

Inteligentne Systemy Sterowania Automatyką Budynków w służbie efektywności energetycznej i bezpieczeństwa

Mariusz Jabłoński

O siedla i miasta inteligentnych budynków od dawna nie stanowią już tylko kadru z filmów science fiction. Obecnie to rzeczywistość, która przenika do naszej codzienności, a wszystkie branże stowarzyszone, jak elektryczna, budowlana czy HVAC (*Heating, Ventilation, Air Conditioning*) muszą sprostać coraz większym oczekiwaniom i spełniać rosnące wymagania prawne, ekonomiczne oraz efektywności energetycznej budynków. Z każdym rokiem wzrasta również zapotrzebowanie na specjalistów z zakresu szeroko rozumianego inteligentnego budownictwa, gdzie wymagane jest interdyscyplinarne łączenie wiedzy z zakresu mechaniki, automatyki, elektrotechniki, chemii, budownictwa, architektury, zarządzania oraz inżynierii środowiska. Połączenie dziedzin zapewnia uniwersalne kompetencje wymagane do skutecznego wykonywania zadań z zakresu projektowania, programowania oraz integracji systemów zarządzania w inteligentnych i energooszczędnych budynkach. Powstają nowe kierunki studiów, jak np. Systemy Sterowania Inteligentnymi Budynkami na Politechnice Łódzkiej (studia 1. oraz 2. stopnia) [1] – rys. 1.

Wprowadzenie

Inteligentne Systemy Sterowania Automatyką Budynków stanowią obecnie połączenie systemów BMS (*Building Management System*), BACS (*Building Automation and Control Systems*), TBS (*Technical Building Systems*), systemów monitorowania i zarządzania energią EMS (*Energy Management Systems*), integracji instalacji budynkowych systemów teletechnicznych oraz dyrektywy EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) [2] – rys. 2.

Powyższe rozwiązania uczą jak projektować budynki bezpieczne i efektywne energetycznie oraz tworzyć algorytmy nadzorujące, ukierunkowane na zapewnienie komfortu użytkowników, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju i zeroemisyjności. Pozwalają poznawać układy zasilania budynków, systemów teletechnicznych, technologie OZE, ciepła, chłodu i energii elektrycznej, systemy zintegrowane z budynkiem, systemy HVAC i oświetlenia. Zapewniają właściwy mikroklimat w pomieszczeniach, co ma znaczący wpływ na stan zdrowia człowieka i możliwości jego regeneracji.



↑ Rys. 1. Laboratorium „Inteligentne Piętro” w Katedrze Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej z zainstalowanym sprzętem wykorzystywanym obecnie w rzeczywistych obiektach, [3]

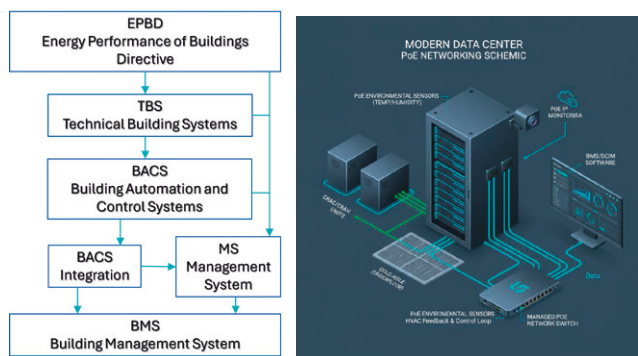
Inteligentne systemy automatyki budynków

Działając w sposób zintegrowany, systemy BACS/BMS poprawiają efektywność energetyczną poprzez automatyzację funkcji i realizację scenariuszy oraz ciągłe monitorowanie parametrów budynku, optymalizację pracy urządzeń technicznych, analizę danych eksploatacyjnych, a także adaptację do zmieniających się warunków zewnętrznych i potrzeb użytkowników, [7]. Dzięki temu możliwe jest utrzymanie wysokiego standardu komfortu przy minimalnym zużyciu energii, zapewnienie ciągłości działania systemów, a także wspieranie celów zrównoważonego rozwoju i minimalizacji śladu węglowego budynków, [8] – rys. 2.

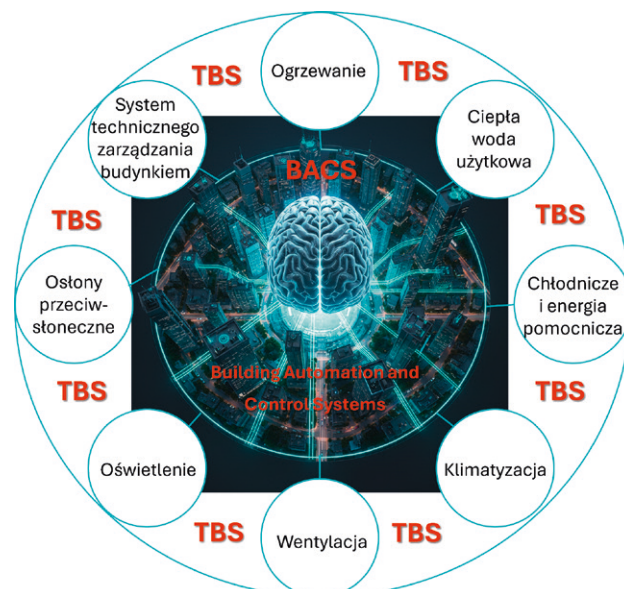
Dla lepszego zobrazowania zależności i funkcjonalności inteligentnych systemów sterowania budynkiem, możemy kolejno podać, że:

