsze w październiku i wynosiło 17,9% ogólnego zużycia. Zużycie energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń zarejestrowano w październiku i wynosiło ono 25,2%, a najwyższy udział tej formy energii odnotowano w grudniu, wynosił on 33,6% ogólnego zużycia energii w danym miesiącu.

Na rysunku nr 4.21.c pokazano wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 14% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji, która działała w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczenia nr 3. Na drugim miejscu za konsumpcję odpowiada energia cieplna na potrzeby ogrzewania, udział tej formy energii jest ponad dwukrotnie mniejszy i wynosi 6% całkowitego zużycia. Podobny udział w zużyciu energii ma również instalacja wentylacji i klimatyzacji, która pracowała w celu ogrzewania powietrza, wynosi on 5%. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w analizowanym okresie.

Wykres widoczny na rysunku nr 4.21.d obrazuje wskaźnik zużycia energii do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$). Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji działającej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenie nr 3 pracujące zgodnie z wariantem sterowania, który odpowiada klasie D sprawności BACS, w stosunku rocznym pobiera $133,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. W ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $0 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w sierpniu do $242,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w październiku. Mając na uwadze specyfikę pracy Uczelni postanowiono pominąć w analizie sierpień i wrzesień. W następstwie otrzymano informację, że pomieszczenie nr 3 pracujące zgodnie z wariantem sterowania, który odpowiada klasie D sprawności BACS, w stosunku rocznym pobiera $200,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. W ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $165,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w grudniu do $242,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w październiku.



Rys. 4.21 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 - wariant sterowania dla klasy D

Kolejny zestaw wykresów (rysunki 4.22.a do 4.22.d) zawiera informacje o zużyciu energii w pomieszczeniu nr 3 dla zrealizowanego wariantu sterowania dla klasy C.

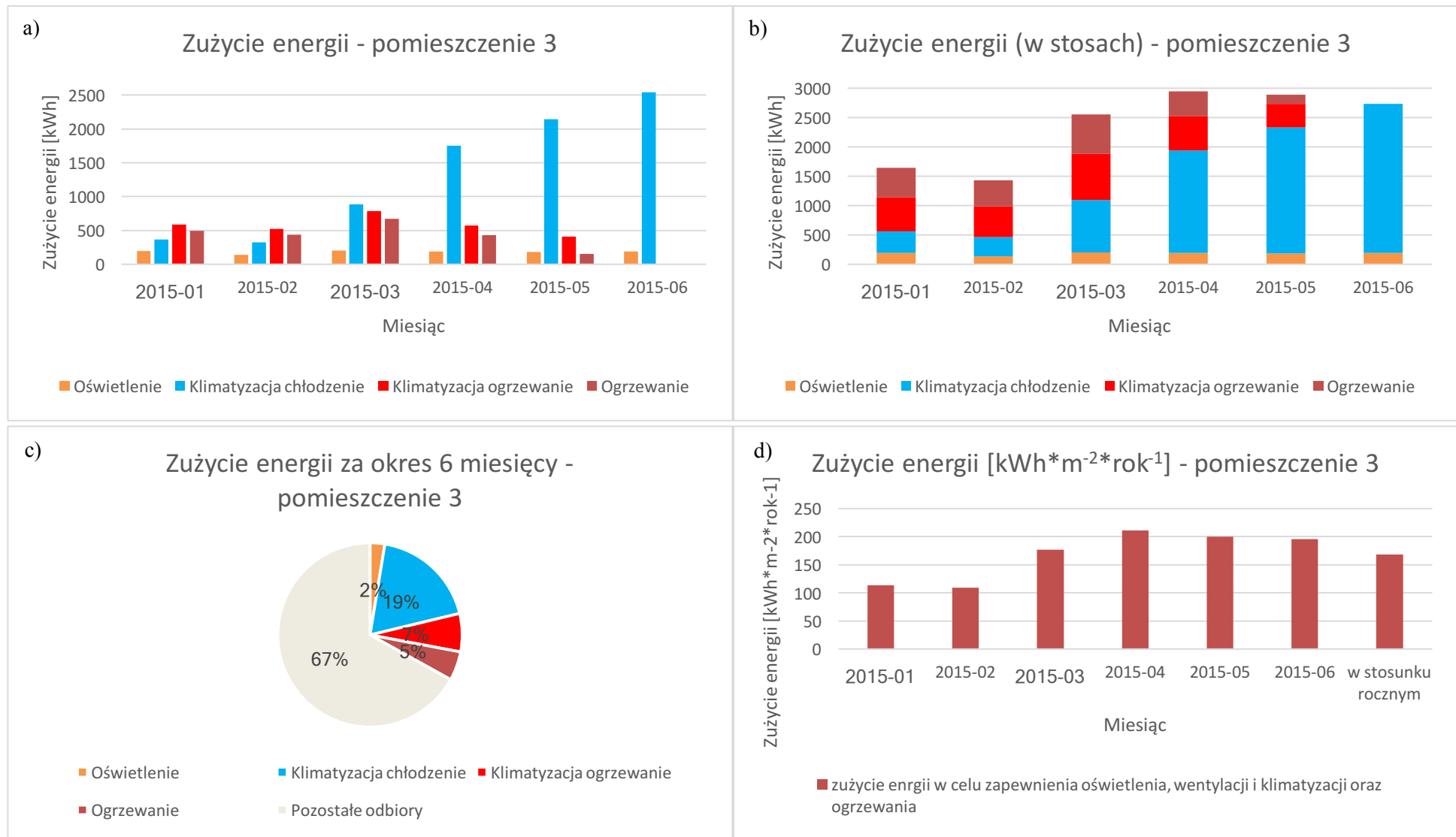
Na rysunku nr 4.22.a zobrazowano wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii w formie wykresu kolumnowego na przestrzeni 6 miesięcy. Na wykresie zauważalny jest trend, że wraz z każdym kolejnym miesiącem oraz wraz ze wzrostem średnich temperatur dobowych, wzrastało zużycie energii elektrycznej pobieranej przez wentylację i klimatyzację do potrzeb chłodzenia dostarczanego powietrza do pomieszczenia. Od stycznia do maja występowało zużycie energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń z wykorzystaniem grzejników. Największą wartość zużycia energii cieplnej zarejestrowano w marcu a najmniejsze w maju. Należy zwrócić uwagę, że zużycie tej formy energii w lutym i kwietniu oscylowało na podobnym poziomie, a w styczniu było ono tylko nieznacznie większe. Instalacja wentylacji i klimatyzacji, która pracowała w trybie ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń działała również od stycznia do maja. Największe zużycie energii elektrycznej w tym celu miało miejsce w marcu, a najmniejsze w maju. Ponadto było ono wyższe w kwietniu niż w lutym, i bardzo zbliżone do nieznacznie większego zużycia w styczniu. Stosunkowo małe zużycie energii do celów ogrzewania w lutym, w porównaniu z kwietniem, to efekt przerwy międzysemestralnej oraz prozaicznego faktu, luty to miesiąc krótszy od pozostałych. System automatyki zrealizowany w wariantcie sterowania odpowiadającego klasie sprawności C, uwzględniał wspomniany efekt ferii zimowych. W każdym miesiącu, w którym wystąpił pobór energii w celu ogrzewania, można zaobserwować trend, że to zużycie energii elektrycznej dla wspomnianej potrzeby jest większe niż konsumpcja energii cieplnej. We wszystkich widocznych na wykresie miesiącach zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia, które co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami.

Na rysunku nr 4.22.b przedstawiono wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 6,6% w kwietniu do 11,9% w styczniu ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 22,3% w styczniu i nieznacznie większy udział w lutym do nawet 92,9% w czerwcu ogólnego zużycia, wzrastając w każdym kolejnym miesiącu. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe, w stosunku do udziału pozostałych rodzajów zużycia w danym miesiącu, w lutym i wynosiło 36,6%, niewiele mniejszy udział w styczniu 35,7%, a następnie malało stopniowo do maja, gdzie wynosiło 14,1% ogólnego zużycia energii. Identyczny trend można zaobserwować w przypadku energii cieplnej zużywanej w celu ogrzewania pomieszczeń. W styczniu i lutym wynosiło ono 30,5% a w maju 5,3% ogólnego zużycia energii.

Na wykresie z rysunku nr 4.22.c widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Pokazano procentowy udział zużycia danej formy energii w pomieszczeniu nr 3 na poszczególne cele, na tle całkowitego zużycia energii przez całe laboratorium AutBudNet. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 19% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji, która działała w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Kolejno za konsumpcję energii odpowiada również instalacja wentylacji i klimatyzacja, tym razem pracująca w celu ogrzewania powietrza, udział ten jest prawie trzykrotnie mniejszy i wynosi 7% całkowitego zużycia. Podobny udział w zużyciu ma również energia cieplna na potrzeby

ogrzewania, wynosi on 5%. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w analizowanym okresie.

Na wykresie zamieszczonym na rysunku nr 4.22.d zaprezentowano wskaźnik zużycia energii do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$), w okresie pomiarowym, w którym zrealizowano wariant sterowania infrastrukturą pomieszczeń odpowiadający klasie C sprawności BACS. Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji pracującej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenie nr 3 w stosunku rocznym pobiera $168,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$, a w ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $109,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w lutym do $211,3 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w kwietniu.



Rys. 4.22 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 - wariant sterowania dla klasy C

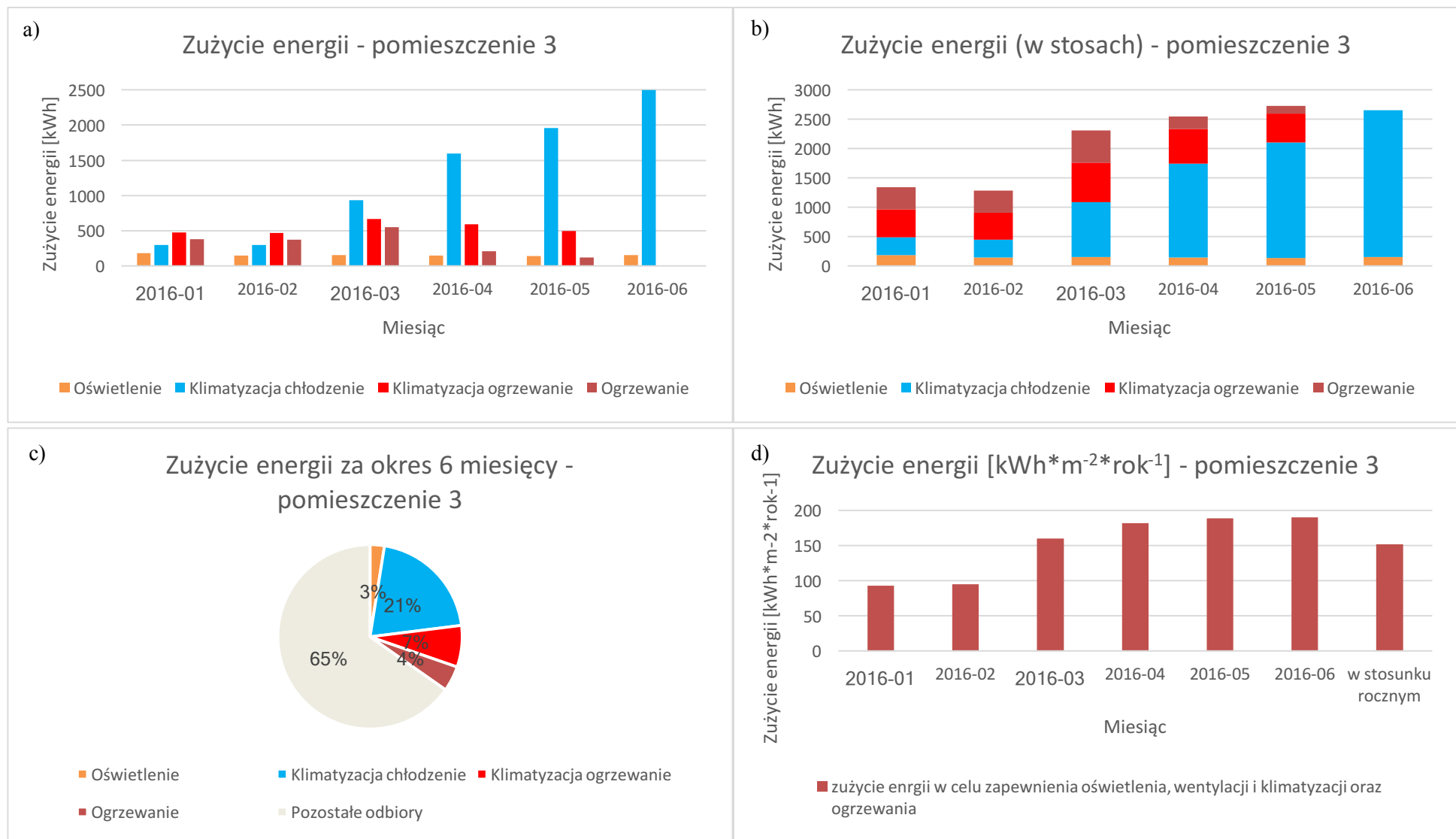
Następny zestaw wykresów (rysunki 4.23.a do 4.23.d) przedstawia informacje o zużyciu energii w pomieszczeniu nr 3 dla zrealizowanego wariantu sterowania dla klasy B.

Na wykresie z rysunku nr 4.23.a pokazano wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii w formie wykresu kolumnowego na przestrzeni 6 miesięcy. Z wykresu można odczytać zużycie energii cieplnej jak i energii elektrycznej dla celów ogrzewania pomieszczenia występowało od stycznia do maja. Największy pobór energii cieplnej został odnotowany w marcu a najmniejszy w maju. Zużycie tej formy energii w styczniu i lutym kształtowało się na zbliżonym do siebie poziomie, a w kwietniu było ono prawie dwukrotnie mniejsze niż w styczniu. W przypadku energii elektrycznej wykorzystanej przez instalację wentylacji i klimatyzacji do potrzeb ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczenia również największe zużycie zarejestrowano w marcu a najniższe w lutym. Zużycie tej formy energii dla wspomnianego celu było zbliżone w styczniu, lutym i maju, jednak w maju było ono nieznacznie większe od wymienionych miesięcy. Na wykresie zauważalny jest trend - z każdym kolejnym miesiącem oraz ze wzrostem średnich temperatur dobowych, wzrastało zużycie energii elektrycznej pobieranej przez instalację wentylacji i klimatyzacji do potrzeb chłodzenia dostarczanego powietrza do pomieszczenia. Dla wszystkich analizowanych miesięcy zarejestrowano również zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia, które co do wartości było podobne i porównywalne pomiędzy poszczególnymi miesiącami. Największy pobór energii elektrycznej w tym celu miał miejsce w styczniu, a najniższy w maju. Na rysunku nr 4.23.b przedstawiono wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Wykres tego typu obrazuje przystępnie zużycie energii na poszczególne cele, w stosunku do pozostałego zużycia energii. Energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 5,2% w maju do 13,8% w styczniu ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 22,5% w styczniu i nieznacznie większy udział w lutym do nawet 94,1% w czerwcu ogólnego zużycia, wzrastając w każdym kolejnym miesiącu. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe, w stosunku do udziału pozostałych rodzajów zużycia w danym miesiącu, w lutym i wynosiło 36,3%, niewiele mniejszy udział w styczniu 35,3%, a następnie malało stopniowo do maja, gdzie wynosiło 18,3% ogólnego zużycia energii. Identyczny trend można zaobserwować w przypadku energii cieplnej zużywanej w celu ogrzewania pomieszczeń. W styczniu i lutym wynosiło ono 29% a w maju 4,6% ogólnego zużycia energii.

Na rysunku nr 4.23.c zamieszczono wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Na wykresie widoczny jest procentowy udział zużycia danej formy energii w pomieszczeniu nr 3 na poszczególne cele, na tle całkowitego zużycia energii przez całe laboratorium AutBudNet. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 21% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji, która działała w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń. Kolejno za konsumpcję energii odpowiada również instalacja wentylacji i klimatyzacji, tym razem pracująca w celu ogrzewania powietrza, udział ten jest trzykrotnie mniejszy i wynosi 7% całkowitego zużycia. Z kolei udział zużycia energii cieplnej na potrzeby ogrzewania, wynosi 4%. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 3% całkowitego zużycia energii w analizowanym okresie.

Na wykresie zamieszczony na rysunku nr 4.23.d widoczny jest wskaźnik zużycia energii do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$), w okresie pomiarowym,

w którym zrealizowano wariant sterowania infrastrukturą pomieszczeń odpowiadający klasie B sprawności BACS. Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy wentylacji i klimatyzacji pracującej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenie nr 3 w stosunku rocznym pobiera $151,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$, a w ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od $93 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w lutym do $189,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ w kwietniu.



Rys. 4.23 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 - wariant sterowania dla klasy B

Ostatni zestaw wykresów dla pomieszczenia nr 3 (rysunki 4.24.a do 4.24.d) prezentuje informacje o zużyciu energii dla zrealizowanego wariantu sterowania dla klasy A.

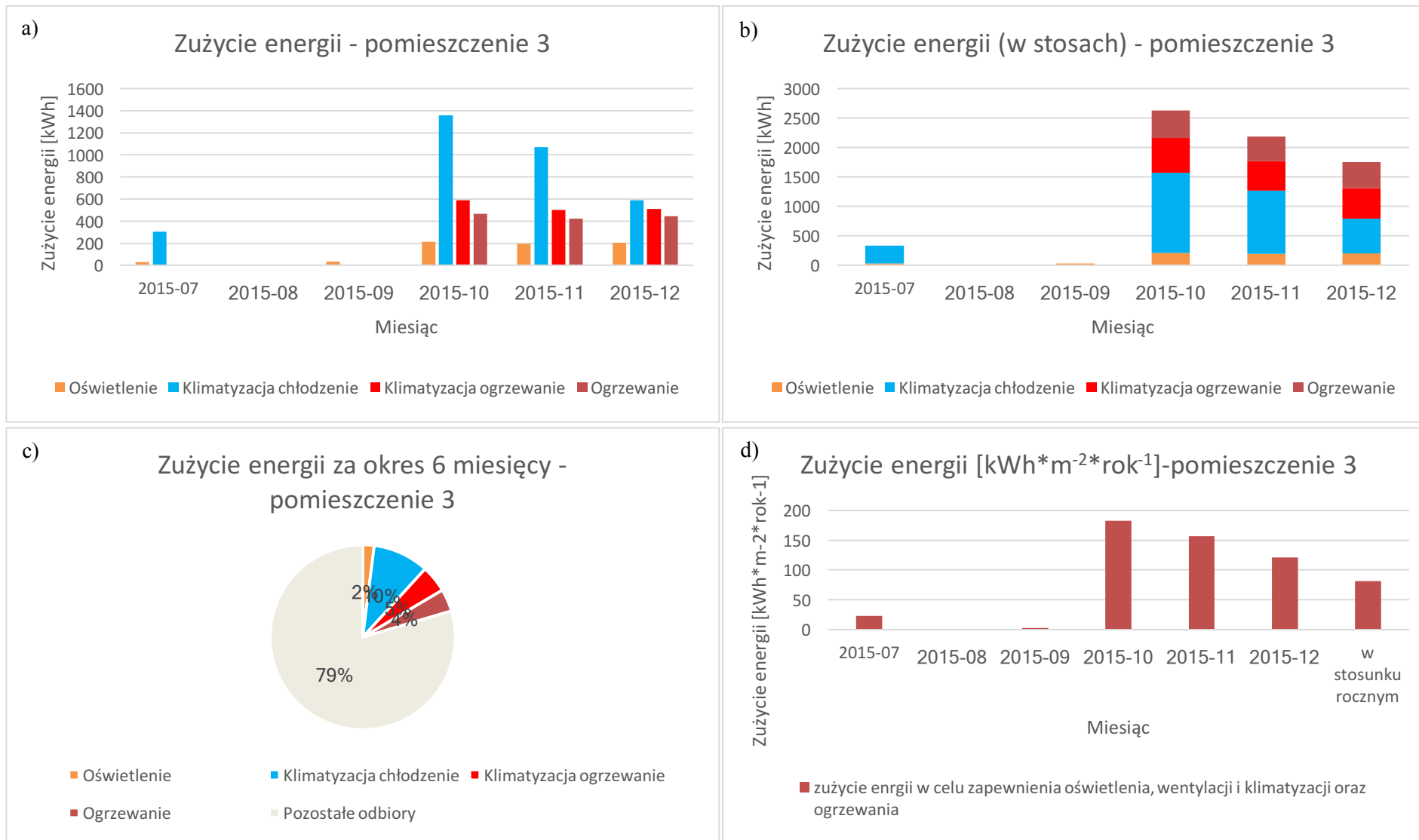
Na rysunku nr 4.24.a widoczne są wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii na przestrzeni 6 miesięcy. Mając na uwadze wspomnianą specyfikę pracy Uczelni, pod analizie poddano głównie okres od października do grudnia oraz lipiec. Największe zużycie energii elektrycznej przez instalację wentylacji i klimatyzacji pracującą w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń odnotowano w październiku, następnie malało ono stopniowo do grudnia. W tych trzech miesiącach pobór energii elektrycznej w celu ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń, był stosunkowo równomierny. Osiągnął on największą wartość w październiku a najmniejszą w listopadzie. Od października do grudnia zarejestrowano również konsumpcje energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń z wykorzystaniem grzejników. Również w tym przypadku zużycie to było na identycznym poziomie w poszczególnych miesiącach, przy czym największą wartość odnotowano w październiku, a najmniejszą w listopadzie. Dla wszystkich analizowanych miesięcy zarejestrowano też zużycie energii elektrycznej przez instalacje oświetlenia. Największą wartość miało ono w październiku, a najmniejszą w lipcu. Warto zauważyć, że w okresie od października do grudnia, pobór energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia był podobny i porównywalny dla poszczególnych miesięcy. Natomiast zużycie w lipcu było ponad siedmiokrotnie mniejsze.

Na rysunku nr 4.24.b pokazano wyniki pomiarów bezwzględnego sumarycznego zużycia energii jako wykres skumulowany na przestrzeni 6 miesięcy. Jak już wspomniano wcześniej, w analizie pominięto sierpień i wrzesień. Energia elektryczna zużyta na potrzeby oświetlenia wynosiła od 8,2% w październiku do 11,7% w grudniu ogólnego zużycia. Konsumpcja energii elektrycznej w celu dostarczenia chłodnego powietrza do pomieszczeń wahała się od 33,7% w grudniu do 51,7% w październiku ogólnego zużycia, a w lipcu wynosiła ona nawet 91,3%. Z kolei zużycie energii elektrycznej dla potrzeb ogrzewania powietrza było największe w grudniu i wynosiło 29,2%, a najmniejsze w październiku i wynosiło 22,5% ogólnego zużycia. Zużycie energii cieplnej w celu ogrzewania pomieszczeń zarejestrowano w październiku i wynosiło ono 17,7%, a najwyższy udział tej formy energii odnotowano w grudniu, wynosił on 25,3% ogólnego zużycia energii w danym miesiącu.

Na wykresie z rysunku nr 4.24.c zobrazowano wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii zsumowane za okres 6 miesięcy. Łatwo można zauważyć, że za największy udział zużycia energii, wynoszący 10% całkowitego zużycia, odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji, która działała w trybie chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczenia nr 3. Na drugim miejscu za konsumpcję energii odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji, która pracowała w celu ogrzewania powietrza, udział ten wynosi 5% całkowitego zużycia. Podobny udział w zużyciu ma również energia cieplna na potrzeby ogrzewania, udział tej formy energii wynosi 4% całkowitego zużycia. Udział energii elektrycznej, potrzebnej do zapewnienia oświetlenia, wynosi 2% całkowitego zużycia energii w analizowanym okresie.

Na rysunku nr 4.24.d przedstawiono wykres obrazujący wskaźnik zużycia energii do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$). Sumując zużycie energii elektrycznej wykorzystanej w celu zapewnienia oświetlenia, pracy instalacji wentylacji i klimatyzacji, która działała w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczeń oraz energii cieplnej wykorzystywanej przez grzejniki do potrzeb ogrzewania, otrzymano informację, że pomieszczenie nr 3 pracujące zgodnie z wariantem sterowania, który odpowiada klasie A sprawności BACS, w stosunku rocznym pobiera $80,9 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$.

W ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od 0,1 kWh*m⁻²*rok⁻¹ w sierpniu do 182,1 kWh*m⁻²*rok⁻¹ w październiku. Mając na uwadze specyfikę pracy Uczelni postanowiono pominąć w analizie sierpień i wrzesień. W następstwie otrzymano informację, że pomieszczenie nr 3 pracujące zgodnie z wariantem sterowania, który odpowiada klasie A sprawności BACS, w stosunku rocznym pobiera 121,1 kWh*m⁻²*rok⁻¹. W ujęciu miesięcznym, wartość ta waha się od 121,2 kWh*m⁻²*rok⁻¹ w grudniu do 182,1 kWh*m⁻²*rok⁻¹ w październiku.



Rys. 4.24 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 - wariant sterowania dla klasy A

4.5. Weryfikacja zakresu oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji na efektywność energetyczną podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach

W opinii autora pracy, zamieszczona w poprzednim podrozdziale analiza danych i wyników, pochodzących z przeprowadzonego w ramach niniejszej pracy eksperymentu badawczego, pozwala na dokonanie weryfikacji wpływu systemów automatyzacji na energetyczne właściwości podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach. Warto podkreślić, że jako obiekt badawczy wykorzystano laboratorium AutBudNet i jego infrastrukturę techniczną. Zainstalowane we wspomnianym laboratorium instalacje technologiczne i infrastruktura sterująca umożliwiły implementację a następnie integrację funkcji rozproszonych systemów automatyzacji budynków, spełniających wymagania stawiane poszczególnym klasom sprawności BACS, zgodnie z zapisami normy PN-EN 15232:2012. Zróżnicowany sposób wykorzystywania pomieszczeń laboratorium, umożliwił natomiast przeprowadzenie badań dla dwóch różnych profili użytkowych pomieszczeń (pomieszczenie biurowe i sala lekcyjna), jak podano w PN-EN 15217. Dla czterech klas sprawności BACS, dokonano rejestracji pomiarów zużycia energii elektrycznej i cieplnej oraz niezbędnych parametrów środowiskowych (np. temperatura w pomieszczeniach, temperatura zewnętrzna, wartość natężenia światła dziennego, zajętość pomieszczeń, położenie rolet i stan okien itp.). Z uwagi na ograniczenia czasowe związane z przygotowaniem niniejszej pracy, jako okres rejestracji pomiarów, dla każdego z wariantów sterowania odpowiadającego danej klasie BACS, przyjęto cykle sześciomiesięczne. Dlatego, zdaniem autora, najbardziej uzasadnione jest bezpośrednie porównywanie danych i wyników pomiędzy tymi wariantami sterowania, które były zrealizowane w odpowiadających sobie okresach. Odpowiednio wariant sterowania dla klasa D z wariantem sterowania dla klasy A oraz wariant sterowania dla klasa C z wariantem sterowania dla klasy B. Natomiast porównywanie między sobą wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania możliwe jest tylko w sposób pośredni, np. wykorzystując wskaźnik zużycia energii do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym. Wskaźnik ten można również wykorzystać do porównywania między sobą wariantów sterowania zrealizowanych w odpowiadających sobie okresach, co zostało przedstawione na rysunkach nr 4.25 do 4.28. Należy podkreślić, że w trakcie trwania całego eksperymentu, przez wszystkie cztery cykle pomiarowe, w infrastrukturze technicznej laboratorium nie dokonano, żadnych zmian wpływających na charakter zużycia energii, oprócz zmiany wariantów sterowania systemem automatyzacji pomieszczeń. Dodatkowo sposób wykorzystania danych pomieszczeń był zbliżony do siebie, w ramach poszczególnych cykli.