- dyrektywa EPBD jest dokumentem prawnym,
- systemy TBS (techniczne systemy budynku – HVAC, oświetlenie, itp.) zawierają elementy automatyki i sterowania,
- systemy BACS zapewniają inteligentne zarządzanie TBS,
- systemy BMS to platforma integrująca BACS, zarządzająca całym budynkiem, która realizuje wymagania EPBD poprzez optymalizację działania TBS.

Jeśli zaczniemy teraz analizować każdy z wymienionych elementów, okazuje się, że pełni on określone funkcje w systemie automatyki budynkowej:



↑ Rys. 2. Systemy BACS, BMS, TBS i dyrektywa EPBD stanowią inteligentne centrum zarządzania energią, komfortem i bezpieczeństwem nowoczesnych budynków, koncepcja i opracowanie własne [8, 15]



↑ Rys. 3. Systemy TBS, jako elementy składowe systemu BACS, opracowanie własne, grafika wspierana AI

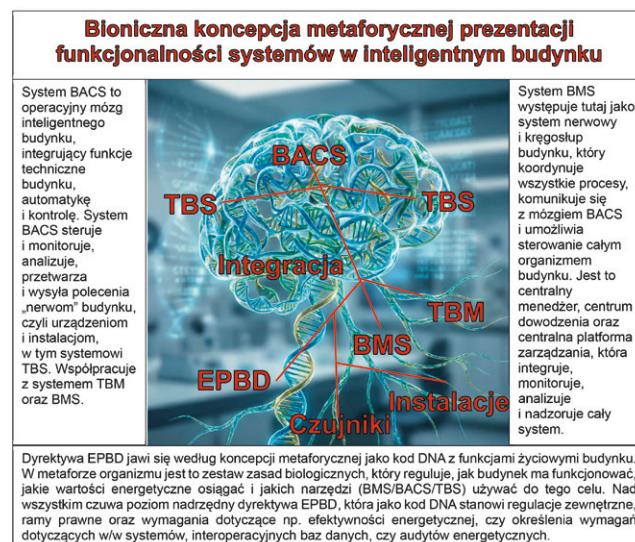
a) System BACS, system automatyki budynkowej – automatyka wykonawcza (mikro-kontrolery i sterowniki, czujniki, algorytmy). Główne zadania: zbiera dane z czujników, podejmuje decyzje sterujące, koordynuje pracę systemów jak: ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, oświetlenie itp. – rys. 3.
b) System BMS, stanowi rozszerzenie BACS – system nadrzędny, platforma do zarządzania i analizy danych (interfejs użytkownika, raporty, big data, optymalizacja), który integruje wszystkie podsystemy w jednym centrum zarządzania, wizualizuje dane z BACS, umożliwia operatorowi nadzór, analizę i optymalizację, zapewnia konserwację, alarmowanie, raportowanie i komunikację.

c) Dyrektywa EPBD – to dyrektywa o charakterystyce energetycznej budynków uaktualniona w 2024 r., stanowi ramy prawne, cele i wytyczne UE, dotyczące efektywności energetycznej, które określają jakie budynki mają osiągać klasy energetyczne, kiedy muszą być wyposażone w systemy BACS/BMS (np. od 2026 r. obowiązek BACS w większych budynkach), w jaki sposób monitorować i raportować zużycie energii.

d) System TBS, pojęcie wprowadzone i stosowane w ramach dyrektywy EPBD. TBS oznacza techniczne systemy budynku, czyli wszystkie instalacje wpływające na energię i komfort: ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, przygotowanie ciepłej wody, oświetlenie, sterowanie i automatykę (czyli część BACS).

e) System TBM (*Technical Building Management*) – zarządzanie techniczne budynkiem TBM, to warstwa nadzoru, sterowania i optymalizacji nad systemami TBS. Często utożsamiana z systemem BMS. System TBM posiada jednak następujące cechy:

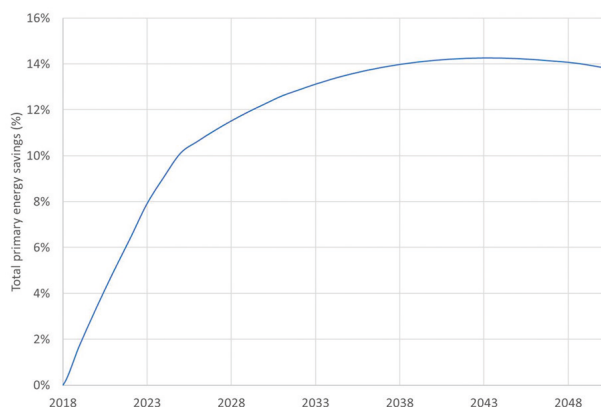
- Funkcjonalność: integruje poszczególne systemy (TBS), aby działały one wspólnie w sposób efektywny energetycznie i bezpieczny.
- Działanie: zbiera dane z czujników, obsługuje sterowanie harmonogramami pracy urządzeń (np. obniżanie temperatury w nocy) oraz realizuje monitorowanie zużycia mediów.
- Utrzymanie: System TBM obejmuje również strategie konserwacji, takie jak *Time-Based Maintenance* (TBM) – serwisowanie urządzeń w stałych odstępach czasu.



↑ Rys. 4. Bioniczna koncepcja metaforycznego zobrazowania funkcjonalności i integracji systemów i funkcji inteligentnych budynku – koncepcja rozbudowana na bazie inspiracji materiałów [8] oraz wspomaganą AI [9]

Dla zobrazowania złożoności funkcjonalności i integracji systemów i funkcji w inteligentnych budynkach przygotowalem bioniczną koncepcję, rozbudowaną na bazie inspiracji literatury i materiałów [8] oraz wspomaganą AI – rys. 4.

Ogólną optymalizację systemu TBS w warunkach dynamicznie zmieniających się, dla typowych warunków pracy, osiąga się przez zapewnienie systemowi wyposażenia w odpowiednie podzestawy listy możliwości mających zastosowanie do systemów HVAC. Takie rozwiązania optymalizują energię i komfort systemu HVAC oraz wydajność dla rzeczywistych warunków użytkowania budynku. Należy upewnić się, że każda część, czy pokój w budynku wykorzystuje tylko minimalną ilość energii we właściwym czasie oraz we właściwym



↑ **Rys. 5.** Całkowite oszczędności energii pierwotnej dla wszystkich budynków w scenariuszu zgodnym z dyrektywą EPBD w porównaniu ze scenariuszem zgodnym z dyrektywą EPBD bez scenariusza BACS [11]

miejsu, aby zapewnić wybrane wewnętrzne warunki przez mieszkańców. Generalnie całkowite oszczędności energii pierwotnej dla wszystkich budynków w scenariuszu zgodnym z dyrektywą EPBD w porównaniu ze scenariuszem zgodnym z dyrektywą EPBD bez scenariusza BACS przedstawia rys. 5.

Systemy sterowania stosowane w budynkach obejmują zarówno proste termostaty i programatory, jak również systemy BMS/TBS, znane również jako systemy automatyki budynkowej (BAS), systemy techniczne zarządzania budynkami TBM (*Technical Building Management*), systemy zarządzania energią (EMS – *Energy Management Systems*) i systemy zarządzania energią w budynkach (BEMS – *Building Energy Management Systems*). Nowe budynki powinny jednak spełniać wymagania minimalne dotyczące charakterystyki energetycznej a przed rozpoczęciem budowy nowych budynków powinny zostać uwzględnione techniczne, środowiskowe i ekonomiczne możliwości realizacji wysoce wydajnych systemów. Do celów optymalizacji zużycia energii w systemach technicznych budynku ustawodawca określa wymagania dotyczące ogólnej charakterystyki energetycznej systemów, odpowiedniej instalacji i właściwego zwymiarowania, regulacji i kontroli systemów technicznych zainstalowanych w istniejących budynkach. Ustalono wymagania systemowe dla nowych, wymienianych i modernizowanych systemów technicznych budynku; wymagania te stosuje się, jeśli jest to możliwe z technicznego, funkcjonalnego i ekonomicznego punktu widzenia [2, 5, 7]. Nowe budynki, jeżeli

jest to możliwe z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia, powinny być wyposażone w samoregulujące się urządzenia, które regulują temperaturę oddzielnie w poszczególnych pomieszczeniach, lub w uzasadnionych przypadkach, w wyznaczonej strefie ogrzewanej modułu budynku.