Na rysunkach nr 4.25.a, 4.26.a, 4.27.a i 4.28.a zamieszczono wykresy obrazujące wyniki pomiarów zużycia energii całkowitej w przeliczeniu na $m^{-2} \cdot rok^{-1}$ dla wariantów sterowania odpowiadających odpowiednio klasom sprawności BACS A i D oraz B i C, w pomieszczeniu nr 1 i 2, oraz klasom A i D oraz B i C, w pomieszczeniu nr 3. Można z nich odczytać wartości wskaźnika zużycia energii całkowitej (elektryczna i cieplna) w ujęciu miesięcznym (dla poszczególnego miesiącach w danych cyklach pomiarowych) oraz wartości wskaźnika w stosunku rocznym. Wskaźniki te dostarczają informacji umożliwiających porównanie między sobą konsumpcji energii w pomieszczeniach 1 i 2 lub 3, pracujących pod kontrolą

systemów automatyzacji zrealizowanych w różnych wariantach sterowania. Jednak zgodnie z wytycznymi proponowanymi w normie PN-EN 15232:2012, należy analizować i określać wpływ systemów automatyzacji na osobne zużycie energii cieplnej i elektrycznej. Dodatkowo w ramach energii elektrycznej należy wyróżnić energię dla potrzeb oświetlenia oraz pomocniczą energię elektryczną. Podział ten został przedstawiony w rozdziale 3.3 niniejszej pracy. W tym celu na rysunkach nr od 4.25 do 4.28 przedstawiono wykresy obrazujące wskaźnik zużycia energii cieplnej (rysunki nr 4.25.b - 4.28.b), energii elektrycznej dla oświetlenia (rysunki nr 4.25.c - 4.28.c) oraz pomocniczej energii elektrycznej (rysunki nr 4.25.d - 4.28.d), do powierzchni pomieszczeń w stosunku rocznym, w odpowiadających sobie cyklach pomiarowych dla omawianych wariantów sterowania w poszczególnych pomieszczeniach. Wyniki uzyskane w ramach przeprowadzonego badania, odniesiono do zawartych we wspomnianej normie szczegółowych współczynników efektywności BACS, a następnie stwierdzono czy dla zrealizowanego eksperymentu, założenia te zostały potwierdzone. Natomiast dodatkowy komentarz został zamieszczony w rozdziale 4.6. Dodatkowo w przypadku klas A i D dla wykresów obrazujących wskaźniki zużycia energii cieplnej, zarówno dla pomieszczeń nr 1 i 2 oraz 3, w celu zapewnienia większej czytelności przedstawiono fragment cyklu, w którym wystąpiło pobranie tej formy energii (okres od października do grudnia) oraz wartości wskaźnika w ujęciu rocznym. Analogicznie dla klas B i C pominięto czerwiec.

Pomieszczenie 1 i 2 klasy A i D

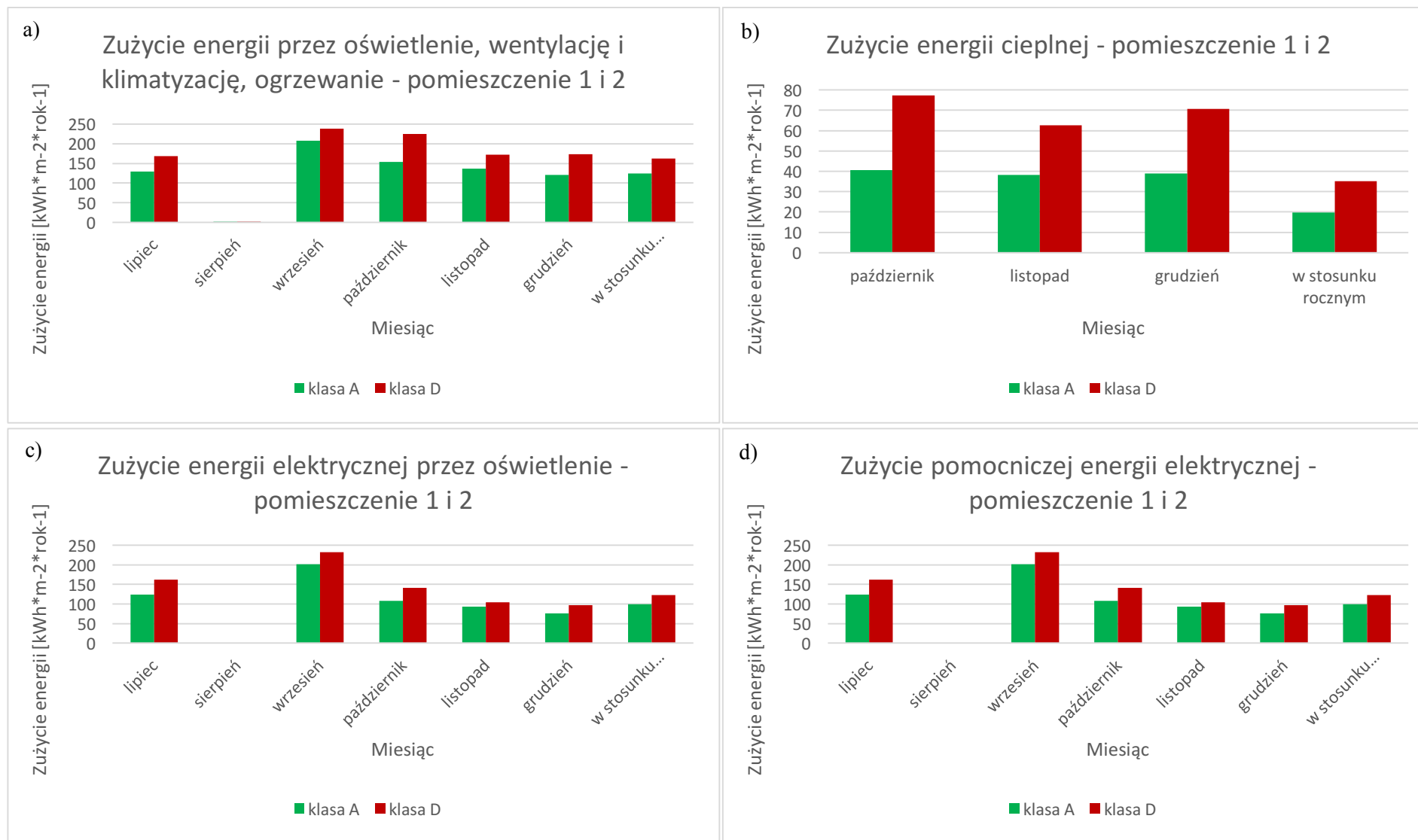
Na wykresie z rysunku nr 4.25.a, widać, że dla każdego z porównywanych miesięcy oraz w stosunku rocznym wskaźnik zużycia energii dla klasy D jest większy od wskaźnika dla klasy A. W ujęciu rocznym wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 23,5% w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 12,8% we wrześniu do 31,5% w październiku. Autor pominął porównanie dla sierpnia, gdyż w przypadku tego miesiąca to wskaźnik dla klasy A jest dwukrotnie wyższy, jednak jak już podkreślano wielokrotnie, wykorzystanie pomieszczeń w sierpniu odbiega zupełnie od pozostałych miesięcy.

Rysunek nr 4.25.b zawiera wykres przedstawiający wskaźniki zużycia energii cieplnej. Na wspomnianym wykresie można łatwo zauważyć, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą A jest znacząco mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie D. W ujęciu rocznym jest on o 44,1% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 38,9% w listopadzie do 47,4% w październiku. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii cieplnej oraz energii całkowitej, można dostrzec znaczący, prawie dwukrotny, wzrost różnicy tego wskaźnika pomiędzy klasami A oraz D w przypadku energii cieplnej. Obserwacja ta pokrywa się z wynikami różnych innych prac badawczych i materiałów branżowych oraz z zapisami normy PN-EN 15232:2012. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.8 zawiera szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii cieplnej wykorzystywanej do celu ogrzewania. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy A oraz D dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii cieplnej powinien być mniejszy o 34,5% w porównaniu do wskaźnika klasy D. W przypadku października wyrażona w procentach wartość różnicy jest zbliżona do wspomnianej wartości, jednak w ujęciu

rocznym, a tym bardziej w listopadzie zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy. Dodatkowo odnosząc zużycie energii cieplnej do energii całkowitej można dostrzec, że w obu przypadkach największa różnica pomiędzy wskaźnikami dla danych klas miała miejsce w październiku. Z kolei w omawianym dla energii cieplnej okresie najmniejsza różnica wystąpiła również w listopadzie.

Rysunek nr 4.25.c zawiera wykres przedstawiający wskaźniki zużycia energii elektrycznej do potrzeb oświetlenia dla wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności A oraz D. Na wspomnianym wykresie widoczne jest, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą A jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie D. Jednak różnica ta nie jest tak znacząca jak miało to miejsce w przypadku energii cieplnej. W ujęciu rocznym jest on o 9,1% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 0% w listopadzie do 13,9% w październiku. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii elektrycznej oraz energii całkowitej, obserwowalna jest mała różnica tych wskaźników pomiędzy klasami A oraz D w obu przypadkach. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.11 zawiera szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii elektrycznej wykorzystywanej do celu oświetlenia. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy A oraz D dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii przez pomieszczenia biurowe powinien być mniejszy o 51,4% w porównaniu do wskaźnika klasy D. Dla żadnego z analizowanych miesięcy, wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest nawet zbliżona do wspomnianej wartości, tym samym zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy. Wyjaśnieniem takiego stanu może być fakt, stosunkowo jednorodnej i równomiernej zajętości pomieszczeń w obu analizowanych cyklach pomiarowych. Dodatkowo, częściej wykorzystywane, a tym samym bardziej energochłonne, pomieszczenie nr 1 nie oferuje możliwości regulacji natężenia oświetlenia. Odnosząc zużycie energii elektrycznej dla oświetlenia do energii całkowitej można zaobserwować, że w obu przypadkach największa różnica pomiędzy wskaźnikami dla danych klas miała miejsce w październiku. Natomiast najmniejszą różnicę wskaźników zużycia energii elektrycznej dla oświetlenia zaobserwowano w listopadzie, a nie we wrześniu, jak to miało miejsce w przypadku energii całkowitej.

Na wykresie z rysunku nr 4.25.d, przedstawiono wskaźniki zużycia pomocniczej energii elektrycznej dla wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności A oraz D. Można zauważyć, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą A jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie D. Jednak różnica ta nie jest tak znacząca jak miało to miejsce w przypadku energii cieplnej. W ujęciu rocznym jest on o 18,2% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 12,9% we wrześniu do 23,7% w lipcu i październiku. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii elektrycznej oraz energii całkowitej, widoczna jest zbliżona różnica tych wskaźników pomiędzy klasami A oraz D w obu przypadkach. W rozdziale 3.3, w tabeli 3.11 przedstawiono szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla pomocniczej energii elektrycznej. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy A oraz D dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii przez pomieszczenia biurowe powinien być mniejszy o 37,4% w porównaniu do wskaźnika klasy D. Dla żadnego z analizowanych miesięcy, wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest zbliżona do wspomnianej wartości, tym samym zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy.



Rys. 4.25 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 w przeliczeniu na $m^2 \cdot rok^{-1}$ – porównanie wariantów sterowania dla klas A i D

Pomieszczenie 1 i 2 klasy B i C

Na wykresie z rysunku nr 4.26.a, widoczne jest, że dla każdego z porównywanych miesięcy oraz w stosunku rocznym wskaźnik zużycia energii dla klasy B jest mniejszy od wskaźnika dla klasy C. W ujęciu rocznym wskaźnik dla klasy B jest mniejszy o 13,2% w porównaniu do wskaźnika odpowiadającego klasie C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 4% w czerwcu do 19,9% w styczniu.

Rysunek nr 4.26.b zawiera wykres, wskaźników zużycia energii cieplnej. Łatwo można zauważyć, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą B jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie C. W ujęciu rocznym jest on o 25,7% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 17,7% w lutym do 51,3% w kwietniu. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii cieplnej oraz energii całkowitej, można dostrzec wzrost różnicy tego wskaźnika pomiędzy klasami B oraz C w przypadku energii cieplnej. Dodatkowo odnosząc zużycie energii cieplnej do energii całkowitej widoczne jest, że w drugim przypadku największa różnica pomiędzy wskaźnikami dla danych klas miała miejsce w czerwcu, a nie w kwietniu. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.8 zawiera szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii cieplnej wykorzystywanej do celu ogrzewania. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy B oraz C dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii cieplnej dla pomieszczeń biurowych powinien być mniejszy o 21% w porównaniu do wskaźnika klasy C. W przypadku stycznia, marca i maja, wyrażona w procentach wartość różnicy jest zbliżona do wspomnianej wartości, ujęciu rocznym jest ona nieznacznie większa. Jednak dla kwietnia zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy, gdyż różnica ta jest ponad dwukrotnie większa.

Wykres na rysunku nr 4.26.c przedstawia wskaźniki zużycia energii elektrycznej na oświetlenie, dla wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności B oraz C. Na wykresie tym można dostrzec, że wskaźnik zużycia energii dla obu wariantów sterowania zgodnego są bardzo zbliżone do siebie co do wartości. Dla okresu od marca do kwietnia wskaźniki te są sobie równe. Tylko w styczniu wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klas B był mniejszy o 5%, a w lutym i czerwcu przyjęły one wyższą wartość. Wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klas C był odpowiednio mniejszy o 1,4% w lutym i 4,8% w czerwcu w porównaniu do klasy B. Trend w różnicy wskaźników zużycia energii elektrycznej dla oświetlenia oraz energii całkowitej nie został zachowany. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.11 przedstawia szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii elektrycznej wykorzystywanej do celu oświetlenia. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy B oraz C dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii przez pomieszczenia biurowe powinien być mniejszy o 15% w porównaniu do wskaźnika klasy C. Dla żadnego z analizowanych miesięcy, wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest nawet zbliżona do wspomnianej wartości, a dodatkowo we wspomnianych miesiącach to wskaźnik dla klasy B przyjmował wyższą wartość. Zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy.

Rysunek nr 4.26.d to wykres, na którym pokazano wskaźniki zużycia pomocniczej energii elektrycznej dla wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności B oraz C. Na tym wykresie widać, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą B jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie C. Jednak różnica ta jest mniej znacząca niż

miało to miejsce w przypadku energii cieplnej. W ujęciu rocznym jest on o 10,1% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 4,4% w czerwcu do 19,1% w styczniu. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii elektrycznej oraz energii całkowitej, można zaobserwować ich zbliżoną różnicę pomiędzy klasami B oraz C w obu przypadkach. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.11 przedstawia szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla pomocniczej energii elektrycznej. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy B oraz C dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii, przez pomieszczenia biurowe, powinien być mniejszy o 14% w porównaniu do wskaźnika klasy C. W lutym i maju, wyrażona w procentach wartość różnicy jest bardzo zbliżona do wspomnianej wartości, a wskaźnik w ujęciu rocznym nie różni się znacząco. Zarejestrowane wyniki potwierdzają założenia normy, co do trendu obniżenia zużycia energii przez bardziej zaawansowany funkcjonalnie system automatyzacji.



Rys. 4.26 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 w przeliczeniu na $m^2 \cdot rok^{-1}$ – porównanie wariantów sterowania dla klas B i C

Pomieszczenie 3 klasy A i D

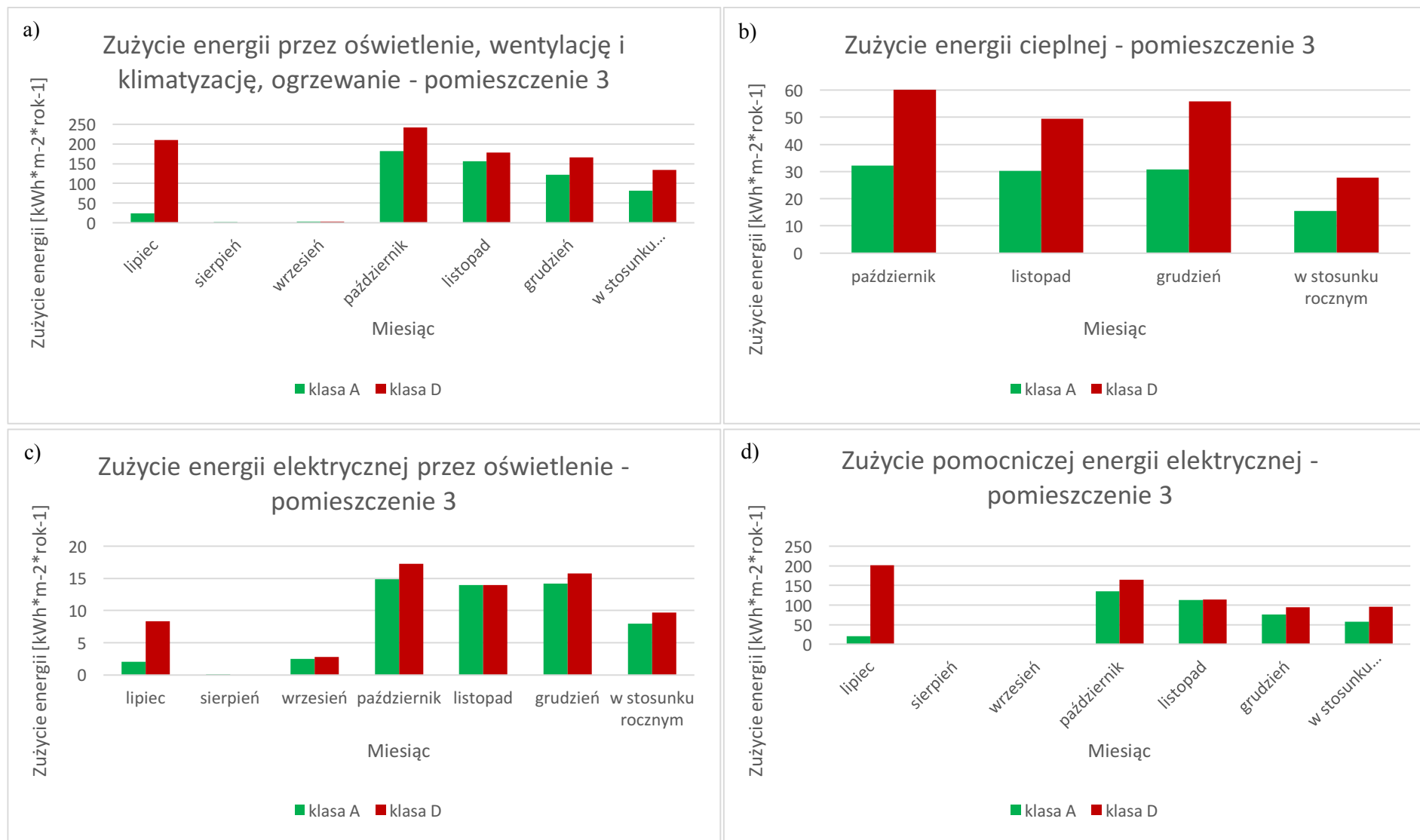
Na wykresie z rysunku nr 4.27.a, widać, że dla każdego z porównywanych miesięcy oraz w stosunku rocznym wskaźnik zużycia energii dla klasy D jest większy od wskaźnika dla klasy A. W ujęciu rocznym wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 39,5% w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 10% we wrześniu do 89% w lipcu. Autor pominął porównanie dla sierpnia, gdyż w przypadku tego miesiąca w cyklu pomiarowym dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D nie odnotowano zużycia energii, a wskaźnik dla klasy A jest pomijalnie mały. Jak już podkreślano wielokrotnie, wykorzystanie pomieszczeń w sierpniu odbiega zupełnie od pozostałych miesięcy.

Rysunek nr 4.27.b zawiera wykres wskaźników zużycia energii cieplnej. Można zauważyć, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą A jest znacząco mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie D. W ujęciu rocznym jest on o 44% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 38,8% w listopadzie do 47,3% w październiku. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii cieplnej oraz energii całkowitej, w przypadku miesięcy zimowych, widoczny jest wzrost różnicy tego wskaźnika pomiędzy klasami A oraz D w przypadku energii cieplnej. Jednak odnosząc do siebie wskaźniki w ujęciu rocznym, różnica nie jest już tak znacząca. Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii cieplnej wykorzystywanej do celu ogrzewania zebrano w tabeli 3.8 w rozdziale 3.3. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy A oraz D dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii cieplnej, przez sale lekcyjne, powinien być mniejszy o 33,3% w porównaniu do wskaźnika klasy D. W listopadzie wyrażona w procentach wartość różnicy jest zbliżona do wspomnianej wartości, jednak w ujęciu rocznym, a tym bardziej w październiku zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy. Interesujących informacji dostarcza również odniesienie zużycia energii cieplnej do energii całkowitej, w przedstawionym na rysunku 4.55 okresie (od października do grudnia). Zauważalne jest, że w przypadku pierwszej wspomnianej formy energii największa różnica pomiędzy wskaźnikami dla danych klas miała miejsce w październiku, a w przypadku energii całkowitej fakt taki odnotowano w grudniu. Z kolei najmniejsza różnica w obu przypadkach wystąpiła w listopadzie.

Rysunek nr 4.27.c zawiera wykres, na którym przedstawiono wskaźniki zużycia energii elektrycznej do potrzeb oświetlenia dla wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności A oraz D. Na wykresie można dostrzec, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą A jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie D. Wyjątkiem jest wynik zarejestrowany dla listopad, gdzie wskaźniki te są sobie równe. W ujęciu rocznym, wskaźnik ten, był o 18,3% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy D. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 0% w listopadzie do 76% w lipcu. W porównaniu do energii całkowitej, wskaźniki zużycia energii elektrycznej na oświetlenie dla obu wspomnianych klas posiadają zbliżone do siebie wartości. Różnica ta jest znacząco mniejsza niż miało to miejsce w przypadku energii cieplnej. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.11 zawiera szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii elektrycznej wykorzystywanej do celu oświetlenia. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy A oraz D dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej

normy wskaźnik zużycia energii przez sale lekcyjne powinien być mniejszy o 30,9% w porównaniu do wskaźnika klasy D. Dla żadnego z analizowanych miesięcy, wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest nawet zbliżona do wspomnianej wartości, tym samym zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy. Wyjaśnieniem takiego stanu może być fakt, stosunkowo jednorodnej i równomiernej zajętości pomieszczeń w obu analizowanych cyklach pomiarowych. Ponadto pomieszczenie nr 3 nie oferuje możliwości regulacji natężenia oświetlenia. Przy analizie danych z tego wykresu na dodatkową uwagę zasługuje porównanie wskaźników zużycia energii dla lipca, w obu cyklach pomiarowych. Analiza zajętości pomieszczenia nr 3 w tych cyklach, dostarcza informacji, że w obu przypadkach parametr ten jest do siebie zbliżony. Jednak różni się znacząco od profilu zajętości w pozostałych miesiącach. W lipcu zajętość przyjęła charakter wielu krótkotrwałych naruszeń kontrolowanej strefy, w pozostałych miesiącach przedstawionych okresów pomiarowych zajętość ta przyjmowała charakter długotrwałych naruszeń. Niemniej jednak to dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie A zużycie energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia było znacząco mniejsze. Fakt ten może świadczyć o stosunkowo dużym potencjale wpływu systemów automatyzacji na zużycie energii.

Rysunek nr 4.27.d zawiera wykres, na którym przedstawiono wskaźniki zużycia pomocniczej energii elektrycznej dla wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności A oraz D. Na tym wykresie widać, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą A jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie D. Jednak różnica ta nie jest tak znacząca jak miało to miejsce w przypadku energii cieplnej. W ujęciu rocznym jest on o 40,3% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy D. Przy takim samym porównaniu, dla poszczególnych miesięcy różnica ta waha się od 2,1% w listopadzie do 89,6% w lipcu. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii elektrycznej oraz energii całkowitej, można dostrzec ich zbliżony trend pomiędzy klasami A oraz D w obu przypadkach. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.11 przedstawia szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla pomocniczej energii elektrycznej. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy A oraz D dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii przez sale lekcyjne, powinien być mniejszy o 34% w porównaniu do wskaźnika klasy D. Dla żadnego z analizowanych miesięcy, wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest zbliżona do wspomnianej wartości, tym samym zarejestrowane wyniki nie potwierdzają całkowicie założeń normy, chociaż zarejestrowane wyniki jednoznacznie wskazują na trend obniżenia zużycia energii przez bardziej zaawansowany funkcjonalnie system automatyzacji.



Rys. 4.27 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 w przeliczeniu na $m^{-2} \cdot rok^{-1}$ – porównanie wariantów sterowania dla klas A i D

Pomieszczenie 3 klasy B i C

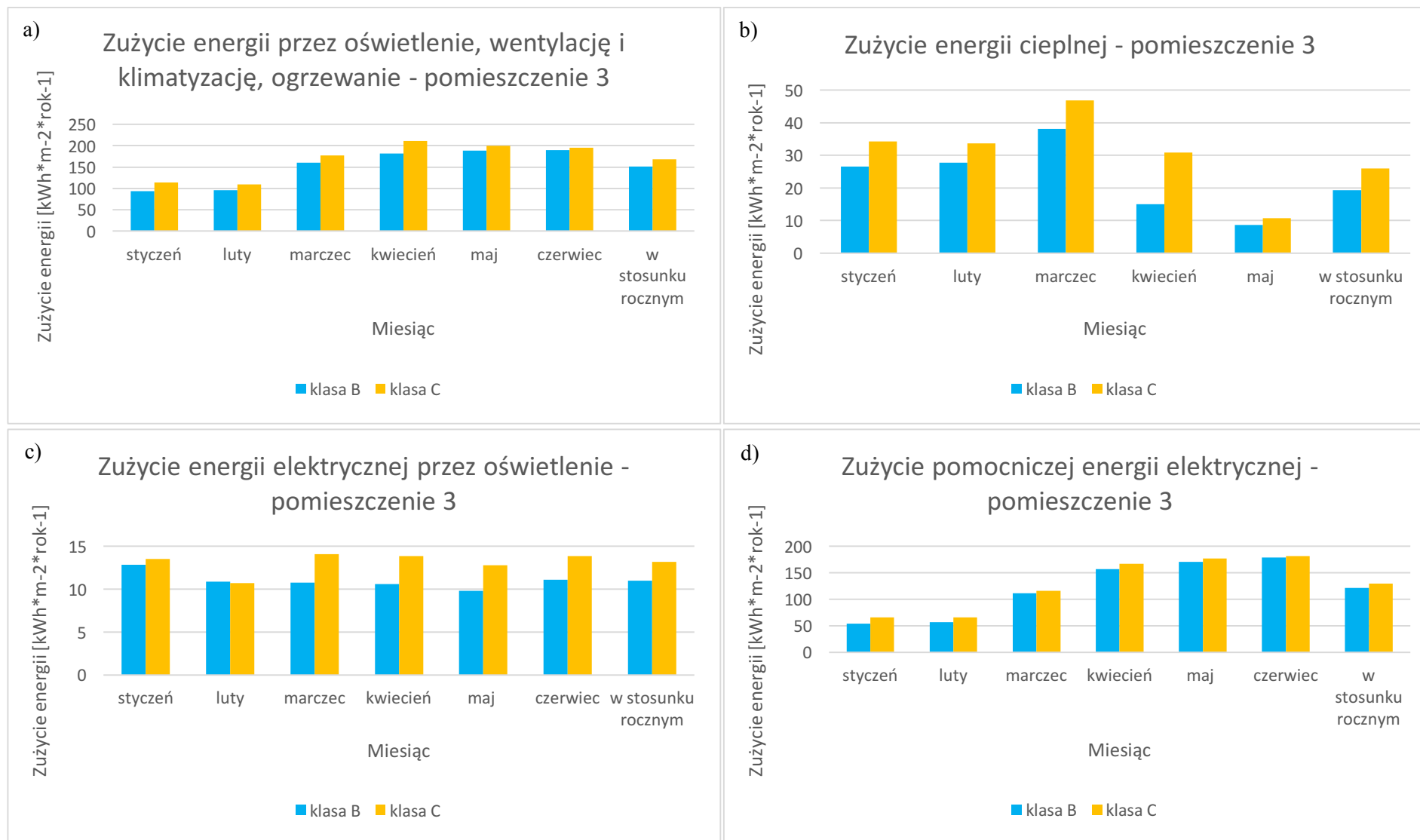
Na wykresie zamieszczonym na rysunku nr 4.28.a widać, że dla każdego z porównywanych miesięcy oraz w stosunku rocznym wskaźnik zużycia energii dla klasy B jest mniejszy od wskaźnika dla klasy C. W ujęciu rocznym wskaźnik dla klasy B jest mniejszy o 10% w porównaniu do wskaźnika odpowiadającego klasie C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 3% w czerwcu do 18,3% w styczniu.

Rysunek nr 4.28.b zawiera wykres wskaźników zużycia energii cieplnej. Można zauważyć, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą B jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie C. W ujęciu rocznym jest on o 25,6% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 17,6% w lutym do 51,2% w kwietniu. Porównując ze sobą wskaźniki zużycia energii cieplnej oraz energii całkowitej, zauważalny jest wzrost różnicy tego wskaźnika pomiędzy klasami B oraz C w przypadku energii cieplnej. Największa różnica pomiędzy wskaźnikami dla danych klas miała miejsce w kwietniu w przypadku energii cieplnej, a dla energii całkowitej było to w styczniu. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.8 przedstawia szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii cieplnej wykorzystywanej do celu ogrzewania. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy B oraz C dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy, wskaźnik zużycia energii cieplnej dla sal lekcyjnych powinien być mniejszy o 12% w porównaniu do wskaźnika klasy C. W żadnym z analizowanych miesięcy wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest zbliżona do wspomnianej wartości, a w ujęciu rocznym jest ona dwukrotnie większa. Zarejestrowane wyniki, nie potwierdzają założeń wspomnianej normy. Wariant sterowania dla klasy B, znacząco zmniejszył zużycie energii cieplnej.