Systemy Smart Home i Smart Building

Inteligentny dom vs inteligentny budynek – główna różnica między Smart Home a Smart Building sprowadza się do skali, celu oraz stopnia złożoności systemów. Podczas gdy inteligentny dom skupia się na wygodzie pojedynczego użytkownika, inteligentny budynek zarządza efektywnością całej infrastruktury, a zatem:

- System Smart Home prezentuje skupienie na mieszkańcu – są to zazwyczaj systemy domowe, projektowane tak, aby ułatwić codzienne rutynowe czynności. Przykładowo, czujniki ruchu załączają światło po wejściu użytkownika do domu, a asystent głosowy odtwarza ulubioną muzykę. Instalacja często jest prostsza, a użytkownik ma dostęp i może ją modyfikować.
- System Smart Building prezentuje skupienie na infrastrukturze inteligentnego budynku, gdzie priorytetem są dane i analityka. Systemy SB często automatycznie optymalizują zużycie energii w zależności od obciążenia np. sal biurowych lub warunków zewnętrznych. Zawierają przy tym np. funkcje specyficzne dla biur, jak np. rezerwacja sal, biurzek czy miejsc parkingowych. Systemy te często wykorzystują zaawansowane narzędzia diagnostyczne, które wykrywają awarie urządzeń, zanim odczują je użytkownicy.

W tabeli 1 znajduje się zestawienie kluczowych różnic pomiędzy systemami Smart Home a Smart Building

Przykładowe elementy systemu Smart Home / Smart Building – rys. 6.

Rozdzielnia elektryczna z rys. 7, przeznaczona jest do monitoringu lub sterowania systemami BACS/TBS, została wyposażona we własny sterownik PLC, podłączony do systemu BMS za pomocą protokołu BACNET. Wykonano magistralę łączącą wszystkie rozdzielnie, które zostały podłączone do nadrzędnego systemu BMS, a dla rozdzielni NN wykonano osobną magistralę komunikacyjną BACNET.

Wizualizacja z rys. 8 zrealizowana w systemie Siemens Desigo CC realizowana jest poprzez zaawansowany edytor graficzny, który pozwala na tworzenie interaktywnych schematów technologicznych, planów pięter oraz pulpitów

↓ **Tabela 1**

System	Smart Home	Smart Building
Główny cel	Komfort, wygoda i personalizacja.	Efektywność operacyjna, oszczędność energii i zarządzanie zasobami.
Skala	Pojedyncze mieszkanie lub dom jednorodzinny.	Biurowce, hotele, hale przemysłowe, całe osiedla.
Użytkownicy	Mieszkańcy i ich goście.	Najemcy, pracownicy, zarządcy obiektów (Facility Managers).
Technologia	Rozwiązania bezprzewodowe (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave).	Zaawansowane magistrale (BACnet, KNX) i sieci przemysłowe IoT.
Integracja	Urządzenia sterowane przez jedną aplikację (np. Google Home).	Centralny system zarządzania budynkiem (BMS) integrujący HVAC, windy i bezpieczeństwo.



Sterownik kompaktowy PLC
24 V AC, 8 wyjść triak, 2xDI,
4xUI, 4xAO, BACnet/IP,
KNX/PL-Link DXR2.E18-102A



Panel HMI dotykowy
BACnet/IP 10,1" (ze zintegrowa-
nym serwerem) PXM40.E



Zadajnik pomieszczeniowy
z czujnikiem temperatury,
komunikacja KNX S-Mode lub
PL-Link QMX3.P37



Kompaktowy regulator z sił-
nikiem, 24 V AC, 5 Nm, 150 s,
KNX/PL-Link GDB181.1E/KN



Czujnik obecności WIDE
multi: obecność, natężenie
oświetlenia, CO₂, temperatura,
wilgotność 5WG1258-2DB51



Czujnik jakości powietrza
PM2.5 kanałowy QSM2100



Gateway IP KNX/BACnet,
kontroler aplikacji BACnet jako
brama między KNX TP i BACnet
IP, do 250 obiektów BACnet,
konfiguracja za pomocą ETS
5WG1143-1AB01



Aktor żaluzjowy,
2 × 6 A, 230 V AC
5WG1521-4AB23



Grzejnikowy siłownik termiczny,
zasilanie 24 V AC, sterowanie
0–10 V DC STA63



Ściemniacz uniwersalny,
4 × 300 VA / 1 × 1000 VA (ściem-
nianie LED), AC 230 V, komuni-
kacja KNX 5WG1554-1DB31

↑ **Rys. 6.** Zestawienie urządzeń automatyki budynkowej firmy Siemens na przykładzie Inteligentnego Piętra Katedry Aparatów Elektrycznych PŁ [16]



↑ **Rys. 7.** Zabudowa urządzeń automatyki budynkowej firmy Siemens w szafie sterowniczej, na przykładzie Inteligentnego Piętra Katedry Aparatów Elektrycznych PŁ [16]



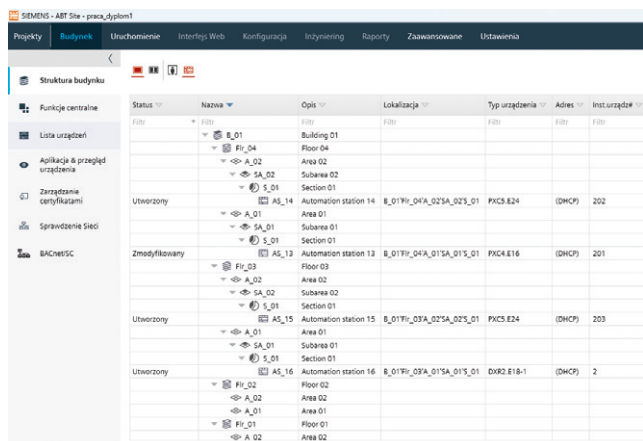
↑ **Rys. 8.** Wizualizacja zaimplementowanego systemu BACS/BMS automatyki budynkowej na bazie Designo CC firmy Siemens, na przykładzie Inteligentnego Piętra Katedry Aparatów Elektrycznych PŁ [16, 17]

menedżerskich (dashboards). System ten łączy dane z różnych dyscyplin (HVAC, oświetlenie, bezpieczeństwo) w jednym, spójnym interfejsie użytkownika.

Programowanie i konfiguracja systemu BACS na przykładzie ABT Site

Platforma Siemens ABT Site (ABT – *Automation Building Tool*) to kompleksowe oprogramowanie inżynierskie służące do projektowania, uruchamiania i serwisowania systemów automatyki budynkowej, w szczególności sterowników Designo PXC4/PXC5/PXC7 oraz paneli dotykowych PXMx0-1. Zapewnia narzędzia do konfiguracji, testowania punktów danych i dokumentacji. Kluczowe funkcje i cechy ABT Site:

- Uruchomienie (*Commissioning*): Aplikacja ułatwia prace instalacyjne i konfiguracyjne na obiekcie.
- Współpraca z Designo: Dedykowane dla nowoczesnych sterowników z serii PXC4, PXC5, PXC7.
- Testy i diagnostyka: Umożliwia szybki test punktów danych (testy I/O).
- Dokumentacja: Pozwala na tworzenie raportów końcowych z uruchomienia.
- Zarządzanie urządzeniami: Obsługa paneli operatorskich PXM50-1, PXM30-1, PXM40-1.
- ABT Go: Mobilna aplikacja współpracująca z systemem do szybkiego połączenia przez WLAN.
- ABT Site jest częścią szerszego ekosystemu narzędziowego Siemens dla budownictwa – rys. 9.



Rys. 9. Tworzenie struktury budynku w oprogramowaniu ABT Site firmy Siemens [18]

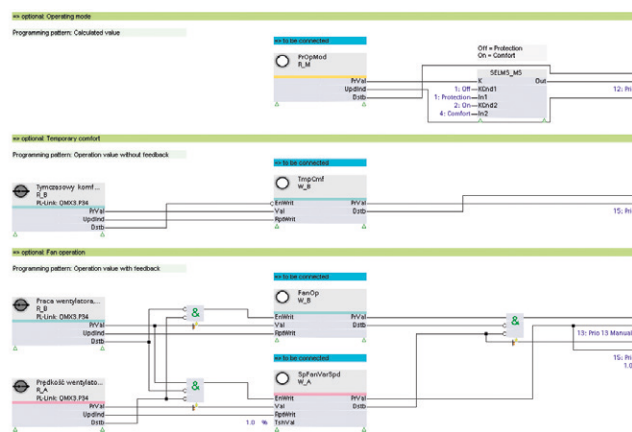


Rys. 10. Tworzenie konfiguracji hardware sterownika systemu budynkowego w oprogramowaniu ABT Site firmy Siemens [18]

Tworzenie i konfiguracja sprzętu (*hardware*) w programie Siemens ABT Site (część *Desigo Engineering Framework*) polega na zdefiniowaniu fizycznych urządzeń, takich jak sterowniki automatyki budynkowej (PXC4/5/7), sterowniki pokojowe (DXR1/2) oraz urządzenia polowe (czujniki, zawory) w projekcie, a następnie ich konfiguracji i uruchomieniu – rys. 10.

Kluczowe etapy pracy w hardware ABT Site:

1. Przygotowanie i dodawanie urządzeń: struktura budynku – definiuje się strukturę obiektu, do której przypisuje się urządzenia, dodawanie sterowników – urządzenia dodaje się do projektu, wybierając je z biblioteki. Można użyć gotowych szablonów aplikacji, konfiguracja – konfiguruje się moduły, a następnie łączy stacje w sieć (BACnet IP lub MS/TP).
2. Praca z biblioteką (*Application Library*): ABT Site umożliwia wykorzystanie biblioteki aplikacji, co ułatwia inżyniering. Użytkownik może za pomocą „przeciągnij i upuść” dodawać elementy, takie jak czujniki czy urządzenia KNX PL-Link do aplikacji.
3. Konfiguracja sprzętu w trybie Offline: możliwy import z XWP, gdy korzystamy ze starszych systemów, można zaimportować konfigurację do ABT Site, możliwe tworzenie szablonów – w ABT Site tworzy się szablony specyficzne dla



Rys. 11. Tworzenie struktury budynku w oprogramowaniu ABT Site firmy Siemens [18]

projektu, przypisując typ stacji automatyki do konkretnego szablonu – rys. 10.