Na wykresie z rysunku nr 4.28.c przedstawiono wskaźniki zużycia energii elektrycznej do potrzeb oświetlenia. Można zauważyć, że wskaźnik zużycia energii dla wariantu sterowania zgodnego z klasą B jest mniejszy niż dla wariantu odpowiadającego klasie C, w okresie od marca do czerwca oraz w stosunku rocznym. Ten sam fakt miał miejsce w styczniu, jednak dla obu wariantów sterowania wartości wskaźnika są bardzo zbliżone do siebie. Natomiast w lutym wskaźnik zużycia energii wariantu dla klasy B był wyższy o 1,4% w porównaniu do klasy C. W ujęciu rocznym, wskaźnik ten, był o 16,5% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące, wyjątkiem jest wspomniany luty, różnica ta waha się od 5% w styczniu do 23,5% w marcu, kwietniu i maju. Trend w różnicy wskaźników zużycia energii elektrycznej dla oświetlenia oraz energii całkowitej nie został zachowany. Szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla energii elektrycznej wykorzystywanej do celu oświetlenia zamieszczono w tabeli 3.11 w rozdziale 3.3. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy B oraz C dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii przez sale lekcyjne powinien być mniejszy o 12% w porównaniu do wskaźnika klasy C. Dla żadnego z analizowanych miesięcy, wyrażona w procentach wartość różnicy nie jest zbliżona do wspomnianej wartości. W przypadku okresu od marca do maja, zarejestrowana różnica wskaźników pomiędzy klasami była prawie dwukrotnie większa, a w lutym to wskaźnik dla klasy B przyjmował wyższą wartość. Zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założeń normy.

Rysunek nr 4.28.d przedstawia wykres, na którym przedstawiono wskaźniki zużycia pomocniczej energii elektrycznej. Widoczny na nim wskaźnik zużycia energii dla wariantu

sterowania zgodnego z klasą B jest mniejszy, niż dla wariantu odpowiadającego klasie C. Jednak różnica ta jest mniej znacząca niż miało to miejsce w przypadku energii cieplnej, a jest bardziej porównywalna do różnicy dla energii całkowitej. W ujęciu rocznym jest on o 6,2% mniejszy w porównaniu do wskaźnika klasy C. Podczas gdy porównując, w ten sam sposób, poszczególne miesiące różnica ta waha się od 1,6% w czerwcu do 18,7% w styczniu. Zamieszczona w rozdziale 3.3 tabela 3.11 zawiera szczegółowe współczynniki efektywności BACS dla pomocniczej energii elektrycznej. Porównanie ze sobą współczynników dla klasy B oraz C dostarcza informacji, że według zapisów wspomnianej normy wskaźnik zużycia energii, przez sale biurowe, powinien być mniejszy o 13% w porównaniu do wskaźnika klasy C. W lutym, wyrażona w procentach wartość różnicy jest bardzo zbliżona do wspomnianej wartości, jednak w pozostałych przypadkach oraz w ujęciu rocznym, wskaźnik ten różni się znacząco. Zarejestrowane wyniki nie potwierdzają założenia normy, chociaż wskazują na trend obniżenia zużycia energii przez bardziej zaawansowany funkcjonalnie system automatyzacji.



Rys. 4.28 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 w przeliczeniu na $m^{-2} \cdot rok^{-1}$ – porównanie wariantów sterowania dla klas B i C

4.6. Wnioski dotyczące oddziaływania systemów automatyzacji na efektywność energetyczną budynków i instalacji

W ramach przeprowadzonego eksperymentu, zarejestrowano i opracowano wyniki badań, które poddano analizie, w celu sprawdzenia wpływu systemów automatyzacji na efektywność energetyczną budynków i ich instalacji technicznych. Wykorzystując dostępną infrastrukturę badawczą, zweryfikowano oddziaływanie systemów BACS dla pomieszczeń o różnych profilach ich użytkowania (pomieszczenie biurowe oraz sala lekcyjna). Dla czterech sześciomiesięcznych cykli pomiarowych zaproponowano a następnie zaimplementowano takie warianty sterowania infrastrukturą pomieszczeń, aby jak najlepiej odpowiadały założeniom poszczególnych klas sprawności BACS, zdefiniowanych w normie PN-EN 15232. Porównanie między sobą wskaźników zużycia energii całkowitej, ciepłej, elektrycznej dla potrzeb oświetlenia i pomocniczej energii elektrycznej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania, zostało przedstawione na rysunkach nr 4.29 i 4.30. Rysunki nr od 4.29.a do 4.29.d obrazują zużycie energii w pomieszczeniach nr 1 i 2 laboratorium AutBudNet – profil użytkowania odpowiadał pomieszczeniom biurowym. Natomiast rysunki nr od 4.30.a do 4.30.d dostarczają informacji o zużyciu energii w pomieszczeniu nr 3, którego profil użytkowania odpowiadał sali lekcyjnej.

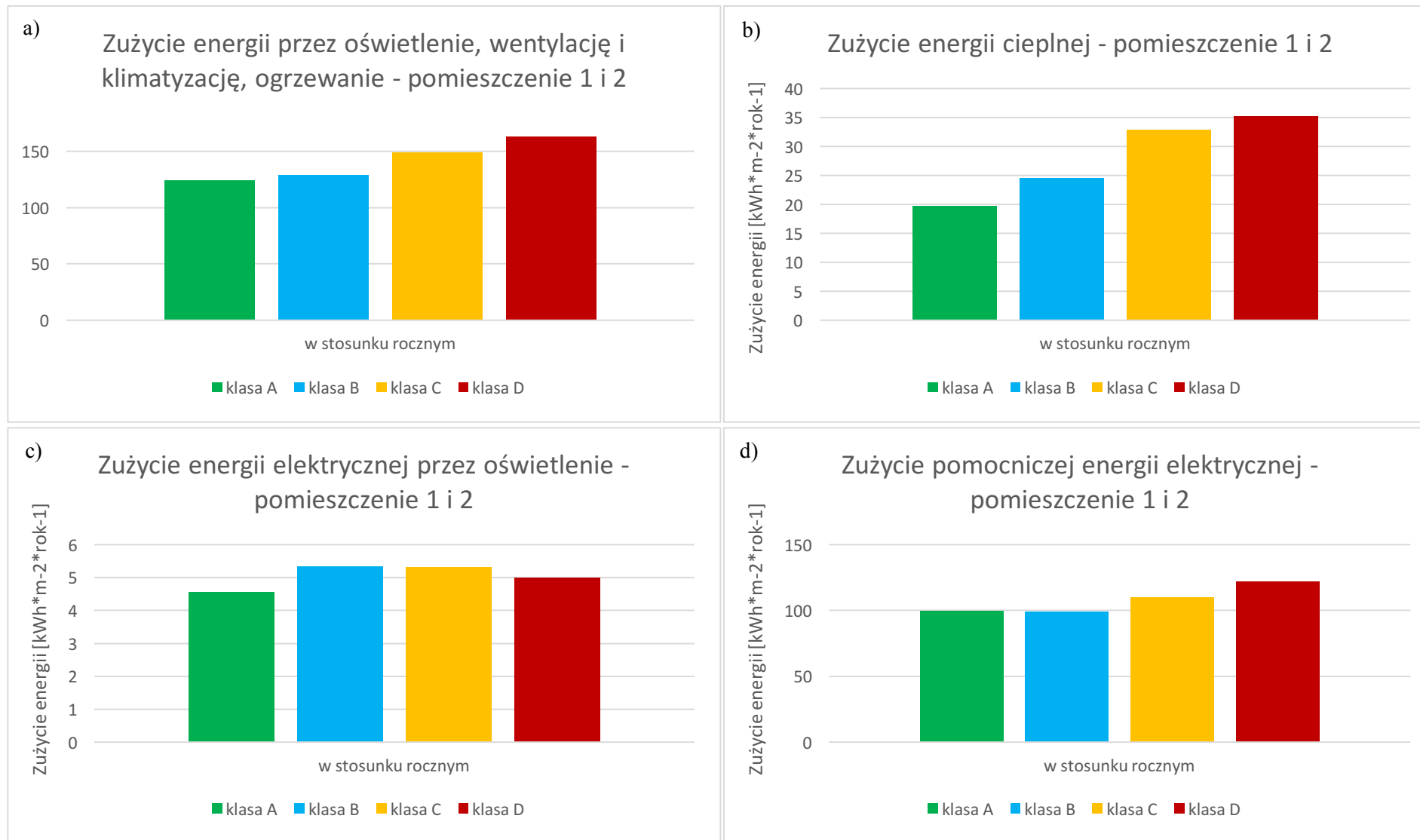
Rysunek nr 4.29.a przedstawia wykres wartości wskaźników zużycia energii całkowitej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniach nr 1 i 2. Zauważalny jest trend zmian wartości wskaźnika - dla klasy D ma on największą wartość, a dla każdej kolejnej coraz mniejszą. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, czyli pomieszczenia bez systemu automatyzacji wpływającego na efektywność energetyczną otrzymano, że wartość wskaźnika dla klasy C jest mniejsza o 8,6%, wskaźnika dla klasy B jest mniejsza o 20,7%, a wskaźnika dla klasy A jest mniejsza o 23,5%, w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione na wykresie wyniki, potwierdzają, że im bardziej zaawansowany i zintegrowany jest system automatyzacji budynku, tym większy jest jego wpływ na poprawę efektywności energetycznej.

Wykres z rysunku nr 4.29.b zawiera wartości wskaźników zużycia energii ciepłej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniach nr 1 i 2. Dostrzec można trend, zmniejszania się tego wskaźnika, począwszy od największej wartości dla klasy D, skończywszy na najmniejszej dla klasy A.. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, czyli pomieszczenia bez systemu automatyzacji otrzymano, że wartość wskaźnika dla klasy C jest mniejsza o 6,3%, wskaźnika dla klasy B jest mniejsza o 30,3%, a wskaźnika dla klasy A jest mniejsza o 44,1%, w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione wyniki obrazujące zużycie energii ciepłej, potwierdzają, że im bardziej zaawansowany i zintegrowany jest system automatyzacji budynku, tym większy jest jego wpływ na poprawę efektywności energetycznej. Porównując wskaźniki zużycia energii można zauważyć, że zaawansowane systemy (wariant sterowania odpowiadający klasie B sprawności BACS) oraz systemy automatyzacji o dużej efektywności energetycznej (wariant sterowania odpowiadający klasie A sprawności BACS) umożliwiają większą redukcję zużycia energii ciepłej niż energii całkowitej.

Rysunek nr 4.29.c to wykres zawierający wartości wskaźników zużycia energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniach

nr 1 i 2. Z wykresu można odczytać, że największą wartość przyjął wskaźnik dla klasy B, następnie kolejno dla klasy C, D i A. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, czyli pomieszczenia bez systemu automatyzacji wpływającego na efektywność energetyczną otrzymano wyniki, że wskaźnik dla klasy C jest większy o 6%, wskaźnik dla klasy B jest większy o 6,2%, a wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 9,1%, w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione na tym wykresie wyniki, nie potwierdzają zaobserwowanego w przypadku energii całkowitej oraz cieplnej trendu, gdzie im bardziej zaawansowany i zintegrowany jest system automatyzacji budynku, tym większy jest jego wpływ na poprawę efektywności energetycznej. Niemniej jednak system automatyzacji zrealizowany zgodnie z wariantem sterowania odpowiadającym klasie A sprawności BACS, cechował się najmniejszą wartością wskaźnika zużycia energii elektrycznej do potrzeb oświetlenia pomieszczeń. Zaobserwowane zwiększenie wartości wskaźnika dla systemów automatyzacji bardziej zaawansowanych funkcjonalnie, niż zrealizowany system zgodnie z wariantem sterowania odpowiadającym klasie D, można wytłumaczyć rolą użytkowników pomieszczeń i tzw. czynnikiem ludzkim. W przypadku manualnego sterowania oświetleniem, użytkownicy rzadziej zdecydowali się załączać oświetlenie niż miało to miejsce w przypadku zautomatyzowania tej czynności.

Wykres zamieszczony na rysunku nr 4.29.d pokazuje wartości wskaźników zużycia pomocniczej energii elektrycznej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniach nr 1 i 2. Na wykresie widać, że największą wartość przyjął wskaźnik dla klasy D, następnie kolejno dla klasy C, A i B. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, czyli pomieszczenia bez systemu automatyzacji wpływającego na efektywność energetyczną otrzymano wyniki, że wskaźnik dla klasy C jest mniejszy o 9,9%, wskaźnik dla klasy B jest mniejszy o 19%, a wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 18,2% w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione wyniki zużycia pomocniczej energii elektrycznej, częściowo potwierdzają zaobserwowany w przypadku energii całkowitej oraz cieplnej trendu, że im bardziej zaawansowany i zintegrowany jest system automatyzacji budynku, tym większy jest jego wpływ na poprawę efektywności energetycznej. Wyjątkiem jest mniejsza wartość wskaźnika zużycia energii dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie B sprawności BACS. Wytłumaczeniem takiego stanu jest fakt, że podczas realizacji wariantu sterowania odpowiadającego klasie A przyjęto mniejszą wartość punktu nastawy temperatury w pomieszczeniu, co potwierdza analiza zarejestrowanych temperatur w pomieszczeniach w obu cyklach pomiarowych. To z kolei spowodowało większe zużycie energii przez system wentylacji i klimatyzacji na potrzeby chłodzenia. Różnicę w zużyciu tej formy energii na wspomniany cel dokładniej przedstawiają wykresy zawierające wyniki pomiarów bezwzględnego zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 (kołowy z okresu 6 miesięcy) dla obu wariantów sterowania (klasy B i A) zamieszczone na rysunkach nr 4.19.c i 4.20.c.



Rys. 4.29 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 1 i 2 w przeliczeniu na m²*rok⁻¹ - porównanie wariantów sterowania dla klas A, B, C i D

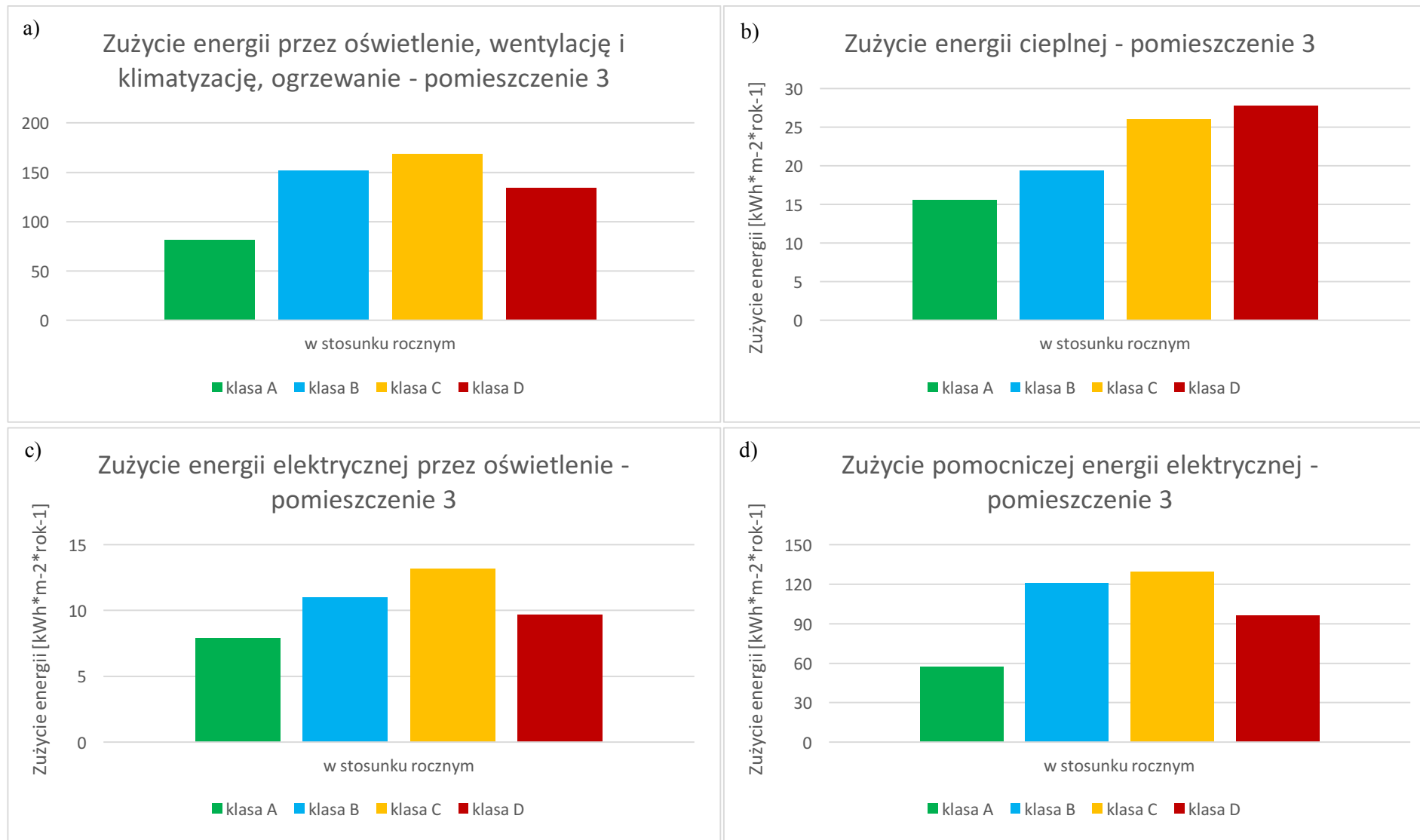
Rysunek nr 4.30.a przedstawia wykres zawierający wartości wskaźników zużycia energii całkowitej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniu nr 3. Z wykresu można odczytać, że największą wartość przyjął wskaźnik dla klasy C, następnie kolejno dla klasy B, D i A. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, czyli pomieszczenia bez systemu automatyzacji wpływającego na efektywność energetyczną otrzymano wyniki, że wskaźnik dla klasy C jest większy o 25,9%, wskaźnik dla klasy B jest większy o 13,3%, a wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 39,5% w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione na wspomnianym wykresie wyniki, oprócz wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, potwierdzają założenie, że im bardziej zaawansowany i zintegrowany jest system automatyzacji budynku, tym większy jest jego wpływ na poprawę efektywności energetycznej. Ze względu na specyfikę pracy Uczelni, w sierpniu oraz we wrześniu było ono praktycznie nie wykorzystywane, a zarejestrowane zużycie energii praktycznie zerowe. Gdyby nie uwzględniać wspomnianych miesięcy, to wskaźnik życia dla klasy D przyjąłby największą wartość, wynoszącą $200,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, przedstawiając w ten sam sposób wskaźnik zużycia dla klasy A w dalszym ciągu przyjąłby najmniejszą wartość, wynoszącą $121,1 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Przyjmując założenie przedstawiania i porównywania ze sobą wskaźników zużycia, tylko w miesiącach, których doszło do konsumpcji energii, wspomniany trend o wpływie na poprawę efektywności energetycznej bardziej zaawansowanych i zintegrowanych systemów automatyzacji budynku, zostałyby zachowane.

Wykres na rysunku nr 4.30.b zawiera wykres wartości wskaźników zużycia energii cieplnej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniu nr 3. Widoczny jest trend zmian wartości wskaźnika, który dla klasy D posiada największą wartość, a dla każdej kolejnej coraz mniejszą. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, otrzymano, że wskaźnik dla klasy C jest mniejszy o 6,4%, wskaźnik dla klasy B jest mniejszy o 30,4%, a wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 44% w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione wyniki dla zużycia energii cieplnej, potwierdzają, że im bardziej zaawansowany i zintegrowany jest system automatyzacji budynku, tym większy jest jego wpływ na poprawę efektywności energetycznej. Porównując wskaźniki zużycia energii można zauważyć, że zaawansowane systemy oraz systemy automatyzacji o dużej efektywności energetycznej umożliwiają większą redukcję zużycia energii cieplnej niż energii całkowitej. Dodatkowo na uwagę zasługuje fakt, że w przypadku pomieszczeń nr 1 i 2 jak i w dla pomieszczenia nr 3, różniących się profilem użytkowania, wartości różnicy wskaźników zużycia wyrażone w procentach są bardzo zbliżone do siebie.

Z kolei rysunek nr 4.30.c przedstawia wykres wartości wskaźników zużycia energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniu nr 3. Największą wartość przyjął wskaźnik dla klasy C, następnie kolejno dla klasy B, D i A. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, otrzymano, że wartość wskaźnika dla klasy C jest większa o 35,6%, wskaźnika dla klasy B jest większa o 13,2%, a wskaźnika dla klasy A jest mniejsza o 18,3% w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione wyniki dla zużycia energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia, kształtem zbliżone są do wyników dla energii całkowitej, w pomieszczeniu nr 3. Podobnie jak wspomniano w opisie wyników dla energii całkowitej, również w tym przypadku doszło do praktycznie zerowej rejestracji zużycia energii przez okres ponad dwóch i pół miesiąca. Stan ten miał miejsce zwłaszcza dla wariantu sterowania

odpowiadającego klasie D, w przypadku klasy A okres ten był krótszy i wynosił około półtora miesiąca, a dla klas B i C był to jedynie trzytygodniowym okresem przerwy międzysemestralnej.

Rysunek nr 4.30.d przedstawia wykres wartości wskaźników zużycia pomocniczej energii elektrycznej dla wszystkich zrealizowanych wariantów sterowania w pomieszczeniach nr 3. Tu z kolei największą wartość przyjął wskaźnik dla klasy C, następnie kolejno dla klasy B, D i A. Przyjmując jako punkt odniesienia stan pomieszczeń dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie D, czyli pomieszczenia bez systemu automatyzacji wpływającego na efektywność energetyczną otrzymano, że wskaźnik dla klasy C jest większy o 34,2%, wskaźnik dla klasy B jest większy o 26%, a wskaźnik dla klasy A jest mniejszy o 40,3% w porównaniu do wskaźnik dla klasy D. Przedstawione wyniki obrazujące zużycie pomocniczej energii elektrycznej, kształtem zbliżone są do wyników dla energii całkowitej oraz dla energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia, w pomieszczeniu nr 3. Podobnie jak wspomniano w opisie wyników dla energii całkowitej, również w tym przypadku doszło do praktycznie zerowej rejestracji zużycia energii przez okres ponad dwóch i pół miesiąca dla wariantu sterowania odpowiadającego klasie A i D. Przyjmując założenie przedstawiania i porównywania ze sobą wskaźników zużycia, tylko w miesiącach, których doszło do konsumpcji energii, wspomniany trend o wpływie na poprawę efektywności energetycznej bardziej zaawansowanych i zintegrowanych systemów automatyzacji budynku, zostałyby zachowany.



Rys. 4.30 Wyniki pomiarów zużycia energii w pomieszczeniu 3 w przeliczeniu na $m^2 \cdot rok^{-1}$ - porównanie wariantów sterowania dla klas A, B, C i

W tabelach 4.6 i 4.7 zaprezentowano zestawienie uzyskanych wyników zużycia energii w odniesieniu do wartości wynikających z założeń normy PN-EN 15232. W obu tabelach zamieszczono rezultaty zużycia dla energii: ciepłej, elektrycznej dla potrzeb oświetlenia oraz pomocniczej energii elektrycznej, dla pomieszczeń nr 1 i 2 oraz nr 3 laboratorium AutBudNet. W prezentacji wyników nie przyjęto wspomnianego założenia o przedstawianiu i porównywaniu ze sobą wskaźników zużycia, tylko w miesiącach, w których doszło do konsumpcji energii. W tabeli 4.6 przedstawiono wyniki dla wariantów sterowania odpowiadających klasom D i A, z kolei w tabeli 4.7 klasom C i B.

Tabela 4.6 Zestawienie uzyskanych wyników dla klas D i A

	D	A	D _{PN-EN15232}	A _{PN-EN15232}
	energia ciepła			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	55,9%	100%	48,6%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	55,8%	100%	67%
	energia elektryczna dla oświetlenia			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	90,9%	100%	65,5%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	81,7%	100%	66%
	pomocnicza energia elektryczna			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	81,8%	100%	62,6%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	59,7%	100%	66%

Tabela 4.7 Zestawienie uzyskanych wyników dla klas C i B

	C	B	C _{PN-EN15232}	B _{PN-EN15232}
	energia ciepła			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	74,4%	100%	79%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	74,5%	100%	88%
	energia elektryczna dla oświetlenia			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	83,5%	100%	85%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	100,3%	100%	88%
	pomocnicza energia elektryczna			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	89,8%	100%	86%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	93,7%	100%	87%

Z zamieszczonych w tabelach 4.6 i 4.7 informacji, można łatwo zaobserwować, spodziewany trend wskazujący, że wraz z zastosowaniem bardziej zaawansowanego i zintegrowanego wariantu sterowania w systemie automatyzacji budynku, wzrasta jego wpływ na zmniejszenie zużycia energii i poprawę efektywności energetycznej. Jednak porównując uzyskane wyniki do współczynników określonych w normie PN-EN 15232:2012, dostrzegalny jest również brak zbieżności z założeniami normy przy zmianie wariantów sterowania.

Jak można zauważyć, analiza przedstawionych przypadków dowodzi o braku arbitralności wskazań normy PN-EN 15232:2012. Niemniej jednak zdaniem autora, informacje w niej zawarte oraz dostarczone narzędzia szacowania wpływu BACS na efektywność energetyczną budynków, mogą być bardzo przydatne dla projektantów, integratorów, właścicieli i zarządców oraz użytkowników budynków.

5. Organizacja systemu automatyzacji zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych

Instalacje oświetlenia przestrzeni publicznych (SL²¹), w szczególności dróg i ulic, są bardzo istotnym elementem infrastruktury szlaków komunikacyjnych i otoczenia budynków. Zapewniają one komfort użytkowania tych przestrzeni w nocy i przy ograniczonym dostępie światła dziennego, przyczyniając się również do wzrostu poziomu bezpieczeństwa osób, pojazdów itp. Wyniki badań i opracowań wskazują, że za ok. 40% ogólnego zużycia energii elektrycznej w miastach i gminach, odpowiadają instalacje SL [49]–[51]. Konsumpcja ta przekłada się na oddziaływanie wspomnianego sektora na środowisko naturalne oraz kwestię emisji gazów cieplarnianych, w szczególności CO₂ [52], [53]. Aspekty te skłaniają do poszukiwania rozwiązań technicznych, pozwalających na redukcję wydatków związanych z obsługą i utrzymaniem instalacji SL oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń, przy zachowaniu, a najlepiej podniesieniu komfortu i bezpieczeństwa, wynikających z ich użytkowania. Wśród nowoczesnych rozwiązań technicznych możliwych do wykorzystania w tym obszarze, można wyróżnić technologie związane z wdrożeniami innowacyjnych źródeł światła (np. LED, świetlówki energooszczędne, lampy indukcyjne) oraz dotyczące inteligentnego sterowania instalacjami SL, z wykorzystaniem różnego typu sieci automatyki, transmisji danych i teleinformatycznych. Na świecie i w Polsce, wdrażane są sterowane i zdalnie monitorowane instalacje SL, zarówno w formie już w pełni kompleksowych i komercyjnych rozwiązań technicznych i systemowych, jak i instalacji pilotażowych [54]. Takie systemy sterowania oraz zarządzania infrastrukturą miejską i publiczną, poddane odpowiedniej integracji, w celu zbudowania jednolitych sieci wymiany danych i informacji, monitoringu i sterowania, mogą stać się podstawą do budowy tzw. systemów Smart Cities. Elementy i narzędzia z nimi związane, umożliwiają sprawne zarządzanie mediami i energią, przede wszystkim w dużych systemach aglomeracji miejskich, optymalne zrównoważenie systemów energetycznych w poszczególnych krajach, ale również np. w całej Europie, wraz z implementacją idei zarządzania popytem (DR²²) i obsługi odbiorców-producentów energii (prosumenci) [55]–[57].

Prowadzone obecnie badania i testy instalacji SL, w większości ukierunkowane są na ich porównanie z dotychczas stosowanymi rozwiązaniami technicznymi, głównie w zakresie jakości i komfortu użytkowania oraz uzyskiwanych poziomów oszczędności energii, a tym samym poprawy efektywności energetycznej i redukcji wspomnianych już wcześniej kosztów eksploatacyjnych oraz emisji gazów cieplarnianych. Inny obszar badań naukowych dotyczy poszukiwania i opracowania algorytmów sterowania oświetleniem, dopasowanych do przestrzeni publicznych o różnej specyfice (drogi, place, alejki i chodniki dla pieszych, powierzchnie w otoczeniu zakładów przemysłowych, magazynów, hal produkcyjnych itp.). W ich wyniku powstają różne profile czasowe działania oświetlenia, prowadzące do uzyskania

²¹ SL - ang. Street Lighting

²² DR – ang. Demand Response

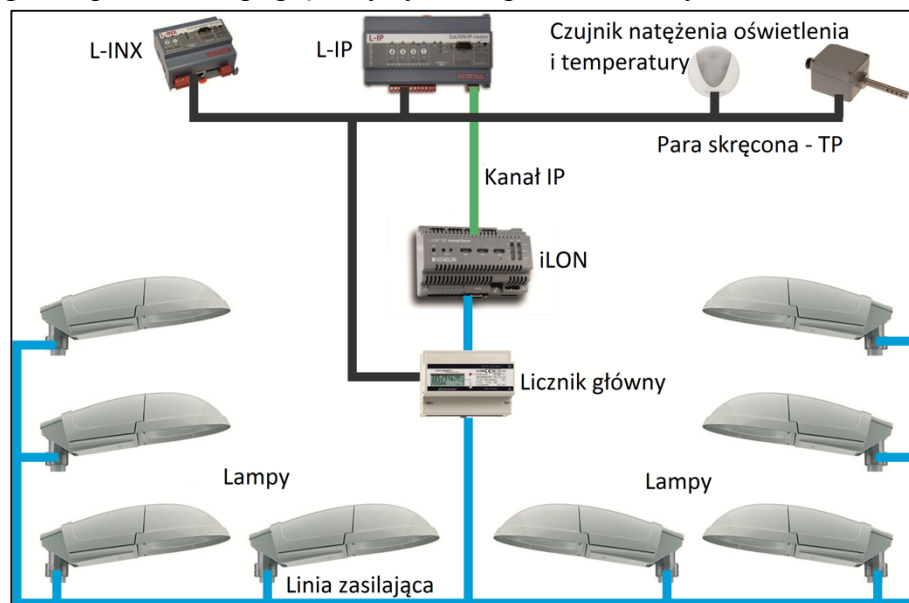
dotychczasowych oszczędności energii elektrycznej oraz zwiększenie żywotności źródeł światła [51], [58]. W instalacjach bardziej zaawansowanych funkcjonalnie, integrowane są różnego typu czujniki i elementy innych podsystemów infrastruktury instalowanej w przestrzeniach publicznych. Należą do nich na przykład: stacje pogodowe, czujniki ruchu/obecności, czujniki intensywności światła, elementy sieci bezprzewodowych i komórkowych itp. Pozyskanie informacji z takich urządzeń, już na poziomie obiektywnym, pozwala na rozbudowanie algorytmów sterowania pojedynczymi lampami i grupami lamp [59], [60]. Jedną z propozycji w ramach takich badań jest oświetlenie adaptacyjne. Zapewnić ma ono bezpieczeństwo ruchu pojazdów i osób w obrębie ulic, przy jednoczesnym maksymalnym ograniczeniu zużycia energii i kosztów eksploatacyjnych instalacji SL. Stąd konieczność ciągłego dopasowywania ich parametrów pracy do zmieniających się warunków otoczenia. Wynikają one ze zmian intensywności światła dziennego, zmiennego nasilenia ruchu ulicznego, zmian warunków meteorologicznych oraz możliwych sytuacji nadzwyczajnych, niecodziennych. Sprostanie tym wymogom możliwe jest tylko w oparciu o integrację wielu elementów systemowych oraz opracowanie dla nich odpowiednich algorytmów, uwzględniających dynamikę zmian wspomnianych czynników i parametrów.

Dlatego właśnie, zdaniem autora, w tego typu instalacjach warto rozważyć możliwość zastosowania rozwiązań technicznych bazujących na standardach wykorzystywanych w rozproszonych sieciach sterowania, w szczególności w organizacji BACS i BMS. Umożliwiają one indywidualne bądź grupowe sterowanie załączaniem i wyłączaniem lamp, wprowadzenie prostych i zaawansowanych algorytmów sterowania, ukierunkowanych na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i redukcję CO₂ oraz monitorowanie, zarządzanie i diagnozowanie lamp [59]. Funkcjonalności te, w połączeniu ze zdalną obsługą i akwizycją danych, znacznie ułatwiają prowadzenie efektywnego serwisowania lamp w trakcie ich eksploatacji, z możliwością działania prewencyjnego, jeszcze przed ewentualnym uszkodzeniem lub awaryjnym wyłączeniem lamp, co również ma istotne znaczenie finansowe. Szacuje się bowiem, iż obecnie średnia żywotność lamp oświetleniowych to ok. 12 000 godzin lub 3,5 roku. Stąd bardzo istotnym elementem jest właściwa i szybka identyfikacja uszkodzonych lamp oraz ich wymiana. Według opracowań branżowych przykładowo, w mieście liczącym 100 000 ludzi (przy założeniu, że jedna lampka przypada średnio na sześciu mieszkańców – a zatem w mieście zainstalowanych jest 16 700 lamp oświetlenia przestrzeni publicznych), na zakup lamp nowych, do wymiany, trzeba przewidzieć około 100 000 dolarów rocznie (bez kosztów instalacyjnych). Te z kolei, w zależności od kraju i wybranych firm usługodawczych, szacuje się średnio na poziomie ok. 250 dolarów za jedną godzinę pracy ludzi i maszyn [59].

W niniejszej pracy zaproponowano i zbadano nowe podejście do organizacji instalacji i formułowania wariantów i strategii sterowania systemów SL, bazujące na wytycznych normy PN-EN 15232 oraz klasach efektywności BACS. Dodatkowo poddano analizie wpływ wariantów sterowania na zużycie energii elektrycznej takich instalacji. Podjęte i opisane przez autora prace badawcze pozwalają na postawienie następującej hipotezy: Istnieje możliwość wykorzystania sieciowych, rozproszonych systemów automatyzacji i sterowania do zarządzania instalacjami oświetlenia przestrzeni publicznych oraz poprawy ich efektywności energetycznej. Hipoteza ta stanowi rozszerzenie tezy niniejszej pracy, w obszarze instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych.

5.1. *Pomiary parametrów eksploatacyjnych i badania możliwości funkcjonalnych systemu sterowania w instalacji pilotażowej oświetlenia przestrzeni publicznej*

W ramach prowadzonych, z udziałem autora, prac badawczych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie powstała testowa instalacja SL, zrealizowana na jednym z parkingów Uczelni. Oprócz standardowej funkcjonalności, związanej z oświetleniem konkretnej przestrzeni, stanowi ona również obiekt intensywnych prac badawczych w zakresie sterowania i monitoringu lamp. Schemat poglądowy systemu pokazano na rysunku nr 5.1.

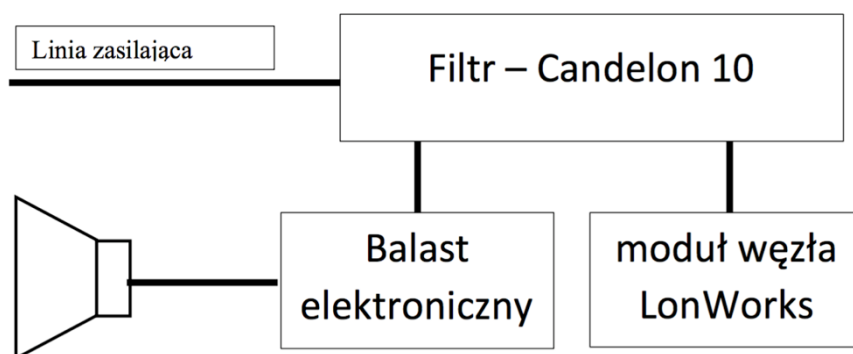


Rys. 5.1 – Schemat poglądowy testowej instalacji systemu SL AGH

Instalacja ta składa się z ośmiu opraw oświetlenia drogowego, wyposażonych w wysokoprężne żarówki sodowe o mocy 70W. W każdej z opraw zamontowano elektronicznie regulowanym balast (SELC 2000) z filtrem (Candelon 10) irlandzkiej firmy SELC. Elementy te zapewniają optymalną pracę lampy przez cały okres eksploatacji, wydłużenie czasu użytkowania lampy, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przy zapewnieniu identycznego poziomu energii świetlnej, w porównaniu do tradycyjnych stateczników, eliminację efektu czernienia/ciemnienia jarznika oraz możliwość łatwego podłączenia dedykowanego bardzo dokładnego czujnika natężenia oświetlenia otoczenia [61]–[64]. Dodatkowo w każdej z lamp został zamontowany moduł Candelon 100, który jest zewnętrznym sterownikiem lamp (OLC²³). Wyposażony jest on w procesor Neuron Chip z serii 31xx z transceiverem PL, który powoduje, że oprawa stanowi autonomiczny węzeł rozproszonej sieci sterowania standardu LonWorks [53], [57], [64]–[66]. Odpowiada on za dwukierunkową komunikację z zewnętrznym systemem - dane przesyłane są do i z układu elektronicznego balastu. Medium transmisji danych, w przypadku opisywanej instalacji, jest istniejąca sieć zasilająca poszczególne lampy – komunikacja Power Line (PLC), dzięki czemu ograniczono dodatkowe

²³ OLC – ang. Outdoor Lighting Controller

koszty infrastrukturalne instalacji. Schemat połączeń modułów w lampie przedstawiono na rysunku nr 5.2.



Rys. 5.2 – Schemat połączeń modułów zamontowanych w oprawach lamp systemu SL AGH

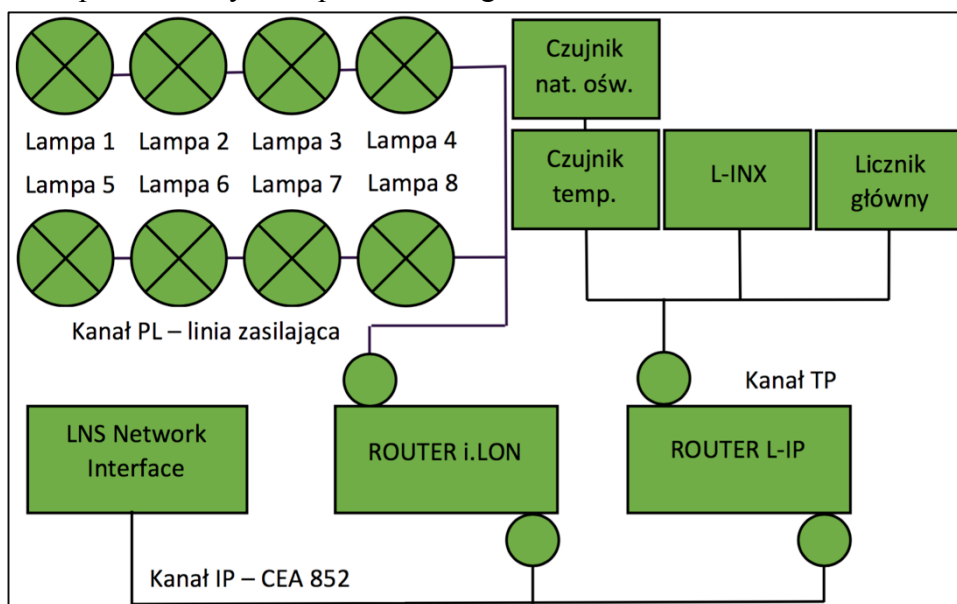
Oprawy wyposażone w wymienione urządzenia, wykorzystując zalety i możliwości jakie oferuje technologia LonWorks, pozwalają na: zdalne monitorowanie i sterowanie wartości obciążenia lampy (załącz/wyłącz oraz ustawienie poziomu intensywności strumienia światła), informowanie o: ilości godzin pracy, o zużyciu energii elektrycznej, temperaturze balastu, wartości napięcia zasilającego i napięcia na stykach samego źródła światła, ustawienie progów alarmów np. dla zbyt niskiej lub wysokiej wartości napięcia zasilającego i oczywiście poinformowanie użytkownika i/lub serwisu o ich przekroczeniu. Każdy z wymienionych parametrów może zostać przekazany do systemu BMS oraz BACS.

W skład systemu sterowania lampami wchodzi również moduł serwera internetowego i.LON firmy Echelon. Pełni on przede wszystkim funkcję interfejsu dla standardu LonWorks pomiędzy wspomnianym medium transmisji PLC, a siecią IP np. Internetem. Na tym poziomie realizowane jest zjawisko tunelowania komunikatów protokołu LonTalk w ramach protokołu IP. Oprócz opisanej funkcji routera, moduł i.LON posiada też wbudowany serwer sieciowy (Web Server), umożliwiający wygodną konfigurację urządzenia i parametrów pracy sieci, wraz z dodatkowymi funkcjami jak: harmonogramowanie, alarmowanie oraz akwizycja danych. W opcjach łączności w module zaimplementowano ponadto modem telefoniczny lub obsługę GSM/GPRS oraz interfejsy pozwalające na dostęp do urządzeń z sieci lokalnej, wirtualnej sieci prywatnej (VPN) lub Internetu, wraz z autentykacją użytkowników, tak aby tylko autoryzowani użytkownicy mieli dostęp do sieci sterowania [67].

Kolejnym z elementów systemu jest router L-IP firmy Loytec, którego rolą jest odbieranie lub nadawanie pakietów danych do routera i.LON, za pośrednictwem sieci IP i technologii IP-852 oraz umożliwienie połączenia z częścią systemu zrealizowaną za pomocą medium transmisji para skręcona (TP) [68]. Dzięki temu system sterowania lamp może być zintegrowany z urządzeniami klasycznej automatyki budynkowej w obiekcie budowlanym, obsługującymi np. oświetlenie wewnątrz budynku, ogrzewanie, klimatyzację itp. W przypadku omawianej instalacji, w ten sposób włączono jeden z czujników poziomu światła dziennego. Router L-IP i część infrastruktury systemowej umieszczona jest we wspomnianym w ramach pracy Laboratorium AutBudNet [69]. System wyposażony został w czujnik natężenia oświetlenia oraz czujnik temperatury – sensory na bieżąco dostarczają wszystkim urządzeniom pracującym w technologii LonWorks informacji na temat aktualnego poziomu natężenia oświetlenia zewnętrznego lub wartości temperatury zewnętrznej.

Schemat połączeń sieciowych opisanych wcześniej modułów automatyki i monitoringu wraz

z kanałami transmisji danych, pokazano na rysunku nr 5.3, w widoku projektu systemu sterowania lampami ulicznymi w pakiecie integratorskim LonMaker.

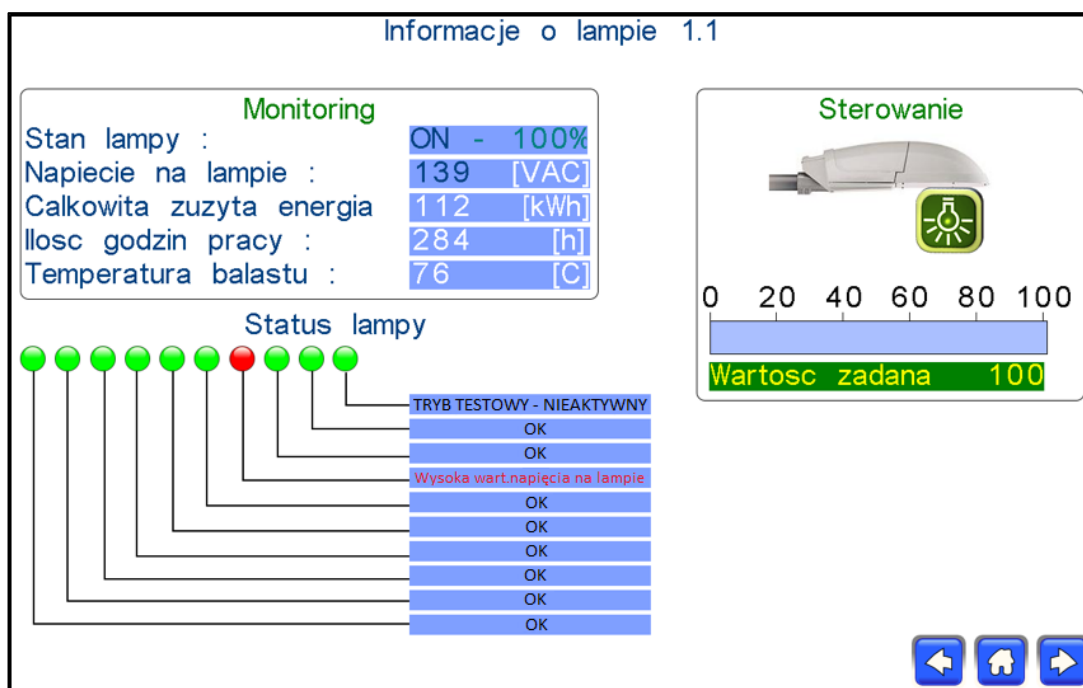


Rys. 5.3 – Projekt systemu SL AGH w pakiecie LonMaker, z widocznymi węzłami sieci i kanałami transmisji danych – różne media komunikacyjne

Dodatkowo w skład systemu sterowania wchodzi serwer automatyki L-INOX oraz panel dotykowy L-VIS; oba moduły produkcji firmy Loytec. Serwery automatyki wykorzystywane są do tworzenia sieci sterowania i zarządzania obiektami oraz budynkami o dowolnej wielkości. Oferują one szeroką gamę funkcji, które można łączyć w dowolnej kolejności, a obsługa standardowych protokołów komunikacyjnych (LonWorks, OPC, M-Bus, ModBus) sprawia, że są modułami uniwersalnymi do stosowania w otwartych systemach zarządzania budynkiem. Spośród wielu oferowanych przez serwer L-INOX funkcjonalności, w systemie SL AGH wykorzystano przede wszystkim te, umożliwiające opracowanie elementów wizualizacji stanu pracy testowej instalacji. Warto podkreślić, iż uruchomienie wizualizacji nie wymaga zakupu żadnych, zwykle drogich licencji i jest możliwe za pomocą standardowej przeglądarki internetowej, z dowolnego miejsca z dostępem do sieci Internet. Uruchomienie wszystkich paneli i opcji wizualizacji, wymaga odpowiedniej autoryzacji i może być szyfrowane. Rolą panelu dotykowego jest obsługa wizualizacji instalacji SL AGH [70], [71].

Wizualizacja systemu zrealizowana również na panelu L-VIS pozwala na zarządzanie i monitorowanie stanu pracy całej instalacji oraz każdej z lamp oddzielnie, co przedstawia rysunek nr 5.4. Monitoring stanu pracy dostarcza informacji o załączeniu i wyłączeniu lampy (ON, OFF), poziomie intensywności oświetlenia (LOW-40%, MEDIUM-60%, HIGH-80%), napięciu na stykach źródła światła zamontowanego w oprawie, całkowitej zużytej energii elektrycznej, ilości godzin pracy, temperaturze balastu oraz tzw. statusie lampy (alarmy). Wizualizacja posiada ponadto funkcje raportowania o błędach lub zagrożeniach, które mogą się pojawić podczas pracy systemu. Na rysunku nr 5.4 została przedstawiona sytuacja, w której napięcie panujące na źródle światła, podczas ustawienia maksymalnej wartości obciążenia, wynosi 139V AC. Jest to wartość zbyt duża, z reguły świadcząca o zbliżeniu się do końca czasu eksploatacji wysokoprężnej lampy sodowej. System informuje użytkownika o tym fakcie nie tylko poprzez zmianę koloru odpowiedniej ikony (na rysunku - czerwony), ale również wysyłając wiadomość e-mail do obsługi, z informacją o konieczności podjęcia odpowiednich

działań. Funkcja ta eliminuje konieczność wykonywania dodatkowych, okresowych patroli oraz ogranicza liczbę telefonów od osób zgłaszających problem z daną lampą. Dodatkowo serwer automatyki przechowuje w swojej nieulotnej pamięci wszystkie dane wykorzystywane w systemie, przykładowo informacje pochodzące z czujnika natężenia oświetlenia.

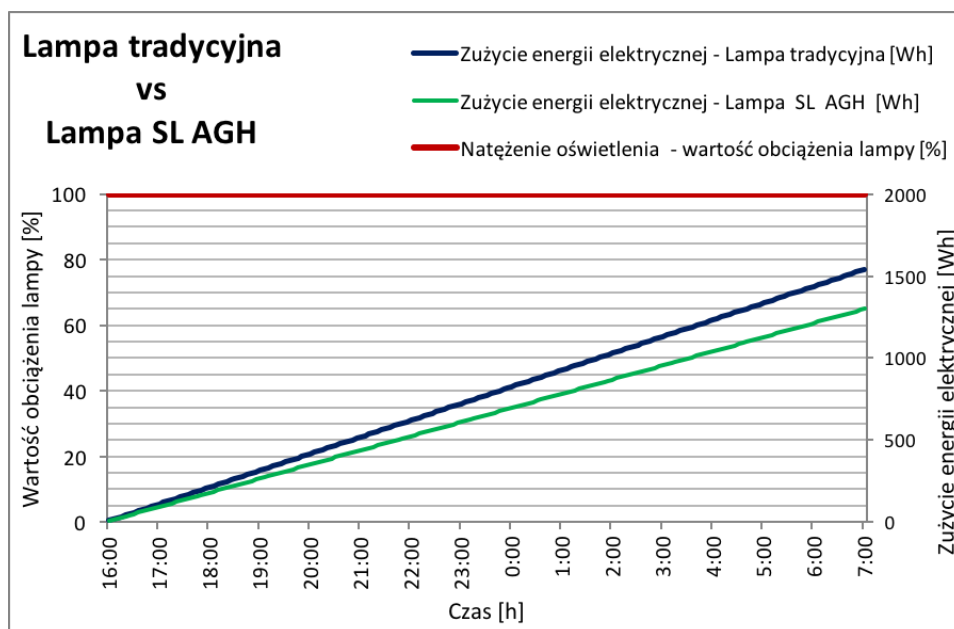


Rys. 5.4 – Zrzut ekranu wizualizacji stanu pracy pojedynczej lampy

W opisywanej testowej instalacji SL AGH, w celu pomiaru całkowitej zużywanej energii elektrycznej, zamontowano licznik energii. Zainstalowano miernik zgodny z dyrektywą MID, cechujący się klasą dokładności B, co odpowiada klasie dokładności 1 wg norm IEC, dla energii czynnej. Miernik ten został wyprodukowany zgodnie z zapisami następujących norm: EN 50470-1, EN 50470-3 i EN 62053-23. Licznik energii U1281 firmy Gossen Metrawatt, rejestruje dane pomiarowe energii czynnej dla prądu przemiennego w układzie 1-fazowym, 2-przewodowym - pomiar bezpośredni do 65A. Jest on przeznaczony do uniwersalnych pomiarów i rozliczeń energii elektrycznej w gospodarstwach domowych, przemyśle i budynkach administracyjnych. Został on wyposażony w interfejs komunikacyjny ModBus – obsługiwany przez wspomniany moduł i.LON [72]. Jak już wspomniano, każda lampa - węzeł sieci LonWorks, posiada swój własny wbudowany licznik energii. Dane pomiarowe z każdej z lamp dostępne są jako zmienne sieciowe. Zostały one zebrane, zsumowane i porównane ze wskazaniami z głównego licznika energii. Odchylenia pomiarów były znikome i odpowiadają wartościom dla klasy dokładności B. W związku z tym, autor niniejszej pracy wykorzystał do obliczeń zużycia energii dla każdej z lamp wskazania głównego licznika energii.

Wykonane przez autora badania obiektu, jakim jest testowa instalacja SL AGH, miały na celu przede wszystkim analizę możliwości redukcji zużycia energii elektrycznej instalacji oświetlenia, przy wykorzystaniu środków technicznych i funkcjonalności rozproszonego standardu LON oraz określenie wpływu różnych algorytmów sterowania na efektywność energetyczną tej instalacji [51], [58], [73]. Badania instalacja SL AGH rozpoczęto od analizy i weryfikacji parametrów technicznych zbudowanej instalacji oświetleniowej. Jak już wspomniano, standardowo każda z opraw wyposażona została w wysokoprężne źródło sodowe

o mocy 70W oraz odpowiednie układy, w tym balast elektromagnetyczny BSN 70L427-ITS. Zużycie energii elektrycznej przez taką pojedynczą lampę w średnim dziennym cyklu, przy założeniu 15 godzin pracy, wynosiło 1,54 kWh. Zastąpienie układów producenta, opisywanymi wcześniej modułami elektronicznymi spowodowało, że zużycie energii elektrycznej w średnim dziennym cyklu wynosiło 1,3 kWh. Porównanie ich zużycia energii elektrycznej przedstawiono na rysunku nr 5.5. Okres zbierania danych wynosił 105 dni.



Rys. 5.5 – Zużycie energii elektrycznej lampy standardowej i z modułami Smart Balast

Należy podkreślić, że lampa oferowana przez producenta nie posiadała możliwości regulacji strumienia świetlnego, a tym samym redukcji zużycia energii elektrycznej w czasie pracy, dlatego podczas wykonywania pomiarów zadano maksymalne obciążenie lampy dla układu SELC 2000 [52], [73]–[75]. W ramach dalszych prac badawczych, przetestowano kilka sposobów organizacji systemów sterowania instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych. Ponieważ system sterowania bazuje na, wspomnianej wielokrotnie w tej pracy, technologii LON, zaproponowane warianty i strategie sterowania zostały opracowane w nawiązaniu do, wspomnianej we wcześniejszych rozdziałach pracy, koncepcji klas sprawności systemów automatyzacji i sterowania budynkiem, przedstawionej w normie PN-EN 15232 [76], [77]. Przyjmując pewne uproszczenie i odnosząc pojęcia opisane w normie do funkcji dostępnych w systemie sterowania instalacją SL zaproponowano cztery różne warianty sterowania:

- instalacja SL zbudowana ze standardowych lamp (np. balast elektromagnetyczny), nie oferująca żadnych możliwości sterowania (opcja załącz/wyłącz wszystkich lamp równocześnie), odpowiada klasie D.
- instalacja SL wykonana z lamp wyposażonych w układy elektroniczne powodujące obniżenie zużycia energii elektrycznej, przy zachowaniu parametrów świetlnych lamp standardowych, wydłużenie czasu eksploatacji lamp, bez zaawansowanych funkcji związanych z zadawaniem poziomu intensywności oświetlenia oraz technicznego zarządzania taką instalacją (opcja załącz/wyłącz dostępna jest niezależnie dla każdej z lamp), odpowiada klasie C.
- instalacja SL niezależnie od elementów i funkcji wymaganych dla strategii odpowiadającej

klasie C, posiadająca wybrane zaawansowane funkcje sterowania i technicznego zarządzania takie jak: automatyczne sterowanie z wykorzystaniem harmonogramów czasowych zaimplementowanych w sterowniku lub module serwera automatyki – w celu umożliwienia organizacji różnych scenariuszy pracy instalacji oświetlenia oraz redukcji zużycia energii elektrycznej (możliwe jest zrealizowanie sterowania grupowego lub indywidualnego lampami), odpowiada klasie B.

- instalacja SL niezależnie od elementów i funkcji wymaganych dla strategii odpowiadającej klasie B, posiadająca zaawansowane funkcje sterowania i technicznego zarządzania, odpowiada klasie A. Wariant ten, oprócz wspomnianych programów czasowych, bazując na czujnikach (np. czujniki natężenia oświetlenia itp.) gwarantuje dostosowanie instalacji do aktualnych lokalnych warunków pogodowych tak aby maksymalnie wykorzystać wpływ światła dziennego oraz zapewnia odpowiedni poziom natężenia oświetlenia lamp w zależności od zajętości danej strefy. Wspomniane czujniki powinny być elementami systemu automatyzacji i sterowania udostępniającymi aktualne informacje w postaci punktów danych dostępnych w całej sieci oraz zintegrowane z pozostałymi modułami sterującymi na poziomie obiektowym.

Dla wariantów sterowania odpowiadających klasom B i A, oprócz wspomnianych zaawansowanych funkcji automatyzacji i sterowania, powinny zostać zaimplementowane funkcje technicznego zarządzania instalacją oświetleniową takie jak: (i) wykrywanie uszkodzeń lamp i modułów sterujących wraz ze wsparciem ich naprawy, (ii) monitorowanie parametrów pracy instalacji (poziom napięcia, temperatura balastu, ilość godzin pracy itp.) wraz z wykrywaniem alarmów. Integracja instalacji oświetlenia w ramach BMS zapewnia synergię między różnymi aplikacjami, poprawę komfortu, bezpieczeństwa i oszczędności w zużyciu energii w instalacji oświetleniowej. Dodatkowo powinna zostać zapewniona możliwość do współdziałania systemu sterowania instalacją SL z systemem BACS, jeżeli jest to wymagane.