4. Konfiguracja i uruchomienie (*Commissioning*): konfiguracja sterownika – w drzewie projektu, można „rozszerzyć” (*extend*) konfigurację i przygotować ją do pobrania, dla stacji PXC3/DXR2 zarządzanych w ABT Pro, stosuje się procedurę „Preparing for Pack & Go”, a następnie ich przypisanie w ABT Site Startup, po konfiguracji, narzędzie umożliwia połączenie z kontrolerem i przetestowanie szablonu – online.

W oprogramowaniu Siemens ABT Site jest dostępne programowanie w języku CFC (Continuous Function Chart), które służy do tworzenia logiki sterowania dla sterowników serii Desigo (np. PXC4, PXC5 oraz DXR2). Jest to graficzny edytor, w którym łączymy gotowe bloki funkcyjne, aby zdefiniować działanie systemu automatyki budynkowej – rys. 11.

Kluczowe kroki programowania CFC w ABT Site są następujące:

- Dodawanie programu sterującego – w drzewie nawigacji projektu dla wybranego sterownika (np. DXR2 lub PXC4) dodajemy nowy element programu – Control Program.
- Po otwarciu programu pojawia się obszar roboczy (arkusz CFC), biblioteka bloków po prawej stronie, instalacja, peryferia i sieci komunikacyjne po lewej stronie oraz właściwości wybranego elementu na dole ekranu.
- Biblioteka w ABT Site zawiera ponad 250 bloków funkcyjnych, od prostych operacji logicznych (AND, OR) po zaawansowane funkcje HVAC (np. sterowanie centralami AHU, kaskady temperatury) – rys. 11.
- Programowanie – łączenie sygnałów: za pomocą przeciągania bloków z biblioteki na otwarty arkusz, przeciągamy punkty danych (I/O) lub zmienne z drzewa projektu bezpośrednio na arkusz CFC, łączymy wejścia i wyjścia bloków za pomocą myszki („drag and drop”), tworząc przepływ sygnałów.
- Kompilacja i testowanie – po zakończeniu tworzenia logiki należy skompilować program. Środowisko TIA Portal zintegrowane z ABT Site umożliwia podgląd wartości na żywo



↑ Rys. 12. Rozdzielnia zasilająca z pomiarem i monitorowaniem jakości i zużycia energii elektrycznej w Katedrze [16, 17]

(„online monitoring”) bezpośrednio na schemacie CFC po połączeniu ze sterownikiem. Jest również dostępny symulator.

System zasilania i monitorowania energii elektrycznej

Rozdzielnia posiada możliwość monitorowania pracy i elementów szafy sterowniczej głównej oraz rozdzielnic lokalnych, sterowania ogrzewaniem i oświetleniem, które obejmuje oświetlenie wewnątrz pomieszczeń, salach i na korytarzu. W pokojach i laboratoriach zainstalowano lokalnie rozdzielnice, które mają możliwość pracy autonomicznej, samodzielnej i działają jako przetworniki sygnału pomiędzy linią komunikacyjną a systemem. Sygnały są odbierane, przekazywane dwukierunkowo, do i z elementów składowych szaf sterowniczych.

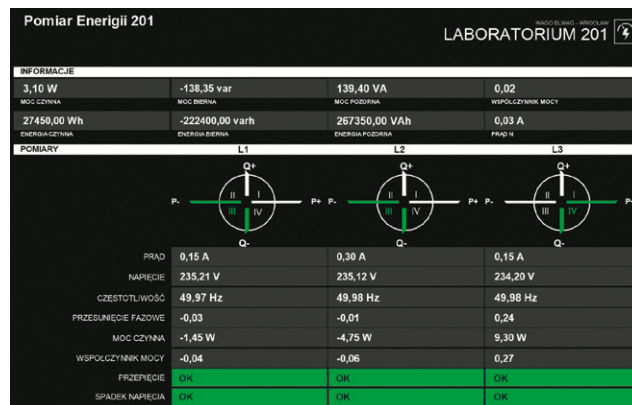
Opisywany system z rys. 12 zrealizowano na bazie sterownika serii 750-8212 PFC200 G2 2ETH RS oraz panelu HMI serii 750-8212 PFC200 G2 2ETH RS firmy Wago. W tym celu zastosowano moduły do pomiaru i monitoring energii elektrycznej Wago. Dodatkowo zastosowano moduł komunikacyjny DALI do sterowania oświetleniem, modułu komunikacyjny do integracji z siecią KNX. Na rys. 12 odczyt energii elektrycznej realizowany jest w wizualizacji HMI oraz z użyciem biblioteki do obsługi modułu.