W celu weryfikacji zaimplementowanych wariantów sterowania odpowiadających klasom B i A, w niniejszej pracy postanowiono przetestować trzy strategie sterowania różniące się zastosowanymi w nich harmonogramami czasowymi i parametrami związanymi z poziomem intensywności oświetlenia. Podejście oparto na wynikach podobnych prac prowadzonych w innych ośrodkach [51], [58], [78], [79]. Urządzeniem nadzorującym pracę lamp w tych badaniach był moduł i.LON. To w nim zapisano harmonogramy czasowe regulujące poziom intensywności oświetlenia poszczególnych lamp. Każda z nich może zostać uruchomiona o wybranym czasie, z zadanymi, różniącymi się pomiędzy sobą, poziomami intensywności oświetlenia. Dodatkowo, w celu jak najdokładniejszego doboru czasu pracy, można wykorzystać wbudowaną we wspomniany moduł funkcję zegara astronomicznego. Zaproponowane warianty sterowania zostały zweryfikowane praktycznie i liczbowo. Warto zauważyć, że instalacja SL AGH odpowiada za oświetlenie wewnętrznego fragmentu przestrzeni parkingowej Uczelni, teoretycznie otwartej w godzinach od 6:00 do 22:00, jednak w praktyce można stwierdzić obecność użytkowników również poza tymi godzinami.

Celem pierwszej ze strategii sterowania (Scenariusz nr 1) było zapewnienie stosunkowo wysokiego komfortu oświetlenia przestrzeni parkingowej oraz poszukiwanie przedziałów czasu, w których możliwa jest ewentualna redukcja poziomu intensywności oświetlenia z założeniem, że niedopuszczalne jest wyłączenie lamp w okresie nocnym. Druga strategia sterowania (Scenariusz nr 2) to pewna modyfikacja pierwszej, gdzie na podstawie prowadzonych obserwacji wprowadzono inne poziomy intensywności oświetlenia dla danych

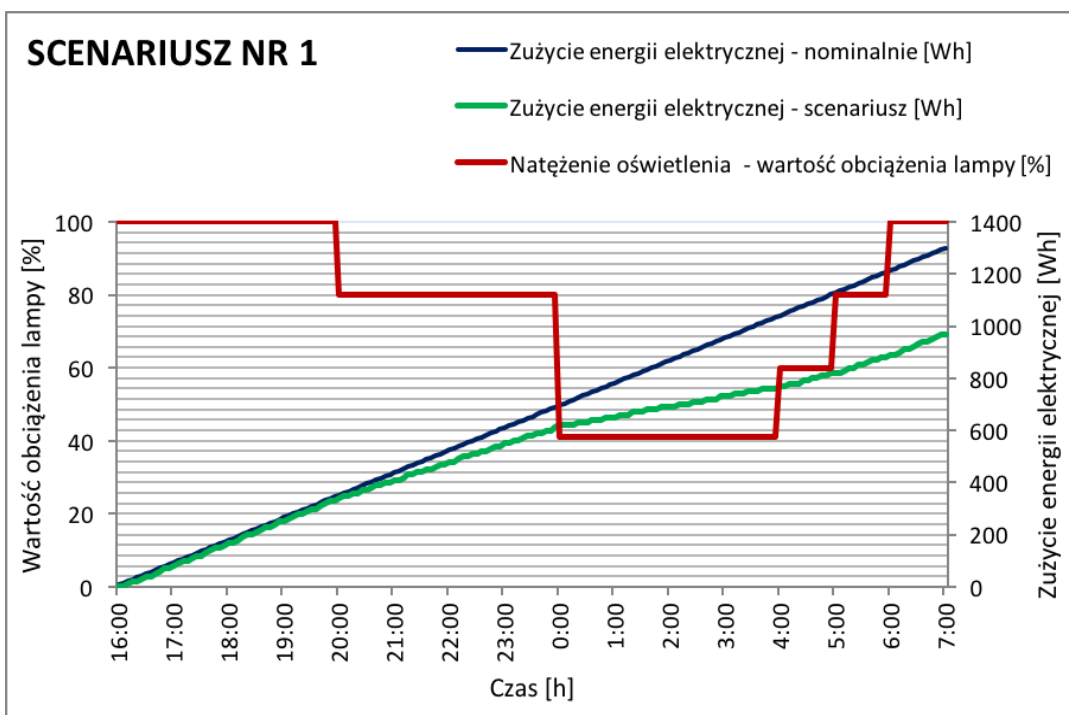
okresów czasu pracy lamp. Cel to zapewnienie poziomów intensywności światła bardziej dopasowanych do sposobu użytkowania powierzchni parkingowej, z założeniem, że niedopuszczalne jest wyłączenie lamp w okresie nocnym. Trzecia ze strategii sterowania (Scenariusz nr 3) powstała z kolei jako modyfikacja strategii drugiej. Zrealizowano w niej drobne zmiany w zadawanym poziomie intensywności oświetlenia oraz dopuszczono możliwość wyłączenia lamp, w okresie zidentyfikowanym jako czas braku użytkowania przestrzeni parkingu.

Opisane typy strategii sterowania zostały zaimplementowane z uwzględnieniem wspomnianych wariantów odpowiadających klasom sprawności B i A. Badanie różnych wariantów sterowania w ramach tych samych strategii, pozwala na analizę ich wpływu na zużycie energii. Jak również na ich porównanie z wariantami odpowiadającymi klasom C i D. Wyniki obserwacji i pomiarów zużycia energii w instalacji SL AGH dla każdej ze strategii, zaprezentowano w formie wykresów, przedstawionych na rysunkach nr. 5.6 – 5.11. Na każdym z nich linia ciągła koloru czerwonego obrazuje zmiany poziomu intensywności oświetlenia, jako wartości obciążenia lamp w %. Linia ciągła koloru zielonego przedstawia zużycie energii elektrycznej lamp w danej strategii [Wh]. Natomiast ciągła linia koloru niebieskiego przedstawia zużycie energii elektrycznej lamp wyposażonych w opisane wcześniej układy elektroniczne, ale pod warunkiem braku regulacji poziomu intensywności oświetlenia [Wh]. Wykresy przedstawiają średnie dzienne zużycie energii elektrycznej przez pojedynczą lampę. Dla każdej strategii sterowania przyjęto ogólnie 15 godzinny cykl pracy lamp.

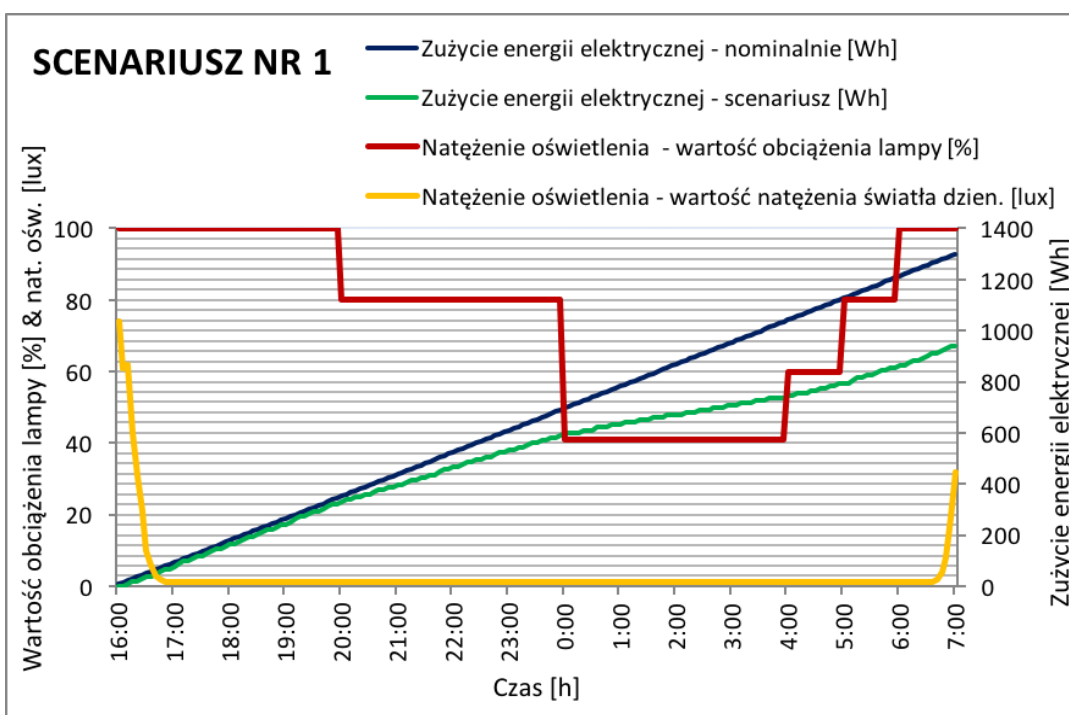
Pierwsze dwa wykresy, rysunki nr 5.6 i 5.7 przedstawiają wyniki pomiarów dla strategii nazwanej Scenariusz 1 i wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności B i A. Średnie dzienne zużycie energii elektrycznej przez pojedynczą lampę dla klasy B wyniosło 0,97 kWh a dla klasy A 0,94 kWh.

Kolejne dwa wykresy, rysunki nr 5.8 i 5.9 przedstawiają pomiary dla strategii nazwanej Scenariusz 2 i wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności B i A. Średnie dzienne zużycie energii elektrycznej przez pojedynczą lampę dla klasy B wyniosło 0,92 kWh a dla klasy A 0,89 kWh.

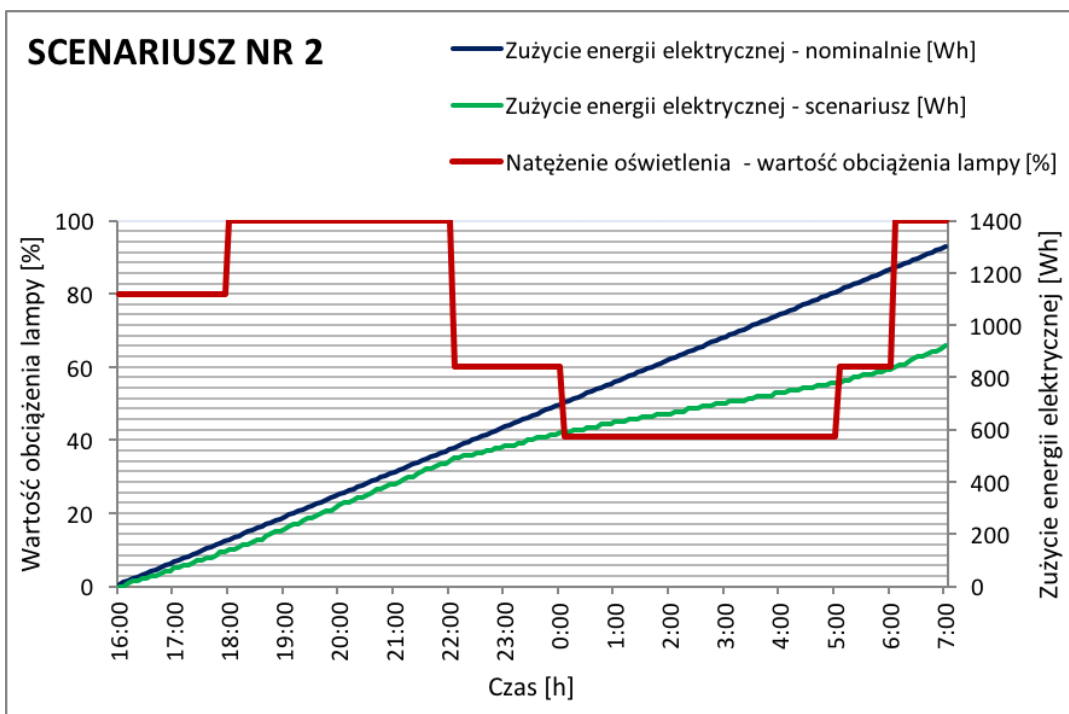
Dwa ostatnie wykresy, rysunki nr 5.10 i 5.11 przedstawiają pomiary dla strategii nazwanej Scenariusz 3 i wariantów sterowania odpowiadających klasom sprawności B i A. Średnie dzienne zużycie energii elektrycznej przez pojedynczą lampę dla klasy B wyniosło 0,87 kWh a dla klasy A 0,85 kWh.



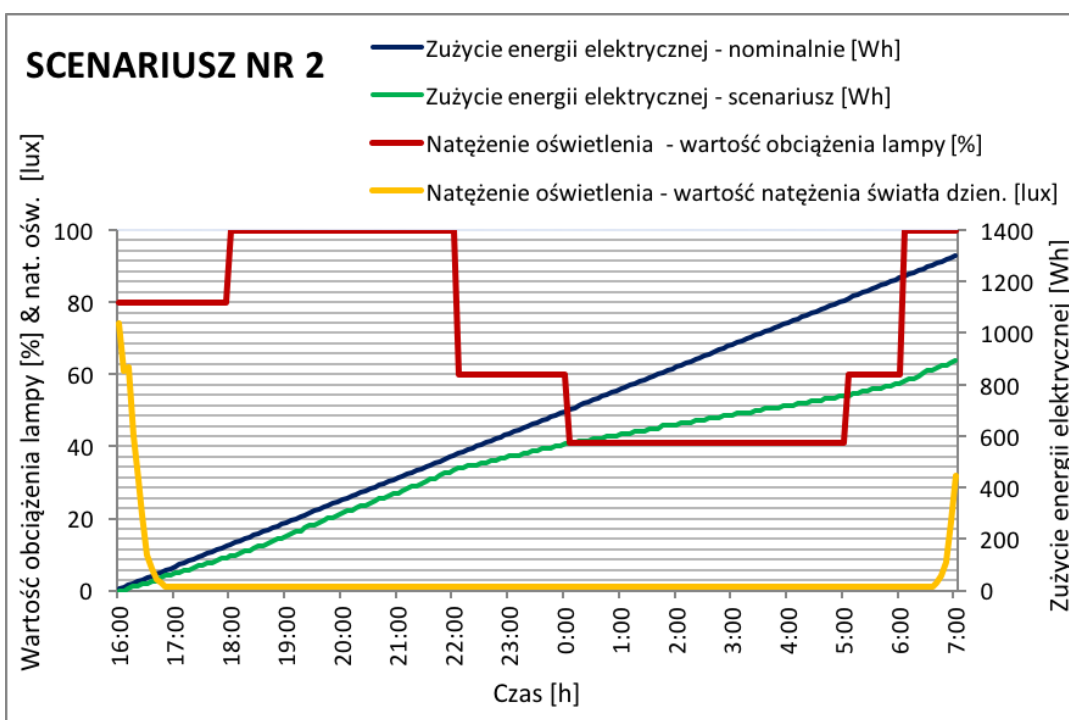
Rys. 5.6 – Scenariusz 1 klasa B – wyniki pomiarów zużycia energii



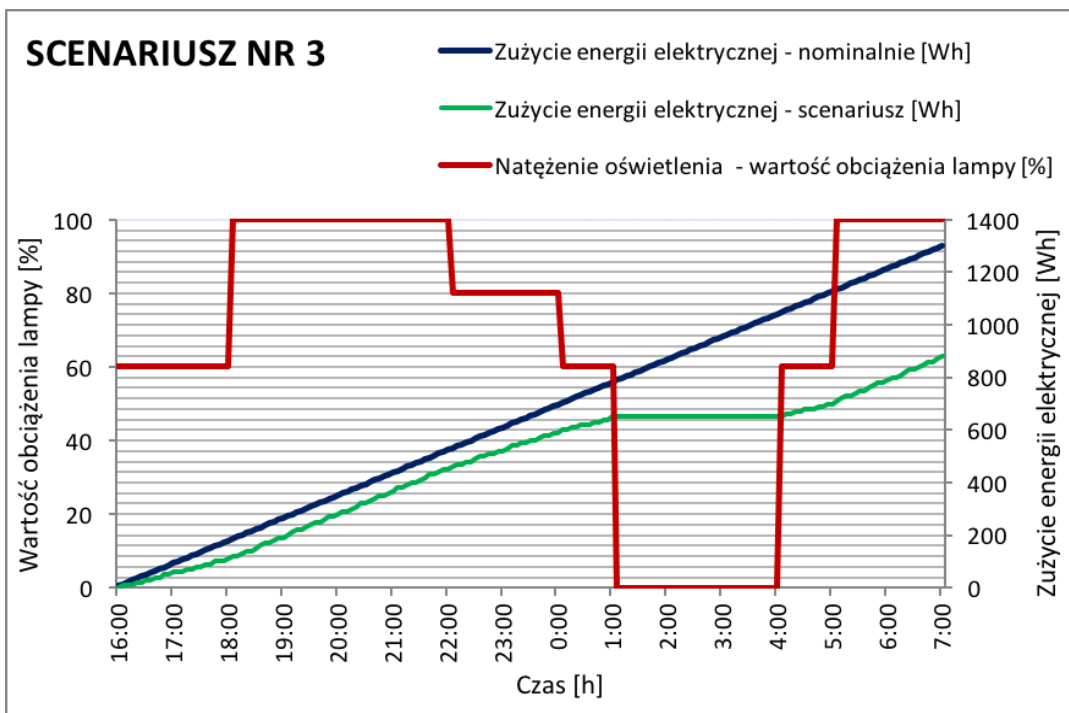
Rys. 5.7 – Scenariusz 1 klasa A – wyniki pomiarów zużycia energii



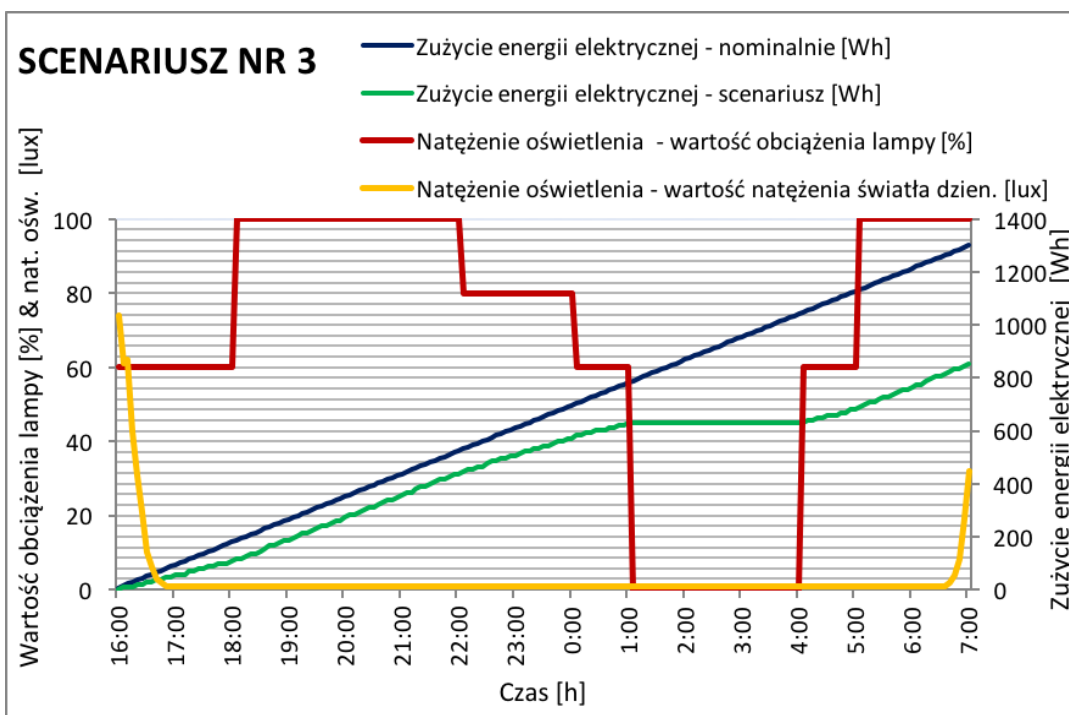
Rys. 5.8 – Scenariusz 2 klasa B – wyniki pomiarów zużycia energii



Rys. 5.9 – Scenariusz 2 klasa A – wyniki pomiarów zużycia energii



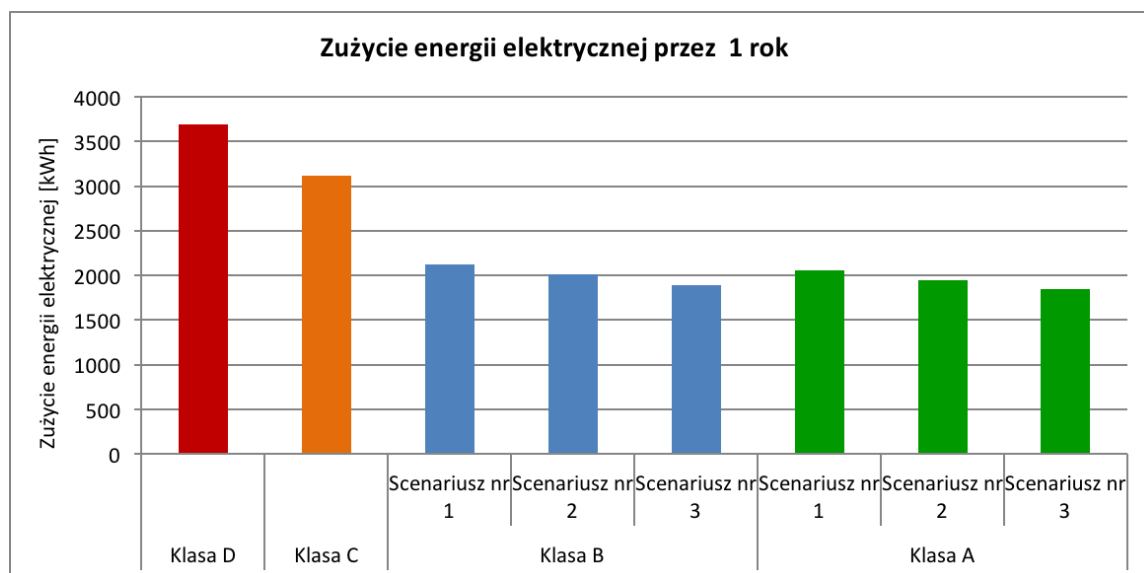
Rys. 5.10 – Scenariusz 3 klasa B – wyniki pomiarów zużycia energii



Rys. 5.11 – Scenariusz 3 klasa A – wyniki pomiarów zużycia energii

Porównanie poszczególnych strategii zrealizowanych w ramach różnych wariantów sterowania wykazuje, że wariant odpowiadający klasie A zapewnia zmniejszenie zużycia energii w porównaniu do wariantu odpowiadającego klasie B. Chociaż pozornie różnice w zużyciu energii mogą nie wydawać się znaczące, należy podkreślić, że przedstawione na wykresach wyniki, to wartości średnie, zaprezentowane dla okresu pojedynczego dnia pracy. Wyniki przedstawiające obliczenia dla każdej ze strategii i scenariuszy w ujęciu rocznym zostały przedstawione na rysunku nr 5.12. Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- Wyniki dotyczą całej testowej instalacji SL AGH składającej się z ośmiu lamp.
- Wszystkie strategie sterowania posiadają stałe ustawienia w okresie roku.
- Wariant sterowania odpowiadający klasie A uwzględnia włączenie/wyłączenie lamp w zależności od kalendarza astronomicznego dla lokalizacji instalacji SL (wschody i zachody słońca)
- Dla wariantów sterowania odpowiadających klasom D i C – bez strategii – całkowity czas pracy dla każdej z lamp przyjęto jako 4500 godzin.



Rys. 5.12 – Wyniki zużycia energii w instalacji Street Lighting dla okresu 1 roku

Przeprowadzone badania i pomiary wskazują, że zastosowanie nowoczesnych technologii systemów automatyzacji i sterowania w celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej i zarządzania popytem na moc w instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych jest celowe i ekonomicznie uzasadnione.

5.2. Wnioski dotyczące organizacji systemu sterowania instalacji typu Street Lighting

W poprzednim podrozdziale, przedstawiono propozycję integracji zaawansowanych sterowników oraz czujników jako rozproszonego systemu automatyki nadzorującego pracę instalacji SL. Na podstawie opracowanych wariantów i strategii sterowania zaproponowano czterostopniową klasyfikację sprawności automatyzacji i sterowania instalacji SL. Zaproponowany wariant sterowania i zaimplementowane w jego ramach strategie, wykonane

zgodnie z założeniami systemu BACS przewidzianymi dla klasy B (rysunki nr 5.6, 5.8 i 5.10), powoduje, że instalacja oświetlenia przestrzeni publicznej cechuje się znacznie mniejszym zużyciem energii elektrycznej w porównaniu do instalacji wykonanej w oparciu o standardowe lampy, nie posiadające funkcji regulacji poziomu intensywności oświetlenia, odpowiadających klasom C lub D (rysunek 5.5). Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej wyniosło około 43%. Z kolei zaproponowany wariant sterowania i zaimplementowane w jego ramach strategie, wykonane zgodnie z założeniami systemu BACS odpowiadającemu klasie A (rysunki nr 5.7, 5.9 i 5.11), prowadzi do dodatkowej redukcji zużycia energii elektrycznej w instalacji SL, w porównaniu do wariantu odpowiadającego klasie B, jak również do wariantów odpowiadających klasom C lub D. Ograniczenie zużycia energii elektrycznej wyniosło około 45%, w porównaniu do instalacji wykonanej w oparciu o standardowe lampy, nie posiadające funkcji regulacji poziomu intensywności oświetlenia. Należy podkreślić, że uzyskane wyniki pochodzą w ramach badań testowej instalacji SL AGH, przedstawionej na rysunkach nr 5.1 i 5.3. Wyniki badań zostały zestawione w tabeli nr 5.1.

Tabela 5.1 – Porównanie wariantów i strategii sterowania pod względem zużycia energii

Wariant sterowania (Klasa)	Opis	Strategia (Scenariusz)	Zużycie energii Cykl dzienny (15h) dla pojedynczej lampy	Zużycie energii Cykl roczny dla całej instalacji
A	Zaawansowana integracja; Wszystkie rodzaje czujników i elementów wykonawczych	1 A (Rys. 5.7)	0,94 kWh	2061,92 kWh
		2 A (Rys. 5.9)	0,89 kWh	1945,52 kWh
		3 A (Rys. 5.11)	0,85 kWh	1844,88 kWh
B	Częściowa integracja; Wybrane rodzaje czujników i elementów wykonawczych	1 B (Rys. 5.6)	0,97 kWh	2123,2 kWh
		2 B (Rys. 5.8)	0,92 kWh	2012,48 kWh
		3 B (Rys. 5.10)	0,87 kWh	1887,2 kWh
C	Podstawowe funkcje; lampy z modułami elektronicznymi	C (Rys. 5.5)	1,3 kWh	3117,6 kWh
D	Brak sterowania; funkcja załącz/wyłącz; lampy z balastem elektromagnetycznym	D (Rys. 5.5)	1,54 kWh	3693,6 kWh

Porównując między sobą zaproponowane strategie sterowania zaobserwować można, że wprowadzane zmiany pozwoliły na zredukowanie zużycia jeszcze o kilka procent. Szczególnie jest to widoczne pomiędzy strategią Scenariusz nr 1, a Scenariusz nr 3 – należy jednak rozważyć, czy w konkretnej aplikacji oświetlenia można zastosować całkowite wyłączenie obwodu lamp w pewnym okresie.

Dodatkowo dla wariantu odpowiadającego klasie A i dla strategii Scenariusz nr 3 została przeprowadzona analiza ekonomiczna. Ceny i koszty w niej uwzględnione odpowiadają warunkom ekonomicznym i politycznym obowiązującym w Polsce w IV kwartale 2016 roku. Analiza wykazała znaczny potencjał oszczędności kosztów operacyjnych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych, w wyniku jej modernizacji ze standardowej (wariant sterowania odpowiadający klasie D) do wyposażonej w zaawansowane funkcje automatyzacji i sterowania (wariant sterowania odpowiadający klasie A). Dla analizowanej instalacji, czas zwrotu poniesionych nakładów finansowych wynosi 7 lat, a obliczony wskaźnik rentowności ROI (ang. Return On Investment) dla roku 2016 wynosi 11,9%.

Mając na uwadze przedstawione wyniki i rezultaty przeprowadzonego eksperymentu, instalacje SL wykonane zgodnie z wariantem sterowania odpowiadającym klasie D (brak sterowania - funkcja grupowego załączenia/wyłączenia w sposób ręczny lub za pomocą prostych elementów jak np. włączniki czasowe), powinny zostać zmodernizowane a nowe instalacje nie powinny być realizowane w taki sposób. Najmniejsze zużycie energii charakteryzuje instalacje SL zrealizowane zgodnie z wariantem sterowania odpowiadającym klasie A. Należy jednak zauważyć, że instalacje te są bardziej skomplikowane i wymagają bardziej rozbudowanej infrastruktury (np. dodatkowe sensory) niż instalacje realizowane zgodnie z wariantem sterowania odpowiadającym klasie B. Dodatkowo w celu wykorzystania możliwości tego rodzaju systemów wymagane jest zapewnienie ciągłości i poprawności dwukierunkowej komunikacji, nie tylko pomiędzy sterownikami lamp (OLC) i sterownikiem segmentowym (w przypadku instalacji SL AGH to moduł i.LON oraz serwer automatyki LINX), lecz również pomiędzy centralnie zarządzającym systemem zbierania danych i wizualizacji. Jednak zdaniem autora, nowoczesne systemy sterowania instalacjami oświetlenia przestrzeni publicznych wykonywać zgodnie z założeniami przewidzianymi dla klasy A. Jednym ze sposobów sprostania wspomnianym wymaganiom w aspekcie komunikacji, dostępności urządzeń infrastruktury, narzędzi programistycznych i integracji tego typu systemów, jest wykorzystanie otwartych, międzynarodowych standardów i technologii rozproszonych systemów sieciowych, znanych z automatyki budynkowej. Systemy sterowania oświetleniem przestrzeni publicznych stają się coraz bardziej popularne. Według autora, w przyszłości będą one stanowić integralny element miejskiej infrastruktury. Ale nie tylko jej, lecz również otoczenia zakładów przemysłowych, wnętrza hal produkcyjnych, oświetlenia stadionów czy hal rozrywkowych.

Wnioski wynikające z badań testowej instalacji SL mają charakter ogólny. Jednak ze względu na różnorodną i indywidualną charakterystykę możliwych aplikacji oświetlenia publicznego (oświetlenie autostrad, dróg, ulic osiedlowych, chodników, alejek spacerowych, placów, parkingów itd.), celowym jest ich każdorazowe uwzględnienie i weryfikacja w poszczególnych instalacjach.

6. Lokalne systemy zarządzania energią

Tradycyjne działanie systemów elektroenergetycznych polegało na jednokierunkowym przepływie mocy – od ośrodków wytwórczych (elektrowni) do odbiorców końcowych (komercyjnych, przemysłowych i indywidualnych). W okresie ostatnich kilkunastu lat można jednak zaobserwować znaczący wzrost udziału tzw. generacji rozproszonej, wykorzystującej różnego typu OZE: farmy wiatrowe, elektrownie oparte o ogniwa fotowoltaiczne. Fakt ten spowodował, że w systemach elektroenergetycznych wystąpiła konieczność dynamicznego zarządzania przepływami mocy [56]. Czynnikiem również determinującym zmiany w zarządzaniu i organizacji dotychczas istniejących systemów elektroenergetycznych jest również polityka energetyczna Unii Europejskiej. Oprócz wspomnianych na początku pracy unijnych celów na rok 2020, prowadzone obecnie dyskusje wskazują na kolejne, jeszcze bardziej restrykcyjne wymogi w tym zakresie w kolejnej perspektywie rozwojowej do roku 2030 [55], [80], [81].

W tym celu niezbędne jest wprowadzenie w systemach elektroenergetycznych różnych narzędzi wspierających monitoring zużycia energii, rozpliw mocy i dynamiczne zarządzanie energią dostępną w systemie. Praktyczna implementacja tej koncepcji wymaga istotnych zmian nie tylko w obszarze samego systemu wytwarzania i dystrybucji energii, ale również jej konsumpcji. Dlatego istotnym elementem takiego systemu są odbiorcy, w tym budynki: komercyjne, użyteczności publicznej, prywatne. W wielu tego typu budynkach istnieją już i z powodzeniem funkcjonują systemy BACS i BMS [82]. Rolą dużej części z nich jest podniesienie komfortu użytkownika pomieszczeń w budynku, zapewnienie wyższego poziomu bezpieczeństwa osób i urządzeń oraz zapewnienie optymalnych warunków pracy i wypoczynku ludzi [55]. W ostatnich kilku latach zrodziła się idea wykorzystania infrastruktury systemów BACS do integracji obsługi zdalnych systemów pomiarowych i monitoringu zużycia energii elektrycznej i innych mediów. Producenci urządzeń pomiarowych i automatyki budynkowej wprowadzili do swej oferty nowe moduły i urządzenia dla tego typu zastosowań.

Obecnie badania i wdrożenia nowych rozwiązań ukierunkowanych na zwiększenie efektywności energetycznej budynków skupiają się zasadniczo na dwóch obszarach: jeden to opracowanie nowych, energooszczędnych technologii dla urządzeń infrastruktury budynkowej oraz drugi – zdefiniowanie wytycznych konstrukcji i integracji nowych systemów zarządzania energią (EMS), jej dystrybucją, monitoringiem i sterowaniem urządzeniami w budynkach zależnie od potrzeb użytkowników, środowiska, przy zachowaniu wymaganego poziomu komfortu i bezpieczeństwa [83]. W budynkach wyposażonych w systemy automatyki, funkcje EMS mogą być ściśle zintegrowane w ramach ich infrastruktury. Użytkownicy i zarządcy budynków zyskują w ten sposób nowe narzędzie monitoringu zużycia energii i mediów, bez konieczności instalowania dodatkowej, dedykowanej sieci, modułów systemowych itp. Liczniki i moduły monitorujące, z odpowiednimi interfejsami sieciowymi do popularnych technologii wykorzystywanych w ramach BACS, mogą być integrowane już na poziomie obiektywnym. Zastosowanie takiego zintegrowanego rozwiązania, umożliwia wykorzystanie danych generowanych przez liczniki i moduły monitorujące, bezpośrednio do sterowania urządzeniami infrastruktury budynkowej. Pozwala to również na organizowanie zaawansowanych wariantów i strategii sterowania np. oświetleniem, ogrzewaniem lub wentylacją pomieszczeń zależnie od obecności osób lub innych parametrów zewnętrznych

(temperatur, intensywność oświetlenia, stężenie CO₂ itp. – sygnały z rozproszonych na obiekcie czujników), jednakże dodatkowo z uwzględnieniem sygnałów i danych dotyczących zużycia energii, poziomów obciążenia obwodów zasilających, okresów z różnymi taryfami cen energii [84]. Taka funkcjonalność otwiera nowe obszary w zakresie poprawy efektywności energetycznej budynków. Obniżenia ich kosztów eksploatacyjnych, planowania i organizacji czasowej różnych operacji, niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania budynku, a możliwych do realizacji np. poza godzinami pracy osób w wybranych jego strefach - pomieszczeniach. Możliwości te oferują nową jakość obsługi eksploatacyjnej i użytkowej współczesnych budynków, zwłaszcza użyteczności publicznej, komercyjnych i biurowych oraz przemysłowych. W oparciu o nie możliwe staje się zarządzanie popytem – DR, a w perspektywie wykorzystania energii z OZE do zasilania pojedynczych budynków lub całych kampusów czy osiedli, wsparcie użytkowania takich obiektów w trybie tzw. prosumenckim – okresowej konsumpcji i okresowej generacji energii na potrzeby budynków oraz jako produktu do systemu elektroenergetycznego [55], [56], [85], [86].

6.1. Wytyczne organizacji systemów zarządzania energią

Projektowanie i organizacja funkcjonalna systemów EMS dla budynków to proces wieloetapowy, który wymaga zaangażowania różnych podmiotów uczestniczących i specjalistów wielu branż, związanych z budową nowego obiektu lub modernizacją już istniejącego. Mogą być one bardzo zróżnicowane, od całkowicie autonomicznych (w postaci osobnych, dedykowanych instalacji), po w pełni zintegrowane z systemami BACS. Zdaniem autora, zaawansowane technicznie i funkcjonalnie systemy EMS, współpracujące z systemami BACS, mogą w znaczącym stopniu przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej budynków, np. poprzez zwiększenie świadomości użytkowników o zużyciu energii.

Pomimo tej różnorodności, możliwe jednak jest ustalenie uniwersalnych wytycznych w zakresie organizacji, przede wszystkim funkcjonalnej, systemów EMS dla budynków.

Instalacje pomiaru i monitoring zużycia energii

Eksperti branży systemów EMS podkreślają, że pierwszą i najważniejszą funkcją systemu zarządzania energią, nawet w najprostszej wersji, powinno być dokładne opomiarowanie budynku, zapewniające możliwość monitorowania zużycia energii i mediów. Element ten jest podstawowym czynnikiem warunkującym energooszczędną eksploatację budynku. W celu uzyskania jak najpełniejszego obrazu zużycia energii i mediów, przynajmniej niektóre urządzenia pomiarowe planowane do montażu w budynku, powinny pozwalać na, nie tylko uzyskanie informacji o ich zużyciu: dla energii elektrycznej – kWh (lub MWh), ale także na odczyt innych, pomocniczych parametrów. Przykładowo, określających własności medium i charakter odbiorników oraz przyłączonych do sieci zasilania urządzeń wykonawczych itp. W przypadku energii elektrycznej wynika to z faktu, że jej zużycie jest mocno uzależnione od jej jakości. Nietrzymanie właściwego poziomu jakości energii elektrycznej przez dostawcę, może fałszować przyczyny zwiększonego zużycia energii, wynikającego z eksploatacji urządzeń poza optymalnym obszarem pracy i prowadzić w rezultacie do poszukiwań przez użytkownika błędnych dróg prowadzących do zmniejszenia zużycia. Dlatego przynajmniej

główne liczniki zużycia energii elektrycznej, powinny pozwalać na monitoring jak największej liczby parametrów tego medium. W ich przypadku, powinien być dostępny pomiar następujących wielkości:

- energia czynna całkowita i poszczególnych fazach,
- energia bierna całkowita i poszczególnych fazach,
- napięcia fazowe i międzyfazowe,
- prądy fazowe,
- moce czynna i bierna,
- współczynnik mocy,
- dodatkowo – harmoniczne napięcia (wskaźniki THD).

Dlatego też na głównych przyłączach dużych budynków użyteczności publicznej, komercyjnych, przemysłowych, zaleca się we współczesnych instalacjach montaż tzw. analizatorów sieci zasilającej, czyli mierników energii wraz z pełnym zestawem dodatkowych parametrów jakościowych. W wybranych strefach budynków lub poszczególnych pomieszczeniach, zaleca się montaż liczników i modułów pomiarowych na zasilających je liniach lub kanałach dostawczych mediów energetycznych. Dla instalacji elektrycznych możliwe jest zamontowanie liczników energii 3- lub 1-fazowych, wyposażonych w interfejsy komunikacyjne do sieci systemów BACS. Kształt infrastruktury pomiarowej można zdefiniować przez przypisanie zużycia cząstkowego energii do poszczególnych obszarów zużycia: fizycznych (pomieszczenia, powierzchnie budynku) i funkcjonalnych. Powinna ona umożliwić pomiar a następnie analizę zebranych danych, zarówno na poziomie pojedynczych pomieszczeń, grup pomieszczeń i całych obszarów, jak również dla pojedynczych urządzeń, grup urządzeń i całych podsystemów technicznych. Przykładowy podział może wyglądać następująco:

- otoczenie budynku (np. oświetlenie elewacji, skweru itp.),
- parkingi,
- obszary wspólne (np. korytarze, klatki schodowe, toalety itp.),
- pomieszczenia zajmowane przez użytkowników (wynajmowane, sale lekcyjne, sale szpitalne itp.),
- obszary wspólne o szczególnym charakterze (np. szatnia, pokój do odpoczynku itp.).

Dodatkowym kryterium podziału powyższych elementów, zwłaszcza w przypadku dużych powierzchni może być również podział na kondygnacje, niezależne części budynków itp.

Z kolei obszary funkcjonalne, związane z podsystemami technicznymi budynku i mające bezpośredni wpływ na efektywność energetyczną budynków to:

- instalacje ogrzewania,
- instalacje chłodzenia,
- wentylacja i klimatyzacja,
- oświetlenie i inne odbiorniki energii elektrycznej,
- instalacje ciepłej wody użytkowej,
- osłony przeciwsłoneczne,

Punkty pomiarowe, zwłaszcza w przypadku pomiarów bezpośrednich (konieczność użycia licznika) powinny być zdefiniowane już na etapie projektu, a możliwość ich instalacji (podłączenia) zapewniona na etapie realizacji systemu, natomiast ich fizyczna instalacja może być zrealizowana w trakcie uruchamiania systemu pomiarowo-zarządzającego, ale też może się

to odbyć już w trakcie eksploatacji budynku.

Infrastruktura systemu pomiarowego i zarządzania

System EMS powinien być stosowany w następujących obszarach:

- energia zużywana i ewentualnie produkowana,
- wszystkie obszary zużycia energii: ogrzewanie, wentylacja, przygotowanie wody użytkowej, oświetlenie, urządzenia biurowe, itp.,
- strefy budynku, np. części wynajmowane, części wspólne itp.,
- urządzenia, które zużywają lub ewentualnie wytwarzają energię,
- ewentualne zmiany w trakcie użytkowania budynku.

Sposób projektowania systemów EMS oraz dobór dedykowanej do nich infrastruktury jest determinowany przez wymienione obszary. Ich odpowiednia organizacja i zarządzanie energią mają również wpływ na wskaźniki efektywności energetycznej budynków. Jednym z czynników związanych z elementami infrastruktury energetycznej budynku, mającym bezpośredni wpływ na sposób organizacji i efektywność działania systemów EMS, jest sposób wykonania instalacji elektrycznej. Powinna być ona podzielona na wiele, niezależnie sterowanych obwodów, co pozwala na selektywne załączanie tylko potrzebnych odbiorów oraz umożliwia pomiar zużycia energii przez poszczególne odbiory bądź grupy odbiorów.

Zidentyfikowane czynniki związane z infrastrukturą sterującą i monitorowania wpływające na efektywność energetyczną i możliwość jej poprawy można pogrupować następująco:

- zastosowanie indywidualnych mierników (liczników) zużycia poszczególnych mediów energetycznych. Możliwość pomiaru zużycia energii w poszczególnych pomieszczeniach pozwala porównywać zużycie w różnych miejscach budynku, analizować przyczyny różnic oraz stosować indywidualne dla pomieszczeń strategie oszczędzania. Poza tym znajomość rzeczywistego zużycia daje możliwość świadomego gospodarowania mediami i motywuje do ich oszczędzania,
- zastosowanie czujników parametrów powietrza wewnątrz i na zewnątrz dla zapewnienia sterowania ogrzewaniem i/lub klimatyzacją pod kątem redukcji zużycia energii przy zachowaniu założonego poziomu komfortu w pomieszczeniach i całym budynku,
- wykorzystanie algorytmów sterowania zaimplementowanych w sterownikach instalacji,
- wyposażenie budynku w jednolitą sieć sterującą pozwalającą zintegrować ze sobą instalacje: elektryczną, grzewczą i klimatyzacji itp.. Zintegrowane sterowanie wszystkimi instalacjami technologicznymi budynku pozwala na bardziej efektywne gospodarowanie mediami energetycznymi.

Wymienione czynniki oraz podział strukturalny i funkcjonalny, dostępnej w różnego typu budynkach infrastruktury systemowej, wskazują na kilka uniwersalnych wytycznych dla procesu projektowania systemu pomiarowo-zarządzającego, który można podzielić na kilka etapów:

1. Podział budynku na obszary o podobnym przeznaczeniu. Wydzielenie części wspólnych wewnętrznych oraz zewnętrznych obszarów zasilanych z budynku (np. oświetlenie parkingu).
2. Zdefiniowanie niezbędnych funkcjonalności pomiarowych i raportujących.
3. Zdefiniowanie funkcji zarządzających i ich odpowiednia realizacja w ramach systemu BACS. Daje to możliwość określenia poszczególnych funkcjonalności budynku, w ramach

których jest możliwe:

- a. realizowanie algorytmów dotyczących utrzymania temperatury w przypisaniu do indywidualnych stref,
 - b. działanie instalacji ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji itp. zgodnie z zapotrzebowaniem,
 - c. realizowanie właściwego podziału kosztów energii na poszczególnych użytkowników, jeśli jest to wymagane,
 - d. określanie a następnie monitorowanie wydajności energetycznej indywidualnie dla poszczególnych najemców.
4. Zdefiniowanie i określenie interfejsów pomiędzy systemem pomiarowo-zarządzającym, a pozostałymi podsystemami i instalacjami technologicznymi budynku.

Wsparcie zarządzania energią i poprawa efektywności energetycznej budynków

Zdaniem autora, systemy EMS mogą stać się istotnym elementem wsparcia realizacji idei poprawy efektywności energetycznej budynków. Najwyższy wzrost tej efektywności można uzyskać przy realizacji w pełni zintegrowanych systemów EMS, współpracujących z BACS i/lub BMS. W tym celu podczas prac modernizacyjnych budynków oraz projektowych dla nowych obiektów zmianom musi ulec podejście do samego procesu projektowania proponowanych zmian i rozwiązań technologicznych oraz systemowych. W odniesieniu do budynków wyposażonych w systemy BACS, podstawowym dokumentem z wytycznymi dotyczącymi ich wpływu na efektywność energetyczną jest wspomniana wielokrotnie w pracy, norma PN-EN 15232 [33]. Jak już podkreślano, aby osiągnąć wysoką efektywność energetyczną, istotna jest nie tylko jakość samych systemów BACS, ale również technologia i sposób wykonania instalacji technologicznych budynku, np. wentylacja, klimatyzacja, ogrzewanie itp., które muszą być podatne na projektowane i implementowane algorytmy sterowania, pozwalające ograniczyć zużycie energii i mediów energetycznych. Dlatego niezbędne staje się kompleksowe podejście do procesów projektowania, konsultacji wielobranżowych już na jak najwcześniejszych etapach prac projektowych i organizacyjnych.

Ewaluacja systemów EMS – szacowanie wpływu funkcji i integracji na efektywność energetyczną budynków

W celu wsparcia projektantów i integratorów, opracowujących założenia techniczne i funkcjonalne dla systemów EMS w budynkach, opracowano arkusz weryfikacyjno-ewaluacyjny. Może on być wykorzystany na kilka sposobów, w tym m.in.:

- podczas procesu ustalania wymagań użytkowników i inwestorów w zakresie doboru funkcji systemów EMS, poziomu ich zaawansowania i szczegółowości oraz zakresu integracji z elementami systemów BACS i/lub BMS,
- przy opracowywaniu założeń projektowych i funkcjonalnych systemów EMS autonomicznych i/lub zintegrowanych z systemami BACS i/lub BMS,
- w procesach szacowania wpływu zastosowanych funkcji i rozwiązań techniczno-organizacyjnych systemów EMS na efektywność energetyczną budynków.

Funkcje, którymi może cechować się system EMS zostały wymienione w tabeli nr 6.1. Jak już wspomniano ma ona formę arkusza-listy weryfikacyjnej. Określono tu trzy kategorie

charakteryzujące systemy EMS różnych typów i zastosowań, w różnorodnym stopniu oddziałujące na efektywność energetyczną budynków. Koncepcja tych kategorii została opracowana w nawiązaniu do idei klas przedstawionych w normie PN-EN 15232:

- Kategoria C odpowiada standardowemu systemowi EMS.
- Kategoria B odpowiada bardziej zaawansowanemu funkcjonalnie systemowi EMS i niektórym określonym funkcjom technicznego zarządzania EMS – częściowe wsparcie integracji z systemami BACS i/lub BMS.
- Kategoria A odpowiada wysoko zaawansowanemu funkcjonalnie systemowi EMS, z pełną integracją poziomu obiektowego i nadrzędnego oraz funkcjami technicznego zarządzania EMS w ramach platform systemowych BACS i/lub BMS.

Wspomniane funkcje w tabeli nr 6.1, przyporządkowano każdej z wymienionych kategorii.

Do kategorii C zalicza się systemy nie spełniające wymagań dotyczących minimalnego zestawu funkcji przynależnych kategorii B. Systemy tej kategorii odpowiadają tradycyjnym instalacjom rozliczeniowym i w większości przypadków utrudniają, a nawet uniemożliwiają, zrealizowanie systemów EMS, ze zautomatyzowaną obsługą urządzeń pomiarowych.

Aby system EMS mógł być zaliczony do kategorii B, oprócz spełnienia wymagań dla kategorii C, powinny zostać zrealizowane dodatkowe funkcje umożliwiające zbudowanie bardziej zaawansowanego systemu zarządzania energią. Należy wśród nich wymienić:

- taką organizację infrastruktury pomiarowej, która umożliwia oprócz pomiarów głównego punktu zasilającego, również opomiarowanie wybranych, z reguły bardziej znaczących, odbiorów,
- zastosowanie interfejsów umożliwiających zdalny dostęp do danych i komunikację z urządzeniami pomiarowymi,
- automatyczne przetwarzanie danych pomiarowych (np. obliczanie minimalnego, średniego i maksymalnego zużycia energii za dany okres),
- umożliwienie częściowej integracji systemu pomiarowego z systemem BACS,
- wykrywanie uszkodzeń, usterek systemów zasilania i dystrybucji energii i mediów i zapewnienie wspomaganie, pomocy przy diagnostyce tych usterek.

Zdaniem autora, w przypadku nowo organizowanych systemów EMS zaleca się aby ich konstrukcja i funkcjonalność była zgodna co najmniej z kategorią B.

Dla zaliczenia projektowanego czy modernizowanego systemu EMS do kategorii A, niezależnie od funkcjonalności wymaganych dla kategorii B, powinny zostać zrealizowane funkcje umożliwiające zbudowanie wysoko zaawansowanego systemu zarządzania energią.

Wśród nich wymienić można przede wszystkim:

- taka organizacja infrastruktury pomiarowej, która umożliwia pomiar wszystkich istotnych obwodów zasilających oraz szczegółowy pomiar dodatkowych wybranych parametrów sieci zasilającej,
- możliwość wydzielenia i opomiarowania obwodów zasilania według wskazań użytkowników i/lub inwestora (pojedyncze, wybrane obwody – oświetlenie, gniazda w wybranych pomieszczeniach itp.), również w odniesieniu do innych mediów energetycznych (ciepło, wentylacja itd.),
- zastosowanie interfejsów komunikacyjnych umożliwiających podłączenie modułów systemu EMS jako pełnoprawnych elementów systemu BACS i/lub BMS (wspomniane w pracy węzły sieci automatyki),

- możliwość ciągłego przetwarzania danych pomiarowych i natychmiastowego informowania użytkownika o zaistniałych warunkach dotyczących zużycia energii oraz samodzielnego podejmowania decyzji w przypadku określonych zdarzeń,
- umożliwienie pełnej integracji systemu pomiarowego z systemem zarządzania pracą różnych instalacji – pełna integracja na poziomie obiektywnym z określonymi elementami systemu BACS i/lub BMS,
- przedstawianie informacji, raportowanie, dotyczących zużycia energii, warunków wewnętrznych oraz możliwości udoskonaleń – organizacja systemu doradczego.

Tabela 6.1 – Kategorie systemów EMS wraz z listą funkcji

		Oznaczenia kategorii		
		C	B	A
Sposób organizacji infrastruktury pomiaru				
1	Pomiar głównego punktu zasilającego - licznik główny			
2	Pomiar wybranych obwodów (głównie charakteryzujących się znaczącym obciążeniem)			
3	Pomiar wszystkich istotnych obwodów zasilających			
4	Dodatkowy pomiar szczegółowych parametrów pracy sieci (np. w przypadku energii elektrycznej U, I, cos, THD)			
Sposób komunikacji (infrastruktura obsługi danych)				
1	Ręczna			
2	Sieć teleinformatyczna (np. okablowanie strukturalne umożliwiające zdalny dostęp do urządzeń i danych pomiarowych)			
3	Sieć poziomego obiektowego systemów automatyki - umożliwiająca podłączenie urządzenia wyposażone w dane interfejsy komunikacyjne			
Sposób przetwarzania danych pomiarowych				
1	Ręczny			
2	Automatyczny			
3	Monitoring w trybie On-line – bieżące informowanie użytkownika o zaistniałych warunkach			
4	Informowanie przez system nadrzędny oraz samodzielne podejmowanie decyzji			
Poziom integracji EMS z BACS i/lub BMS – realizacja funkcji zarządzania (poziom integracji instalacji pomiarowej z systemem zarządzającym pracą pozostałych instalacji i podsystemów)				
1	Brak			
2	Częściowa integracja (wymagający zastosowania dedykowanego sprzętu lub specjalnych narzędzi informatycznych) - poziom nadrzędnym			
3	Pełna, bezproblemowa integrację - poziom automatyki lub obiektowy			
Techniczne zarządzanie EMS				
Wykrywanie uszkodzeń, usterek systemów zasilania i dystrybucji energii i mediów i zapewnienie wspomaganie, pomocy przy diagnostyce tych usterek				

1	Nie			
2	Tak			
Przedstawianie informacji, raportowanie, dotyczących zużycia energii, warunków wewnętrzne oraz możliwości udoskonaleń				
1	Nie			
2	Tak			
Obsługa funkcji prosumenckich (opcjonalnie)				
1	Pomiar energii (zużycie)			
2	Rozliczanie dwukierunkowego przesyłu energii (pomiar i obsługa sprzedawanej energii)			
3	Pomiar parametrów jakości energii (*szczególnie dotyczy większych instalacji)			
4	Automatyczne zarządzanie produkowaną energią			
5	Wspieranie funkcji rynku Smart Grid - DR i DSM			

Największe wsparcie użytkowników i zarządców budynku w zakresie poprawy efektywności energetycznej oferują systemy EMS realizowane zgodnie z zaleceniami dla kategorii A, prezentowanej w tabeli nr 6.1.