Wybór między rozwiązaniem opartym o środowisko programistyczne (e!COCKPIT / CODESYS), a systemem wizualizacji (Asix) zależy od tego, czy użytkownik potrzebuje elastycznego narzędzia do sterowania, czy gotowego systemu do monitoringu i raportowania mediów.

1. Dla rozwiązania z rys. 12 – Wago e!COCKPIT / CODESYS – Podejście sterownikowe

To rozwiązanie dedykowane dla inżynierów, którzy chcą sami zaprogramować logikę pomiarową na poziomie sterownika PLC (np. serii PFC200):

- Pełna kontrola – można dowolnie przetwarzać dane (np. obliczać moc chwilową, bilansować energię w czasie rzeczywistym) przed wysłaniem ich dalej.



↑ Rys. 13. Pomiar i monitorowanie jakości i zużycia energii elektrycznej w rozwiązaniu BMS – ASIX for WAGO w Katedrze [16, 18]

- Biblioteki WagoAppPower – dostęp do gotowych bloków funkcyjnych do obsługi modułów pomiarowych (np. 750-495) i liczników energii.
- Lokalna archiwizacja – możliwość zapisu danych na kartę SD (Datalogger) w formacie CSV.
- Brak opłat licencyjnych za punkty – opłata tylko za sprzęt i środowisko (lub runtime), ale liczba mierzonych parametrów nie wpływa na koszt licencji.

Wymagane umiejętności programowania w językach IEC 61131-3 (np. ST, CFC) i samodzielnego tworzenia interfejsu HMI.

2. Dla rozwiązania Asix dla WAGO – podejście wizualizacyjne/BMS

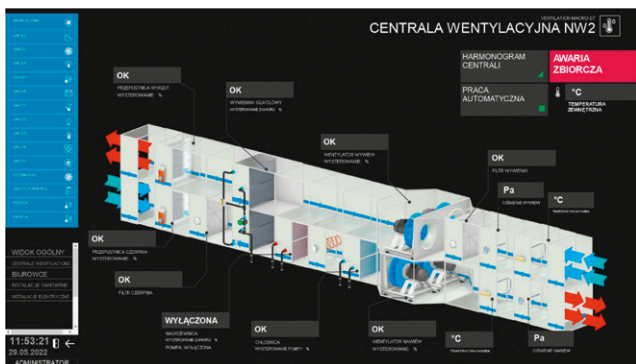
Platforma Asix to polski system SCADA, który posiada dedykowane rozwiązanie WAGO Visu Building oraz Asix4WAGO, zoptymalizowane pod kątem współpracy ze sterownikami tej marki:

- Gotowe szablony – automatyczny import zmiennych ze sterownika i generowanie gotowych obiektów wizualizacyjnych (zegary, wykresy, słupki).
- Zaawansowane raportowanie – rozbudowane funkcje tworzenia raportów zużycia energii zgodnych z wymaganiami zarządców budynków.
- Baza danych – profesjonalna archiwizacja w bazie SQL, co pozwala na analizę trendów z wielu miesięcy/lat.
- Wsparcie – polska dokumentacja i silne wsparcie techniczne producenta (Askom) w zakresie BMS.

Wyższy koszt początkowy (licencjonowanie zależne od liczby zmiennych lub maszyn) oraz konieczność posiadania serwera PC do działania wizualizacji.

Na rys. 14 zamieszczono przykład oprogramowania centrali wentylacyjnej firmy Klimor w BMS Asix Wago Visu Building.

System podaje do pomieszczeń świeże powietrze, ogrzane lub schłodzone do określonej wcześniej temperatury. Główne funkcje systemu BMS w tym zakresie: dostosowane do pracy Katedry uruchamianie i wyłączanie systemu (sterowanie zegarowe dobowe, tygodniowe), regulacja i monitorowanie



↑ Rys. 14. Widok centrali Klimor w BMS Wago Vizur Building w Katedrze [16]

temperatury powietrza nawiewanego i temperatury pomieszczeń, łącznie ze sterowaniem przepustnicami i sterowaniem prędkości wymiennikami, alarmy dla odchylenia od temperatury zadanej, wyłączenia z uwagi na pożar, wyłączenia z uwagi na zadymienie, związane z zamarznięciem, zabrudzenia filtrów, awarii wentylacji i wyświetlanie wszystkich zmierzonych temperatur oraz sterowanie chłodzeniem w zależności od kryterium temperatury. Wszystkie pomieszczenia techniczne zostały wyposażone w czujniki temperatury ostrzegające przed wzrostem temperatury oraz sterujące pracą wentylatorów. Alarmy wzrostu temperatury w pomieszczeniach technicznych są monitorowane w systemie BMS.