Jak wskazują zapisy wspomnianej normy PN-EN 15232, systemy automatyzacji i sterowania zrealizowane wg zapisów i wskazań dla określonej w normie klasy A systemów BACS, gwarantują maksymalne wsparcie poprawy efektywności energetycznej budynków. *Zdaniem autora, systemy zarządzania energią EMS, zaprojektowane i zrealizowane wg ogólnych wytycznych dla zaproponowanej kategorii A, zintegrowane w ramach jednolitej platformy systemowej BACS i/lub BMS, dodatkowo wspierają funkcjonalnie i technicznie kompleksowe działanie systemu zarządzania budynkiem, zasilaniem i mediami energetycznymi, w celu podniesienia efektywności energetycznej budynków.*

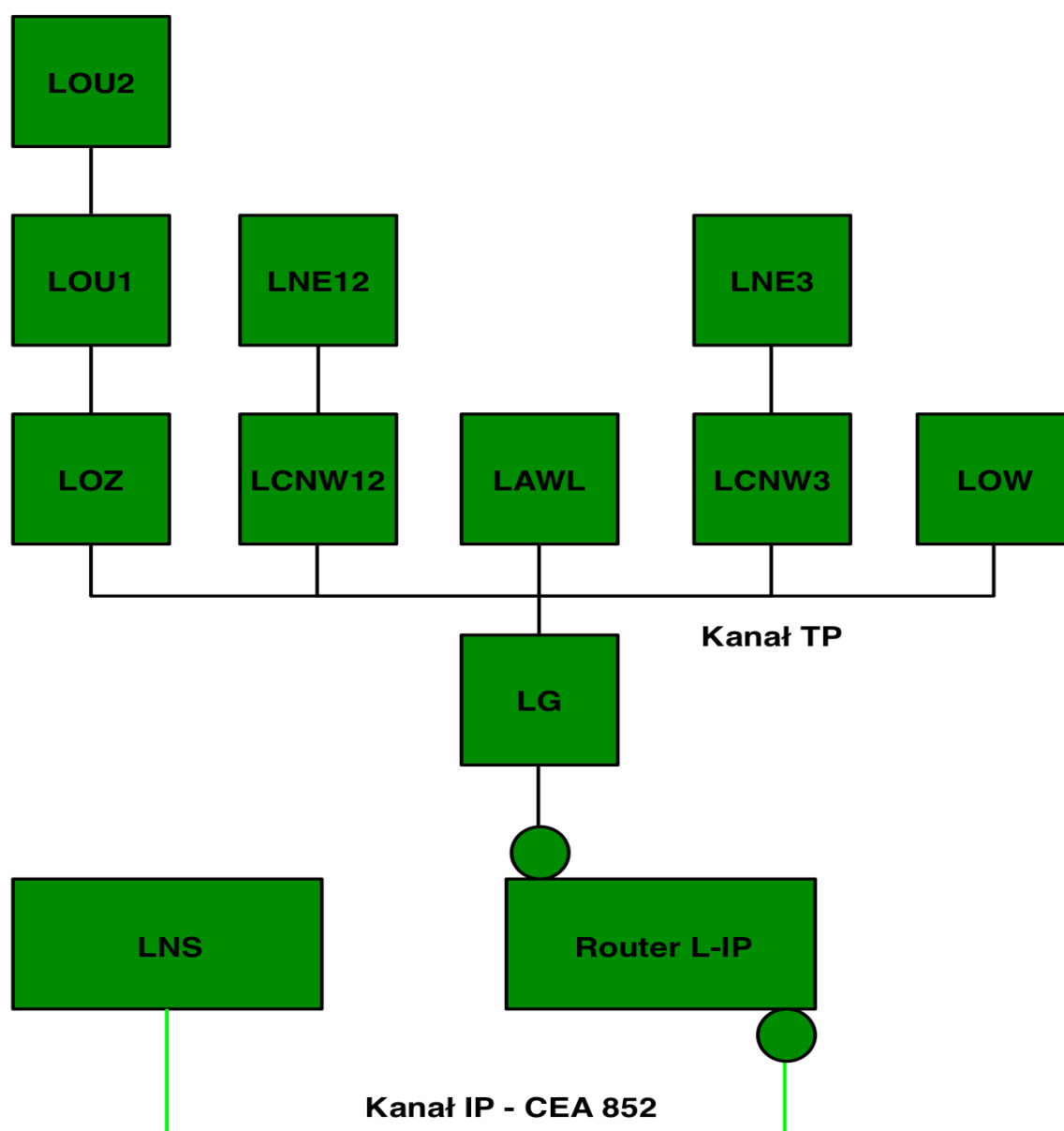
6.2. Organizacja systemu zarządzania energią w laboratorium AutBudNet

Do przeprowadzenia opisanego w rozdziale 4 eksperymentu, niezbędna była realizacja instalacji pomiarowej zużycia energii w laboratorium AutBudNet. W tym laboratorium rozdział energii zasilania realizowany jest w Głównej Tablicy Rozdzielczej (GTR), zlokalizowanej w obrębie korytarza – patrz rysunek nr 4.1. W ramach tablicy wydzielone są niezależne części przeznaczone dla zasilania oświetlenia, gniazd ogólnego przeznaczenia, obwodów zasilania komputerów i elementów systemu klimatyzacji. Jako licznik główny energii elektrycznej (LG) dla całego laboratorium, zastosowano licznik energii elektrycznej 3-fazowy, 4-przewodowy firmy EMU model Professional, przystosowany do pomiaru pośredniego prądów 5A, wyposażony w interfejs komunikacyjny LON, posiadający certyfikat MID. Miernik ten, fabrycznie skalibrowany z metodą oceny zgodności MID B + D, może stosowany być powszechnie do celów rozliczeniowych. Umożliwia on pomiar energii czynnej i biernej, mocy czynnej, biernej i pozornej, prądu w poszczególnych fazach oraz prądu sumarycznego, napięcia fazowego i międzyfazowego, częstotliwości, współczynnika $\cos\varphi$ oraz liczby zaników napięcia. Dodatkowo realizowany jest pomiar wartości minimalnych i maksymalnych prądu, napięcia i mocy czynnej z uwzględnieniem poszczególnych faz oraz podaniem daty i czasu

wystąpienia. Jednak przed przystąpieniem do realizacji eksperymentu, opisanego w rozdziale 4 niniejszej pracy, zainstalowano dodatkowe liczniki energii w odpowiednich polach GTR. Opomiarowaniu poddano instalacje oświetlenia w pomieszczeniach nr 1 i 2 oraz nr 3 laboratorium AutBudNet. Instalacje oświetlenia w pomieszczeniach nr 1 i 3 zostały zrealizowane na wydzielonych obwodach zasilających, natomiast w pomieszczeniu nr 2 instalacja jest zrealizowana na dwóch osobnych obwodach. Dlatego, w celu opomiarowania oświetlenia zastosowano cztery liczniki energii elektrycznej (LOZ, LOU1, LOU2 i LOW) instalując 1-fazowe, 2-przewodowe liczniki energii firmy Gossen Metrawatt model U1281, przystosowane do pomiaru bezpośredniego prądów do 65A bez dodatkowego przekładnika prądowego, wyposażone w interfejs komunikacyjny LON i posiadające certyfikat MID. Mierniki te fabrycznie skalibrowane z metodą oceny zgodności MID B + D, są przeznaczone do uniwersalnych pomiarów i rozliczeń energii elektrycznej w gospodarstwach domowych, przemyśle i budynkach administracyjnych. Umożliwiają pomiar energii czynnej i biernej, mocy czynnej, biernej i pozornej, prądu, napięcia, częstotliwości, współczynnika $\cos\phi$ oraz liczby zaników napięcia. Opomiarowana została również instalacja wentylacji i klimatyzacji, w skład której wchodzi agregat wody lodowej (LAWL), centrala nawieno-wywiena (LCNW12), nagrzewnica elektryczna (LNE12) dla pomieszczeń nr 1 i 2 oraz centrala nawieno-wywiena (LCNW3) i nagrzewnica elektryczna (LNE3) dla pomieszczenia nr 3. Pomiar zużycia energii przez centrale nawieno-wywieną i nagrzewnicę, które obsługują pomieszczenie nr 3 oraz agregat wody lodowej, został zrealizowany przez wielofunkcyjne analizatory jakości energii 3-fazowe, 4-przewodowe firmy Frer model 1Q96G4L, przystosowane do pomiaru pośredniego prądów 5A, wyposażone w interfejs komunikacyjny LON. Umożliwiają pomiar energii czynnej i biernej, mocy czynnej, biernej i pozornej, prądu w poszczególnych fazach oraz prądu sumarycznego, napięcia fazowego i międzyfazowego, częstotliwości, współczynnika $\cos\phi$ oraz liczby zaników napięcia. Dodatkowo realizowany jest pomiar wartości minimalnych i maksymalnych prądu, napięcia i mocy czynnej z uwzględnieniem poszczególnych faz oraz wartości harmonicznych prądu i napięcia. Z kolei pomiar zużycia energii przez centralę nawieno-wywieną, która pracuje dla pomieszczeń nr 1 i 2, został zrealizowany z wykorzystaniem licznika 3-fazowego, 4-przewodowego firmy ABB model DDL23000, przystosowanego do pomiaru bezpośredniego prądów do 80A bez dodatkowego przekładnika prądowego, wyposażonego w interfejs komunikacyjny LON, posiadającego certyfikat MID, cechującego się klasą dokładności A, co odpowiada klasie dokładności 2 wg norm IEC, dla energii czynnej. Miernik ten jest przeznaczony do realizacji pomiarów u odbiorców komunalnych. Pozwala on na pomiar energii czynnej i biernej, mocy czynnej, biernej i pozornej, prądu w poszczególnych fazach oraz prądu sumarycznego, napięcia fazowego i międzyfazowego, częstotliwości, współczynnika $\cos\phi$ oraz liczby zaników napięcia. Obwody zasilania nagrzewnicy elektrycznej, współpracującej ze wspomnianą centralą, opomiarowano licznikiem energii elektrycznej 3-fazowym, 4-przewodowym firmy Gossen Metrawatt model U1389, przystosowanym do pomiaru pośredniego prądów 6A, wyposażonym w interfejs komunikacyjny LON, posiadającym certyfikat MID. Miernik ten, fabrycznie skalibrowany z metodą oceny zgodności MID B + D, może być stosowany do celów rozliczeniowych. Jego funkcje i możliwości są zbliżone do wcześniej opisywanego modelu U1281 tej samej firmy, tylko dotyczą pomiaru 3-fazowego. Wszystkie mierniki wyprodukowano zgodnie z zapisami następujących norm: EN 50470-1, EN 50470-3 i EN 62053-23. Dodatkowo w laboratorium, osobno dla pomieszczeń nr 1 i 2 oraz

nr 3, zainstalowane są dwa ciepłomierze (JS90-1,5 NC ϕ 15 oraz JS90-0,6 NC ϕ 15 oba firmy PoWoGaz), z parą czujników Pt500, które są podłączone do liczników energii cieplnej firmy Apator-Kfap model LEC5, wyposażonych w interfejs komunikacyjny LON. Liczniki te są przeznaczone do pomiaru i rozliczeń energii cieplnej w wodnych sieciach grzewczych, zarówno w obiektach przemysłowych jak i do rozliczeń z indywidualnymi odbiorcami ciepła, zgodnie z normą EN1434. Umożliwiają dokładny pomiar temperatury na obwodach zasilania i powrotu oraz strumienia objętości czynnika grzewczego, precyzyjnie wyznaczając energię cieplną w systemie ogrzewania.

Schemat ideowy zamontowanych liczników, w postaci widoku projektu systemu pomiarowego w pakiecie LonMaker, przedstawiono na rysunku 6.1



Rys. 6.1 Schemat ideowy systemu pomiarowego w laboratorium AutBudNet

Zaprezentowane na rysunku nr 6.1 oraz opisane wcześniej elementy instalacji pomiarowej weszły w skład zrealizowanego, przez autora pracy, systemu zarządzania energią. Zgodnie z informacjami przedstawionymi w poprzednim podrozdziale, system ten odpowiada kategorii

A, czyli wysoko zaawansowanemu funkcjonalnie systemowi EMS, z pełną integracją poziomu obiektowego i nadrzędnego oraz funkcjami technicznego zarządzania EMS w ramach platform systemowych BACS i/lub BMS. Odnosząc omawiany system EMS do tabeli 6.1 cechuje się on następującymi funkcjami:

- Organizacja infrastruktury pomiaru – został zrealizowany pomiar wszystkich istotnych obwodów zasilających oraz dodatkowy pomiar szczegółowych parametrów pracy sieci. W przypadku pomiaru energii elektrycznej wszystkie zainstalowane liczniki umożliwiają pomiar: energii czynnej i biernej, mocy czynnej, biernej i pozornej, prądu, napięcia, częstotliwości, współczynnika $\cos\phi$ oraz informacji o zanikach napięcia.
- Infrastruktura obsługi danych (komunikacja) – wszystkie zainstalowane liczniki, zarówno energii cieplnej i elektrycznej, zostały wyposażone w interfejs komunikacyjny LON, który umożliwia integrację infrastruktury pomiarowej na poziomie obiektowym z systemem BACS laboratorium AutBudNet.
- Przetwarzanie danych pomiarowych – zrealizowany system EMS, dzięki integracji z systemem BACS laboratorium, umożliwia monitoring w trybie on-line wszystkich mierzonych parametrów oraz archiwizację danych pomiarowych i zaistniałych warunków wyjątkowych. Dodatkowo, zastosowane rozwiązania techniczne i wspomniana integracja, umożliwiają zrealizowanie funkcji informowania przez system nadrzędny BMS oraz samodzielne podejmowanie decyzji.
- Poziomą integrację systemu EMS z BACS i/lub BMS – zastosowanie technologii LonWorks, pozwoliło na pełną i bezproblemową integrację na poziomie obiektowym systemu EMS z istniejącym wcześniej w laboratorium systemem BACS
- Techniczne zarządzanie systemem EMS – w przypadku omawianego systemu umożliwia ono wykrywanie uszkodzeń, usterek systemów zasilania i dystrybucji energii i mediów oraz wspomaga przy ich diagnostyce. Dodatkowo zaproponowany system EMS, oferuje raportowanie (przedstawianie informacji) dotyczące zużycia energii, warunków wewnętrznych oraz informuje o możliwościach udoskonaleń.
- Opisany system EMS umożliwia łatwą rozbudowę o obsługę funkcji prosumenckich, związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej przez np. panele fotowoltaiczne. Zastosowane liczniki energii, w tym licznik główny, oferują kontrolę kierunku przepływu energii (pomiar i obsługa sprzedawanej energii) oraz wspierają niektóre z funkcji rynku Smart Grid jak np. redukcję kosztów energii przez unikanie szczytów w poborze mocy czynnej.

Jak już wspomniano, system EMS stał się integralną częścią systemu BACS. Umożliwiło to wykorzystanie do jego obsługi, opisanego w rozdziale 5.1, serwera automatyki LINX, dostępnego w ramach systemu automatyzacji laboratorium AutBudNet. Zastosowanie serwera LINX pozwoliło na gromadzenie i przetwarzanie danych pomiarowych z systemu EMS. Należy podkreślić, że wszystkie wielkości fizyczne oraz dodatkowe parametry rejestrowane przez instalację pomiarową, są dostępne jako punkty danych (zmiennne sieciowe) standardu LonWorks, a tym samym umożliwiają budowę funkcji sterującej z ich wykorzystaniem.

7. Zakończenie

W niniejszej pracy autor zaproponował i opracował modele funkcjonalne systemów automatyzacji i sterowania budynkiem dla wybranych typów obiektów. Następnie, w oparciu o analizę przypadku implementacji systemów BACS w różnych wariantach sterowania, przeprowadził ich weryfikację praktyczną, z cyklem badań i pomiarów, w różnych typach instalacji i podsystemów infrastruktury budynkowej oraz wybranych elementów otoczenia budynków.

We wstępie, opierając się na analizie dostępnej literatury, przedstawiono technologie i systemy BACS oraz ich główne obszary zastosowań. Poczynając od opisu tradycyjnych i nowoczesnych instalacji elektrycznych, scharakteryzowano rodzaje systemów sterowania spotykane w tzw. inteligentnych budynkach oraz opisano wybrane standardy automatyzacji i sterowania w budynkach.

Kolejnym etapem pracy była identyfikacja obszarów i elementów infrastruktury budynkowej i instalacji, charakteryzujących się znaczącym potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej. Bazując na dostępnej literaturze, ustawach, rozporządzeniach i dyrektywach, zdefiniowano pojęcie efektywności energetycznej. Z kolei identyfikacji poddano parametry budynków i instalacji, elementy infrastruktury energetycznej budynku oraz elementy infrastruktury sterującej i monitorującej budynku, wpływające na efektywność energetyczną.

W dalszej części pracy dokonano analizy możliwości poprawy efektywności energetycznej budynków i ich instalacji, z wykorzystaniem rozproszonych systemów automatyzacji. Opierając się na analizie dostępnej literatury, w tym odpowiednich norm branżowych, przedstawiono znaczenie funkcji automatyzacji i sterowania budynku dla poszczególnych podsystemów i instalacji technologicznych, elementów infrastruktury budynków i ich otoczenia. Przeprowadzono analizę potencjalnych obszarów integracji w systemach automatyzacji, wpływających na poprawę efektywności energetycznej infrastruktury budynkowej i instalacji oraz oceniono znaczenie określonych zbiorów funkcji rozproszonych systemów automatyzacji w tym procesie, przez przedstawienie klasyfikacji sprawności systemów automatyzacji budynków, z uwzględnieniem ich wpływu na zużycie energii w obiektach budowlanych. Opisano również koncepcję wariantów i strategii sterowania, w oparciu o zidentyfikowane funkcje i obszary integracji.

W badaniach eksperymentalnych, wykorzystując rozbudowaną infrastrukturę laboratorium AutBudNet, dokonano integracji funkcji rozproszonych systemów BACS, tak aby była możliwa implementacja opracowanych modeli funkcjonalnych dla różnych wariantów sterowania. W ramach prac badawczych zrealizowano:

- opracowanie modeli funkcjonalnych systemów automatyki dla określonych typów obiektów,
- badania i pomiary modeli funkcjonalnych przy uwzględnieniu różnych wariantów sterowania,
- szeroką analizę wyników tych badań i pomiarów przeprowadzonych w laboratorium AutBudNet,
- weryfikację zakresu oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji na efektywność energetyczną

Opracowano również wytyczne dla organizacji systemu automatyzacji zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych, jako elementu bezpośredniego otoczenia budynków, kompleksów budynkowych. W tym celu przeprowadzono pomiary parametrów eksploatacyjnych i badania możliwości funkcjonalnych systemu sterowania w instalacji pilotażowej oświetlenia przestrzeni publicznej. Badania te były podstawą ustalenia zbiorów funkcji i elementów integracji w systemach sterowania wspomnianych instalacji, prowadzących do zmniejszenia zużycia energii oraz usprawnienia procedur związanych z ich eksploatacją, serwisem i zarządzaniem. Ostatni element pracy to przedstawienie założeń i wytycznych dotyczących organizacji lokalnych systemów zarządzania energią. Realizacja tych systemów, zwłaszcza jako integralnego elementu systemu BACS, nabiera szczególnego znaczenia w perspektywie ich integracji z nadrzędnymi systemami inteligentnych sieci elektroenergetycznych Smart Grid.

7.1. Wnioski końcowe

Szczegółowe uwagi dotyczące zagadnień wynikających z celu i tezy niniejszej pracy, sformułowano w poszczególnych rozdziałach. Jednak w ramach tego podrozdziału zebrano i przedstawiono najistotniejsze z nich.

W ramach pracy przede wszystkim przeprowadzono eksperyment, którego celem było sprawdzenie i weryfikacja w praktyce wpływu systemów automatyzacji i sterowania na efektywność energetyczną budynków i ich instalacji technicznych. Działanie takie jest celowe, biorąc pod uwagę, iż nawet wnioski i metody szacowania tego wpływu podane w odpowiednich normach i standardach, są formułowane na podstawie zaawansowanych symulacji (o czym wspomina się w tych normach). Dla pomieszczeń o różnych profilach ich użytkowania (biurowy oraz sala lekcyjna), autor zaproponował a następnie zintegrował warianty sterowania infrastrukturą pomieszczeń, tak aby jak najlepiej odpowiadały one założeniom poszczególnych klas sprawności BACS, zdefiniowanych w normie PN-EN 15232. W tabeli 7.1 zamieszczono zestawienie uzyskanych, w ramach przeprowadzonych badań, wyników zużycia energii. Rezultaty te zostały przedstawione jako procentowy udział wartości wskaźnika zużycia energii, przeliczonego do powierzchni pomieszczeń w ujęciu rocznym ($m^2 \cdot rok^{-1}$), w odniesieniu do klasy D (system automatyzacji nie mający wpływu na efektywność energetyczną budynku). W tabeli 7.1 zaprezentowano osobno wyniki zużycia dla energii: całkowitej, cieplnej, elektrycznej dla potrzeb oświetlenia oraz pomocniczej energii elektrycznej, dla pomieszczeń nr 1 i 2 oraz nr 3 laboratorium AutBudNet. W prezentacji wyników nie przyjęto wspomnianego w treści pracy założenia o przedstawianiu i porównywaniu ze sobą wskaźników zużycia, tylko w miesiącach, w których doszło do konsumpcji energii. W przypadku zużycia energii całkowitej dla pomieszczeń nr 1 i 2 widoczny jest spodziewany trend wskazujący, że wraz z zastosowaniem bardziej zaawansowanego i zintegrowanego wariantu sterowania w systemie automatyzacji budynku, wzrasta jego wpływ na zmniejszenie zużycia energii i poprawę efektywności energetycznej. Podobną obserwację dla wspomnianych pomieszczeń można poczynić analizując zużycie energii cieplnej oraz pomocniczej energii elektrycznej. W tym ostatnim rodzaju zużycia energii fakt większej konsumpcji energii został wytłumaczony, wspomnianym przyjęciem w wariancie sterowania dla klasy A innych wartości punktu nastawy temperatury. Zmiana ta była konieczna, w celu poprawy komfortu użytkowania pomieszczeń.

Z tej obserwacji nasuwa się kolejny wniosek, dotyczący konieczności korelacji punktów nastaw i parametrów pracy urządzeń, w przypadku określania wpływu systemów automatyzacji na efektywność energetyczną, zwłaszcza podczas dokonywania modernizacji takich systemów. Analizując zużycie energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia dla pomieszczeń nr 1 i 2, dostrzegalny jest brak potwierdzenia założeń normy PN-EN 15232:2012 przy zmianie wariantów sterowania. Warto zauważyć, że dla poszczególnych badanych wariantów sterowania, zrealizowanych w ramach przeprowadzonego eksperymentu, zużycie energii dla potrzeb oświetlenia było podobne i porównywalne pomiędzy nimi. Z wykresów przedstawiających bezwzględne zużycie energii zsumowane za okres 6 miesięcy (rysunki nr 4.17.c – 4.20.c), można odczytać, że udział tej formy energii na tle całkowitego zużycia energii przez całe laboratorium AutBudNet wynosił ok 2%.

Poddając analizie pomieszczenie nr 3, wspomniany trend o wpływie bardziej zaawansowanych i zintegrowanych systemów automatyzacji na zmniejszenie zużycia energii i poprawę efektywności energetycznej, jest łatwo obserwowalny tylko w przypadku zużycia energii cieplnej. Analizując zużycie energii elektrycznej dla potrzeb oświetlenia, dla pomieszczenia nr 3, widoczny jest wzrost konsumpcji tej formy energii na wspomniany cel dla wariantów sterowania odpowiadających klasom C i B. Jak już wspomniano wcześniej, wyjaśnieniem takiego stanu mogą być dwa fakty. Po pierwsze, rola użytkowników pomieszczeń i tzw. czynnik ludzki. W przypadku manualnego sterowania oświetleniem, użytkownicy rzadziej decydowali się załączać oświetlenie niż miało to miejsce w przypadku zautomatyzowania tej czynności. Po drugie, niejednorodna i nierównomierna zajętość pomieszczenia w analizowanych cyklach pomiarowych. Dodatkowo, pomieszczenie nr 3 nie oferuje możliwości regulacji natężeniem oświetlenia zamontowanych w nim opraw. Podobna obserwacja jest zauważalna w zużyciu pomocniczej energii elektrycznej, przypisanej pracy wentylacji i klimatyzacji pracującej w trybie chłodzenia albo ogrzewania powietrza dostarczanego do pomieszczenia. W przypadku tym, zwiększenie zużycia energii w wariacie sterowania dla klasy C i B względem klasy D, można wytłumaczyć rolą użytkownika i tzw. czynnikiem ludzkim oraz zmianą punktów nastaw w wariacie sterowania dla klasy A. Wymienione przyczyny oddziałują na całkowite zużycie energii w pomieszczeniu nr 3, które kształtem jest podobne do zużycia energii elektrycznej dla oświetlenia oraz pomocniczej energii elektrycznej.

Tabela 7.1 Zestawienie uzyskanych wyników w odniesieniu do klasy D

	D	C	B	A
	energia całkowita			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	91,4%	79,3%	76,5%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	125,9%	113,3%	60,5%
	energia cieplna			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	93,7%	69,7%	55,9%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	93,8%	69,6%	55,8%
	energia elektryczna dla oświetlenia			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	106%	106,2%	90,9%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	135,6%	113,2%	81,7%
	pomocnicza energia elektryczna			
pomieszczenie 1 i 2 (pom. biurowe)	100%	90,1%	81%	81,8%
pomieszczenie 3 (sala lekcyjna)	100%	134,2%	126%	59,7%

Przeprowadzone badania i pomiary wskazują, że zastosowanie nowoczesnych technologii systemów automatyzacji i sterowania w celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej i zarządzania popytem na moc w instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych, jest skuteczne i ekonomicznie uzasadnione. Wyniki przeprowadzonych badań wykazują, że dla typowej instalacji oświetlenia zewnętrznego (jak źródło światła zastosowano żarówki wysoko prężne sodowe), uzyskano zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o około 45% w stosunku do instalacji wykonanej w oparciu o standardowe lampy (to samo źródło światła), nie posiadające funkcji regulacji poziomu intensywności oświetlenia.

W budynkach wyposażonych w systemy automatyzacji i sterowania, funkcje systemu zarządzania energią mogą być ściśle zintegrowane w ramach ich infrastruktury. Zdaniem autora, systemy EMS, zaprojektowane i zrealizowane według wytycznych dla zaproponowanej w niniejszej pracy kategorii A, zintegrowane w ramach jednolitej platformy systemowej BACS i/lub BMS, dodatkowo wspierają funkcjonalnie i technicznie kompleksowe działanie systemu zarządzania budynkiem, zasilaniem i mediami energetycznymi, w celu podniesienia efektywności energetycznej budynków. Wniosek ten bazuje na doświadczeniach uzyskanych w ramach praktycznej realizacji prac badawczych i analizie ich wyników.

Dodatkowo uogólnienie wspomnianych rozważań, prowadzi do sformułowania następujących wniosków końcowych, które są prawdziwe dla budynków o różnym charakterze wykorzystania. Ponadto mogą one przyjąć formę dobrej praktyki podczas planowania i realizacji systemów BACS:

- Najbardziej efektywne energetycznie będzie takie rozwiązanie i organizacja poszczególnych instalacji technologicznych budynku, aby umożliwiły one sterowanie dostawą każdej formy energii indywidualnie do każdego pomieszczenia, w zależności od zapotrzebowania. Instalacje technologiczne powinny mieć zatem zapewnioną możliwość współdziałania w zakresie oszczędnego zużycia energii. W tym celu, elementy automatyki poszczególnych instalacji technologicznych, powinny zostać zintegrowane na poziomie obiektowym. Osiągnięcie wspomnianego celu jest możliwe przy zapewnieniu podczas procesu projektowania odpowiedniej współpracy wszystkich branż.
- Implementacja wariantów i strategii sterowania uzależniających komfort (oświetlenie, temperaturę itp.) w pomieszczeniu od obecności i/lub czynników zewnętrznych, prowadzi do oszczędności energii.
- W okresie letnim należy szczególnie starannie sterować instalacjami wentylacji i klimatyzacji, ze względu na duży pobór energii przez agregaty klimatyzacji. Badania w Laboratorium AutBudNet wykazały celowość przesłaniania okien w słoneczne dni, aby nie dopuścić do nadmiernego nagrzewania pomieszczenia przez promienie słoneczne, przy jednoczesnym stosowaniu sztucznego doświetlenia pomieszczenia. Redukcja zużycia energii przez agregaty systemu klimatyzacji, które mogą wtedy pracować z mniejszą wydajnością, jest znacznie większa niż wzrost zużycia energii na oświetlenie.
- W przypadku wyposażenia budynku w rolety zewnętrzne, które mogą wpłynąć na poprawę izolacji termicznej, należy sterować przesłanianiem okien w ciągu dnia (dla zapewnienia jak największej ilości światła dziennego) oraz przesłaniać okna w nocy.
- W celu zapewnienia odpowiedniego komfortu termicznego w pomieszczeniu, ze względu na stosunkowo długie stałe czasowe nagrzewania i schładzania pomieszczeń, celowe jest stosowanie wariantów i strategii opartych na harmonogramach, do sterowania instalacjami ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Wariant taki pozwala na przygotowanie

odpowiednich warunków w pomieszczeniach przed przyjściem osób. Celowe jest natomiast uzależnienie intensywności wentylacji od obecności osób w pomieszczeniu, tak aby zapewnić odpowiednią jakość powietrza oraz stosowanie sterowalnej wentylacji VAV lub PV zamiast CAV.

- Konieczne jest wyłączenie instalacji odpowiedzialnych za ogrzewanie i/lub chłodzenie gdy otwarte są okna.
- W układach sterowania oświetleniem, największe oszczędności daje zastosowanie wariantów i strategii bazujących na obecności. Odpowiedni dobór algorytmów (np. oświetlanie części pomieszczenia) i parametrów sterowania (np. opóźnienia wyłączenia światła po wykryciu braku obecności), pozwala uzyskać znaczące oszczędności, bez utraty subiektywnie odczuwanego komfortu.
- Istotnym elementem poprawy efektywności energetycznej i komfortu w budynkach może być implementacja pomiaru natężenia oświetlenia naturalnego (co najmniej) na każdej z fasad lub w każdym pomieszczeniu o sterowanym oświetleniu. Takie podejście pozwala na automatyczne sterowanie, uzależnione od stopnia wymaganego natężenia oświetlenia, a nie rozkazu włączenia oświetlenia.
- Nowoczesne instalacje oświetlenia przestrzeni publicznych, powinny być wyposażane w system sterowania umożliwiający ich zaawansowaną integrację, mający za celu zmniejszenie ich zużycia energii.

Podsumowując wyniki badań eksperymentalnych przedstawione w rozprawie można stwierdzić, że wszystkie cele szczegółowe pracy zostały osiągnięte, a postawiona na wstępie teza mówiąca, że: ***Dobór i integracja funkcjonalności systemów automatyzacji, ma wpływ na poprawę efektywności energetycznej instalacji i obiektów budowlanych. W oparciu o analizę przypadku implementacji systemów automatyzacji w różnych wariantach sterowania, istnieje możliwość weryfikacji zakresu tego wpływu oraz ustalenie poziomu integracji funkcji operatorskich i zarządzania, istotnych dla osiągnięcia zadanego celu*** została udowodniona.

7.2. Zarys kierunków dalszych badań

W ramach dalszych prac badawczych związanych z poruszaną w niniejszej pracy tematyką, autor zamierza:

- mając na uwadze rosnące znaczenie i zastosowanie technologii IoT w budynkach, zidentyfikować i opracować zbiory funkcji sterowania, umożliwiające poprawę efektywności energetycznej, z wykorzystaniem nowych elementów oferowanych przez tę technologię,
- opracować rozwiązania i narzędzia ułatwiające pracę osób zaangażowanych w proces projektowania i wykonawstwa nowoczesnych budynków, tak aby poszczególni branżyści posiadali świadomość wpływu danej instalacji technologicznej, na proces integracji systemów BACS,
- przeprowadzić podobne do opisanych w pracy badania, weryfikując i oceniając wpływ systemów automatyzacji i sterowania budynkiem dla innych typów obiektów,
- wykorzystać wiedzę i doświadczenie zdobyte w trakcie zrealizowanych prac w działalności dydaktycznej.

- opracować koncepcję integracji instalacji Street Lighting, realizowanych w oparciu o otwarte rozproszone systemy sterowania, w ramach projektów tzw. inteligentnych miast – Smart City, umożliwiającą integrację z innymi podsystemami monitoringu i sterowania obiektów infrastrukturalnych.

Indeks oznaczeń, skrótów, terminów obcojęzycznych

ANSI - American National Standards Institute – instytucja zajmująca się opracowywaniem norm technicznych w Stanach Zjednoczonych. We współpracy z innymi organizacjami normalizacyjnymi, uczestniczy w tworzeniu wielu norm o zasięgu międzynarodowym.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa, Wentylacji i Klimatyzacji jest największym stowarzyszeniem inżynierów i techników na świecie.

BAC - Building Automation and Control - automatyzacja i sterowanie budynkiem

BACnet - **B**uilding **A**utomation and **C**ontrol **N**etworks - otwarty standard automatyki budynkowej PN-EN ISO 16484.

BACS – Building Automation and Control System - System automatyzacji i sterowanie budynkiem.

BMS – Building Management System – system zarządzania budynkiem.

DALI - Digital Addressable Lighting Interface – standard sterowania oświetleniem IEC 62386.

EIBA/KONEX - European Installation BUS Association – organizacja zajmująca się rozpowszechnianiem, rozwijaniem i ochroną standard EIB/KNX.

EIB/KNX - European Installation BUS – otwarty standard automatyki budynkowej ISO/IEC 14543-3.

EHS - European Home Systems – standard automatyki budynkowej, zastąpiony standardem KNX.

EMS – Energy Management System - system zarządzania energią.

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive - dyrektywy UE dotyczące właściwości energetycznych budynków.

Gateway – urządzenie umożliwiające komunikację pomiędzy dwoma różnymi protokołami transmisji danych.

HMI - Human-Machine Interface - ogół składników służących do obsługi urządzenia przez człowieka, umożliwiające sterowanie nim lub wizualizację jego stanu.

HVAC – Heating, Ventilation, Air Condition – skrót używany do określenia grupy urządzeń i instalacji technologicznych odpowiedzialnych za ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja.

IoT - Internet of Things – Internet Rzeczy.

ISO - International Organization for Standardization - Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna.

LON – Local Operating Network – lokalna sieć sterowania dla systemów automatyki.

LonMark - organizacja zajmująca się rozpowszechnianiem, rozwijaniem i ochroną standardu LonWorks.

LonTalk – Protokół sieciowy używany w sieci LON. Definiuje standard komunikacji w technologii LonWorks.

LonWorks - otwarty standard automatyki budynkowej PN-EN ISO/IEC 14908.

MAC - Medium Access Control - podwarstwa warstwy łącza danych zarządzająca dostępem do medium transmisyjnego oraz adresowaniem.

OZE – odnawialne/alternatywne źródła energii.

P2P - Protokół komunikacji sieciowej peer-to-peer czyli wymiana danych pomiędzy modułami, węzłami sieci na zasadzie każdy z każdym, na równych prawach.

PICS - Protocol Implementation Conformance Statement – dokumentacja zgodności danego

urządzenia w technologii BACnet.

Router – łącznik systemowy; ma możliwość połączenia dwu lub więcej podsieci w jedną sieć. W niektórych zastosowaniach ma możliwość filtrowania komunikatów w sieci transmisji danych.

SMS – Security Management System - system zarządzania bezpieczeństwem.

SNR – Signal to Noise Ratio - stosunek sygnału (użytecznego) do szumu we wszelkich urządzeniach elektronicznych oraz w telekomunikacji analogowej i cyfrowej.

SNVT – Standard Network Variable Type – standardowe typy zmiennych sieciowych. Zmienne te wykorzystywane są w komunikacji w technologii LonWorks.

SSWiN – System Sygnalizacji Włamania i Napadu.

TBM – Technical Building Management – techniczne zarządzanie budynkiem.

Transceiver – urządzenie realizujące elektryczne i mechaniczne połączenie mikroprocesora z określonym fizycznym medium transmisji danych.

Własności konfiguracyjne – Configuration Properties – ustandaryzowane struktury danych służące do konfiguracji urządzeń w instalowanych w ramach infrastruktury systemów sterowania i automatyzacji.

VAV - Variable Air Volume – system klimatyzacji ze zmienną ilością powietrza nawiewanego i wywiewanego.

Bibliografia:

- [1] U.S. Energy Information Administration, „Energy Review”, 2016.
- [2] J. Golenia i J. Grela, „Integracja funkcjonalności inteligentnego budynku w standardzie LonWorks w laboratorium oceny efektywności energetycznej i automatyki budynków”, 2010.
- [3] A. Ahuja i R. Moore, „Integracja automatyki budynkowej oznacza lepszą wydajność”. [Online]. Dostępne na: <http://www.inteligentnybudynek.eu/artukul/article/integracja-automatyki-budynkowej-oznacza-lepsza-wydajnosc/>. [Udostępniono: 07-paź-2016].
- [4] A. Ozadowicz, „Analiza porównawcza dwóch systemów sterowania inteligentnym budynkiem-systemu europejskiego EIB/KNX oraz standardu amerykańskiego na bazie technologii LonWorks”, 2006.
- [5] V. Marinakis, C. Karakosta, H. Doukas, S. Androulaki, i J. Psarras, „A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption”, *Sustain. Cities Soc.*, t. 6, ss. 11–15, luty 2013.
- [6] S. Electric, „Measurement and Management of Energy Performance in Office Buildings”, 2010.
- [7] O. Hersent, D. Boswarthick, i O. Elloumi, *The Internet of Things. Applications to the Smart Grid and Building Automation*. A John Wiley & Sons, Ltd., 2012.
- [8] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, i M. Palaniswami, „Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”, *Futur. Gener. Comput. Syst.*, t. 29, nr 7, ss. 1645–1660, wrz. 2013.
- [9] A. J. Jara, P. Moreno-Sanchez, A. F. Skarmeta, S. Varakliotis, i P. Kirstein, „IPv6 addressing proxy: mapping native addressing from legacy technologies and devices to the Internet of Things (IPv6)”, *Sensors (Basel)*, t. 13, nr 5, ss. 6687–712, sty. 2013.
- [10] Z. Piątek, „Przemysłowe sieci komunikacyjne – raport techniczno-rynkowy (druga edycja)”. [Online]. Dostępne na: <http://automatyzacja2b.pl/raporty/2359-przemyslowe-sieci-komunikacyjne-raport-techniczno-rynkowy-druga-edycja>. [Udostępniono: 07-paź-2016].
- [11] M. Jung, C. Reinisch, i W. Kastner, „Integrating building automation systems and IPv6 in the internet of things”, *Proc. - 6th Int. Conf. Innov. Mob. Internet Serv. Ubiquitous Comput. IMIS 2012*, ss. 683–688, 2012.
- [12] J. Young, „BIoT BUILDING Internet of Things”, *AutomatedBuildings.com*. [Online]. Dostępne na: <http://www.automatedbuildings.com/news/mar14/articles/realcomm/140219043909realcomm.html>.
- [13] Echelon Corporation, „Introduction to the LonWorks Platform”, 2009.
- [14] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek, i H. M. Newmann, „Communication Systems for Building Automation and Control”, *Proc. IEEE*, t. 93, nr 6, ss. 1178–1203, cze. 2005.
- [15] KNX_Association i B. Control, „Introduction to KNX and Konnex”, t. 32, nr 0, 2004.
- [16] H. M. Newman, „BACnet – A Tutorial Overview”. [Online]. Dostępne na: <http://www.bacnet.org/Tutorial/HMN-Overview/sld001.htm>. [Udostępniono: 07-paź-2016].
- [17] H. R. Kranz, „BACnet in der Gebaudetechnik”, w *KNX Conference*, 2006.
- [18] IEC 62386-101:2014, *Digital addressable lighting interface - Part 101: General requirements - System components*. .
- [19] M. Noga, A. Ozadowicz, J. Grela, i G. Hayduk, „Active consumers in smart grid systems - Applications of the building automation technologies”, *Electr. Rev.*, t. 89, ss. 227–233, 2013.
- [20] I. E. A. OECD/IEA, „Work on Sustainable Buildings”, 2013.
- [21] E. Commission, „National reports on energy performance requirements”, 2013.
- [22] WNT, „Energia”, *Encyklopedia techniki - podstawy techniki WNT*. s. 155, 1994.
- [23] Praca zbiorowa pod redakcją Mariana Nogi, „Załącznik nr 1 do raportu końcowego z realizacji projektu badawczego Nr n 511 312240; Tytuł projektu: Metodyka narzędzia do oceny poprawy efektywności energetycznej budynków użyteczności publicznej w wyniku zastosowania urządzeń i systemów automatyki bud”, 2014.
- [24] PN-EN ISO 16484-2, „Systemy automatyzacji i sterowania budynków (BACS) -- Część 2: Sprzęt”, 2005.
- [25] PN-EN ISO 16484-3, „Systemy automatyzacji i sterowania budynków (BACS) -- Część 3: Funkcje”, 2007.
- [26] PN-EN ISO 16484-1, „Systemy automatyzacji i sterowania budynków (BACS) -- Część 1: Specyfikacja i realizacja projektu”, 2012.
- [27] PN-EN 12098-1, „Sterowanie systemami ogrzewania -- Część 1: Urządzenia sterujące systemów ogrzewania gorącą wodą”, 2013.
- [28] PN-EN 12098-3, „Sterowanie systemami ogrzewania -- Część 3: Urządzenia sterujące elektrycznych systemów ogrzewania”, 2013.
- [29] PN EN 15316-2-1, „Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania zapotrzebowania na energię instalacji i sprawności instalacji -- Część 2-1: Instalacje emisji ciepła”, 2007.
- [30] PN EN 15243, „Wentylacja budynków -- Obliczanie temperatury wewnętrznej, obciążenia i energii w budynkach wyposażonych w systemy klimatyzacji”, 2011.

- [31] PN-EN ISO 13790, „Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia”, 2009.
- [32] PN-EN 15500, „Sterowanie w zastosowaniu do ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji -- Urządzenia elektroniczne do indywidualnego sterowania strefowego”, 2009.
- [33] PN-EN 15232, „Energetyczne właściwości budynków -- Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami”, 2012.
- [34] PN-EN 15316-2-3, „Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania zapotrzebowania na energię instalacji i sprawności instalacji -- Część 2-3: Instalacje rozprowadzania ciepła”, 2007.
- [35] PN-EN 15316-4-1, „Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło i oceny sprawności instalacji -- Część 4-1: Źródła ciepła do ogrzewania miejscowego, kotły”, 2008.
- [36] PN-EN 15316-4-5, „Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło i oceny sprawności instalacji -- Część 4-5: Źródła ciepła do ogrzewania miejscowego, wydajność i sprawność systemów ciepłowniczych i dużych instalacji ogrzewania”, 2007.
- [37] PN-EN 15316-4-2, „Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło i oceny sprawności instalacji -- Część 4-2: Źródła ciepła do ogrzewania miejscowego, instalacje z pompami ciepła”, 2008.
- [38] PN-EN 15242, „Wentylacja budynków -- Metody obliczeniowe do wyznaczania strumieni objętości powietrza w budynkach z uwzględnieniem infiltracji”, 2009.
- [39] PN-EN 15241, „Wentylacja budynków -- Metody obliczania strat energii w budynkach spowodowanych wentylacją i infiltracją powietrza”, 2011.
- [40] PN-EN 15217, „Charakterystyka energetyczna budynków -- Metody wyrażania charakterystyki energetycznej i certyfikacji energetycznej budynków”, 2008.
- [41] PN-EN 15603, „Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Całkowite wykorzystanie energii i definicja wskaźników energetycznych”, 2008.
- [42] P. Kwasnowski, „Ocena wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków w świetle normy PN-EN 15232 Cz. 1”, *Intel. Budynkek - Nowocz. Technol. dla inżynierów*, t. 1, ss. 34–37, 2013.
- [43] P. Kwasnowski, „Ocena wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków w świetle normy PN-EN 15232 Cz. 3”, *Intel. Budynkek - Nowocz. Technol. dla inżynierów*, t. 3, 2013.
- [44] P. Kwasnowski, „Ocena wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków w świetle normy PN-EN 15232 Cz. 4”, *Intel. Budynkek - Nowocz. Technol. dla inżynierów*, t. 4, 2013.
- [45] LonMark, „LonMark Functional Profile : VAV Controller (VAV) #8010”, 1996.
- [46] LonMark, „LonMark Functional Profiles List”. [Online]. Dostępne na: http://www.lonmark.org/technical_resources/resource_files/spid_master_list#DeviceClasses. [Udostępniono: 18-paź-2016].
- [47] Praca zbiorowa pod redakcją Mariana Nogi, *AutBudNet: sieć certyfikowanych laboratoriów oceny efektywności energetycznej i automatyki budynków: standardy – laboratoria – certyfikacja: technologia LonWorks®: PN-EN ISO/IEC 14908*. 2011.
- [48] VDI 3813, „Gebäudeautomation (GA) - Raumautomation”, 2011.
- [49] The European PPP Expertise Centre (EPEC), „Energy Efficient Street Lighting: Guidelines”, 2010.
- [50] European Commission, „Lighting the Cities. Accelerating the Deployment of Innovative Lighting in European Cities”, Brussels, 2013.
- [51] S. Mohamed, „Smart Street Lighting Control and Monitoring System for Electrical Power Saving by Using VANET”, *Int. J. Commun. Netw. Syst. Sci.*, t. 6, nr 8, ss. 351–360, 2013.
- [52] SungKwan Cho i V. Dhingra, „Street lighting control based on LonWorks power line communication”, w *2008 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, 2008, ss. 396–398.
- [53] Q. Li-jun, S. Zi-zheng, i J. Feng, „Intelligent streetlight energy-saving system based on LonWorks power line communication technology”, w *2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, 2011, ss. 663–667.
- [54] Echelon Corp., „Echelon Control Network Solutions Save Energy with Smart Street Lighting in China”, *Echelon News*, ss. 1–4, 2011.
- [55] M. Noga, A. Ożadowicz, J. Grela, i G. Hayduk, „Active Consumers in Smart Grid Systems-Applications of the Building Automation Technologies”, *Electr. Rev.*, nr 6, ss. 227–233, 2013.
- [56] P. Palensky i D. Dietrich, „Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads”, *IEEE Trans. Ind. Informatics*, t. 7, nr 3, ss. 381–388, sie. 2011.
- [57] J. A. Oliveira-Lima, V. Delgado-Gomes, J. F. Martins, i C. Lima, „Standard-based service-oriented infrastructure to integrate intelligent buildings in distributed generation and smart grids”, *Energy Build.*, t. 76, ss. 450–458, cze. 2014.
- [58] S. Pizzuti, M. Annunziato, i F. Moretti, „Smart street lighting management”, *Energy Effic.*, t. 6, nr 3, ss. 607–616, sie. 2013.
- [59] Echelon Corp., Echelon Corporation, i Echelon Corp., „Monitored Outdoor Lighting A profitable and strategic opportunity for cities and streetlight maintenance companies”, *Echelon Whitepapers*, 2007. .

- [60] R. Müllner i A. Riener, „An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system”, *Int. J. Pervasive Comput. Commun.*, t. 7, nr 2, ss. 147–161, 2011.
- [61] J.-C. C. Hsieh i J.-L. L. Lin, „Novel Single-Stage Self-Oscillating Dimmable Electronic Ballast With High Power Factor Correction”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, t. 58, nr 1, ss. 250–262, sty. 2011.
- [62] C.-S. S. Moo, C.-K. K. Huang, K.-H. H. Lee, i D.-J. J. Huang, „Repeatedly Resonating Ignition Circuit for HID Lamp Electronic Ballasts”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, t. 58, nr 1, ss. 244–249, sty. 2011.
- [63] A. Gutierrez-Escolar, A. Castillo-Martinez, J. M. Gomez-Pulido, J.-M. Gutierrez-Martinez, E. P. D. González-Seco, i Z. Stapic, „A review of energy efficiency label of street lighting systems”, *Energy Effic.*, nr 2004, maj 2016.
- [64] A. Onat, T. Naskali, E. Parlakay, i O. Mutluer, „Control Over Imperfect Networks: Model-Based Predictive Networked Control Systems”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, t. 58, nr 3, ss. 905–913, mar. 2011.
- [65] P. Sutterlin i W. Downey, „A Power Line Communication Tutorial - Challenges and Technologies”, w *International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, 1998, ss. 15–29.
- [66] T. Dragičević, J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, T. Dragicevic, i J. M. Guerrero, „A distributed control strategy for coordination of an autonomous LVDC microgrid based on power-line signaling”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, t. 61, nr 7, ss. 3313–3326, 2014.
- [67] Echelon Corporation, „i.LON 100 e3 Users Guide”, 2006.
- [68] S. Soucek i T. Sauter, „Quality of service concerns in IP-based control systems”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, t. 51, nr 6, ss. 1249–1258, 2004.
- [69] M. Noga, A. Ożadowicz, i J. Grela, „Modern, certified building automation laboratories AutBudNet – put “learning by doing” idea into practice”, *Electr. Rev.*, nr 11, ss. 137–141, 2012.
- [70] G. LOYTEC electronics, „L-INX Automation Servers”, 2016. [Online]. Dostępne na: <https://www.loytec.com/products/linx>. [Udostępniono: 20-paź-2016].
- [71] G. LOYTEC electronics, „L-VIS Touch Panels”, 2016. .
- [72] G. Metrawatt, „Elektroniczny licznik energii czynnej i biernej U1281”, 2016.
- [73] M. Burgos-Payan, F.-J. Correa-Moreno, i J.-M. Riquelme-Santos, „Improving the energy efficiency of street lighting. A case in the South of Spain”, w *2012 9th International Conference on the European Energy Market*, 2012, ss. 1–8.
- [74] A. Ozadowicz i J. Grela, „The street lighting integrated system case study, control scenarios, energy efficiency”, w *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 2014, ss. 1–4.
- [75] L. L. Fernandes, E. S. Lee, D. L. DiBartolomeo, i A. McNeil, „Monitored lighting energy savings from dimmable lighting controls in The New York Times Headquarters Building”, *Energy Build.*, t. 68, ss. 498–514, sty. 2014.
- [76] N. Djuric i V. Novakovic, „Correlation between standards and the lifetime commissioning”, *Energy Build.*, t. 42, nr 4, ss. 510–521, kwi. 2010.
- [77] P. Schönenberger, „eu.bac System”, *Energy Build.*, t. 100, ss. 16–19, sie. 2015.
- [78] S. Alzubaidi i P. K. Soori, „Study on energy efficient street lighting system design”, w *2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference*, 2012, nr June, ss. 291–295.
- [79] H. S. H. Chung, N. M. Ho, S. Y. R. Hui, i W. Z. Mai, „Case study of a highly-reliable dimmable road lighting system with intelligent remote control”, w *2005 European Conference on Power Electronics and Applications*, 2005, s. 1 pp.-pp.P.10.
- [80] F. I. Vázquez i W. Kastner, „Usage profiles for sustainable buildings”, *2010 IEEE 15th Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. (ETFA 2010)*, ss. 1–8, wrz. 2010.
- [81] M. Moreno, B. Úbeda, A. Skarmeta, i M. Zamora, „How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?”, *Sensors*, t. 14, nr 6, ss. 9582–9614, maj 2014.
- [82] D.-M. Han i J.-H. Lim, „Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee”, *IEEE Trans. Consum. Electron.*, t. 56, nr 3, ss. 1417–1425, sie. 2010.
- [83] C. Xingwang, W. Shujing, W. Renlong, X. Cai, S. Wang, R. Wu, C. Xingwang, W. Shujing, W. Renlong, X. Cai, S. Wang, i R. Wu, „LonWorks based standby electric equipment energy saving management system”, w *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 2011, ss. 1533–1536.
- [84] R. Missaoui, H. Joumaa, S. Ploix, i S. Bacha, „Managing energy Smart Homes according to energy prices: Analysis of a Building Energy Management System”, *Energy Build.*, t. 71, ss. 155–167, mar. 2014.
- [85] A. Al-Mulla i A. Elsherbini, „Demand management through centralized control system using power line communication for existing buildings”, *Energy Convers. Manag.*, t. 79, ss. 477–486, mar. 2014.
- [86] A. Ożadowicz, „Zarządzać energią z głową: OpenADR – dwukierunkowa komunikacja dostawcy energii–odbiorcy”, *Energ. Ciepl. i Zawodowa*, ss. 109–112, 2013.

Streszczenie

Nowo budowane oraz modernizowane budynki, są obiektami wyposażonymi w urządzenia, instalacje i systemy, zużywające różne formy energii. W branży budowlanej prowadzone są poszukiwania rozwiązań mających zapewnić poprawę komfortu użytkowania budynków i ich infrastruktury, wzrost bezpieczeństwa użytkowników oraz ograniczenie zużycia energii. Wymuszają one stosowanie środków, zarówno technicznych jak i programowych, umożliwiających sterowanie i zarządzanie wspomnianymi elementami infrastruktury. Dlatego we współczesnych budynkach, implementowane są między innymi systemy automatyzacji i sterowania, które umożliwiają nadzorowanie, sterowanie, harmonogramowanie, alarmowanie i rejestrację danych historycznych, instalacji technologicznych i urządzeń. Oprócz automatyzacji odpowiednich procesów, nadrzędnym celem takich systemów powinna być taka organizacja sterowania podsystemami, aby działały one niezawodnie i efektywnie. Obserwacja opisanych trendów rozwojowych systemów sterowania i zarządzania infrastrukturą budynków, były podstawą sformułowania tezy niniejszej dysertacji doktorskiej w postaci: „Dobór i integracja funkcjonalności systemów automatyzacji, ma wpływ na poprawę efektywności energetycznej instalacji i obiektów budowlanych. W oparciu o analizę przypadku implementacji systemów automatyzacji w różnych wariantach sterowania, istnieje możliwość weryfikacji zakresu tego wpływu oraz ustalenie poziomu integracji funkcji operatorskich i zarządzania, istotnych dla osiągnięcia zadanego celu”.

Głównym problemem badawczym przedstawionej rozprawy jest weryfikacja zakresu oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji na efektywność energetyczną podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach. W tym celu, autor prezentuje w niej następujące osiągnięcia, stanowiące oryginalny wkład w dziedzinę. W pierwszej części, bazując na dostępnej literaturze, ustawach, normach, rozporządzeniach i dyrektywach, zdefiniowano pojęcie efektywności energetycznej. Następnie zidentyfikowano obszary oraz elementy infrastruktury budynkowej i instalacji, charakteryzujące się znaczącym potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej. Określono również, parametry budynków i instalacji, elementy infrastruktury energetycznej budynku oraz elementy infrastruktury sterującej i monitorującej, wpływające na efektywność energetyczną. W dalszej części pracy dokonano analizy możliwości poprawy efektywności energetycznej budynków i ich instalacji, z wykorzystaniem rozproszonych systemów automatyzacji. Opierając się na analizie dostępnej literatury, w tym odpowiednich norm branżowych, przedstawiono znaczenie funkcji automatyzacji i sterowania budynku dla poszczególnych podsystemów i instalacji technologicznych, elementów infrastruktury budynków oraz ich otoczenia. Autor zaprezentował również koncepcję wariantów i strategii sterowania, w oparciu o zidentyfikowane wcześniej funkcje i obszary integracji. W badaniach eksperymentalnych dokonano integracji funkcji rozproszonych systemów automatyzacji i sterowania budynków, tak aby była możliwa implementacja zaproponowanych i opracowanych przez autora modeli funkcjonalnych dla różnych wariantów sterowania. W dalszej kolejności przeprowadzono pomiary i analizę wyników. Przedstawione w pracy wyniki badań, będące efektem przeprowadzonego eksperymentu, zostały uzyskane dzięki infrastrukturze laboratorium Oceny Efektywności Energetycznej i Automatyki Budynków „AutBudNet”, funkcjonującego na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej krakowskiej

AGH. Laboratorium to jest wyposażone w kompleksową instalację automatyki budynkowej, bazującą na standardzie LonWorks. Infrastruktura ta stanowi unikalny obiekt badawczy, z możliwością implementacji i obserwacji różnych algorytmów, wariantów i strategii sterowania, w pomieszczeniach wyposażonych w podsystemy oświetlenia, ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, kontroli dostępu, otwarcia i zamknięcia okien oraz rolet, monitorowania zużycia energii elektrycznej oraz ciepłej i inne. Wszystkie te elementy infrastruktury pomieszczeń laboratorium AutBudNet sterowane są modułami sieci LonWorks, z możliwością pełnej integracji i wymiany danych sterujących oraz monitoringu ich stanu. W kolejnej części pracy przeprowadzono badania i pomiary pilotażowej instalacji oświetlenia przestrzeni publicznej, sterowanej za pomocą systemu automatyzacji wykorzystywanego w budynkach. Badania te były podstawą ustalenia zbiorów funkcji i elementów integracji w systemach sterowania tego typu instalacji, prowadzących do zmniejszenia zużycia energii oraz przyczyniły się do opracowania wytycznych dla organizacji systemu automatyzacji, zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych, jako elementu bezpośredniego otoczenia budynków, kompleksów budynkowych. W ostatniej części pracy przedstawiono założenia i wytyczne dotyczące organizacji lokalnych, budynkowych systemów zarządzania energią. Rozwiązania te, zrealizowane zwłaszcza jako integralne elementy systemu automatyzacji i sterowania budynkiem, dodatkowo wspierają funkcjonalnie i technicznie kompleksowe działanie systemu zarządzania budynkiem, zasilaniem i mediami energetycznymi, w celu podniesienia efektywności energetycznej budynków.

Wyniki badań eksperymentalnych przedstawione w rozprawie pokazują, że cele szczegółowe pracy zostały osiągnięte, a postawiona na wstępie teza została udowodniona.

Abstract

Nowadays, new or renovated buildings are equipped with the devices, technical installations and systems, which consume different forms of energy. Moreover, providing comfort and safety as well as energy performance is very important in this field, taking into account solutions for control and management of these elements of the infrastructure. Therefore, modern buildings are equipped with Building Automation and Control Systems (BACS). The BACS provide effective control and monitoring functions for heating, ventilation, cooling, hot water distribution, lighting, access control etc., and allow supervision, control, scheduling, alarming and trending - historical data logging. Mentioned systems and their functions should and could improve operational and energy efficiencies. Observations of these trends and possibilities developments have been direct inspirations in formulation of a main doctoral thesis: *"The selection and integration of the automation systems' functions, have an impact on improving the energy efficiency of buildings and their technical installations. It is possible to verify the extent of that impact and determine the level of integration of operator functions and management, essential for achieving the specified purpose, based on case study implementation of automation systems in various control"*. This refers to the analysis of the impact of BACS on energy performance and energy use in buildings and their technical installations.

An objective of this dissertation is to investigate the impact of the integrated BACS functions on energy efficiency of devices, technical installations and systems in buildings. The author presents the following elements which have an original contribution to the field. Based on the available literature, laws, standards, regulations and directives, the energy efficiency term is defined. Building infrastructure elements and integration areas with significant potential for energy efficiency improvements have been identified. The parameters of buildings and buildings' energy infrastructure elements as well as control and monitoring infrastructure elements of the building, that influence the energy efficiency have been identified as well. Then, an analysis of use of distributed automation systems capabilities to improve the energy efficiency of buildings and their installation is presented. Importance of the building automation and control for the particular subsystems and technical installations has been shown. Based on the identified functions and integration areas, the author has introduced the concept of the variants and strategies in control with the integrated BACS. The experiment was carried out to integrate the BACS functions, to provide implementation of the proposed and developed by the author functional models for different variants of control. The measurements and results analysis have been carried out. Experiment and all the studies have been conducted in the Certified Laboratories Network for Energy Efficiency and Building Automation - AutBudNet in AGH UST Krakow. This laboratory is equipped with infrastructure of the BACS and building management system (BMS), based on the European and international standard ISO/IEC 14908 (LonWorks) for distributed control system. With this infrastructure, it is possible to implement classical building automation functions such as lighting, heating and ventilation control, access control, and more. Additionally, the automation system can operate on the field level, providing remote monitoring and management of different subsystems and technical installations. It allows use laboratory rooms as real object for research of functionalities and features of building automation systems and their influence on operation of the buildings. In the next part of the thesis, study and measurements of a pilot street lighting (SL) installation, controlled

by the automation system used in buildings is presented. This study has been the basis for determining the sets of functions and integration levels of the SL control systems to provide a reduction in energy consumption. The author has developed guidelines for the organization of the automation system oriented to improve the energy efficiency of SL. Assumptions and guidelines for the organization of building energy management systems (BEMS) are presented in a dissertation as well. These solutions implemented as an integral part of the BACS could support functionality and operation of the technical building management system and shall improve the energy efficiency of buildings as well. The results of this study indicate that sub-goals have been achieved.

Gathering all studies, experiments and analyses of their results presented in doctoral thesis, it is possible to notice that the main thesis of this doctoral dissertation has been proven.