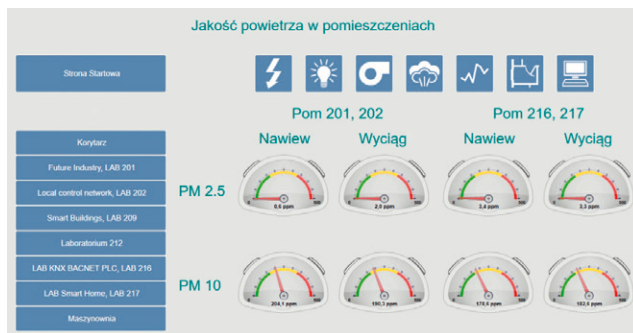
Wizualizacja systemów BACS, BMS i TBS

Wizualizacja pracy systemu BMS zrealizowana została również w Siemens Desigo CC, gdyż jest to otwarta i zintegrowana platforma zarządzania budynkiem (BMS). Umożliwia centralne monitorowanie oraz sterowanie różnymi systemami, takimi jak HVAC, oświetlenie, bezpieczeństwo pożarowe i zasilanie elektryczne. System został zaprojektowany jako skalowalne rozwiązanie, odpowiednie zarówno dla małych instalacji, jak i rozbudowanych kompleksów budynkowych. Podstawowa funkcjonalność platformy Desigo CC:

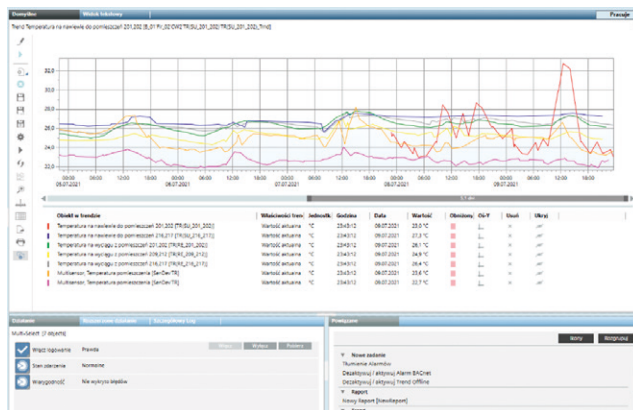
- Integracja wielu systemów – Desigo CC pozwala na zarządzanie wieloma systemami z jednego, spójnego interfejsu, co zwiększa wydajność operacyjną.
- Nowoczesny interfejs Flex Client – system posiada oparty na technologii webowej interfejs użytkownika umożliwia bezpieczny dostęp do systemu z dowolnego miejsca i urządzenia, oferując intuicyjną nawigację.
- Zaawansowane raportowanie i analizy – system oferuje narzędzia do generowania raportów oraz analizy zdarzeń, w tym moduł PQ Advisor do monitorowania jakości zasilania.
- Zarządzanie alarmami – system pozwala na szybką identyfikację i obsługę incydentów dzięki scentralizowanemu systemowi powiadomień.

Kluczowe cechy wizualizacji w Desigo CC to:

- Edytor graficzny (*Graphics Builder*) – narzędzie do tworzenia widoków synoptycznych z wykorzystaniem biblioteki



↑ Rys. 15. Wizualizacja jakości powietrza w pomieszczeniach zrealizowana za pomocą Siemens Desigo CC w Katedrze [16, 18]



↑ Rys. 16. Wizualizacja trendów temperatur powietrza w pomieszczeniach zrealizowana za pomocą Siemens Desigo CC w Katedrze [16, 18]

gotowych, dynamicznych symboli (np. wentylatory, pompy, czujniki), które zmieniają kolor lub animację w zależności od stanu urządzenia.

- Hierarchia i nawigacja – wizualizacja opiera się na drzewie obiektów systemowych. Można przypisać konkretne grafiki do węzłów w systemie (np. widok konkretnego piętra do węzła „Floor 1”), co ułatwia intuicyjne przechodzenie między widokami.
- Dynamizacja i warstwy – możliwość stosowania tzw. obszarów widokowych (*viewports*) oraz zarządzania widocznością elementów na różnych poziomach powiększenia (*depths/layers*).
- Obsługa zdarzeń i alarmów – interfejs posiada dedykowany pasek podsumowania (*Summary Bar*), który kolorami sygnalizuje priorytety alarmów bezpośrednio na ekranie operacyjnym.

W systemie Siemens Desigo CC moduł Trendów (*Trending*) jest jednym z kluczowych narzędzi analitycznych. Służy on do rejestrowania, przechowywania i wizualizacji zmian wartości punktów danych w czasie (np. temperatury, zużycia energii czy sygnałów sterujących). Szczegółowy opis funkcji trendów w Desigo CC jest następujący:

- Trend Online (*Real-time*) – Wyświetla dane na żywo w momencie ich napływania do systemu. Dane te nie

muszą być zapisywane w bazie, jeśli zamkniesz widok bez zapisu.

- Trend Historyczny (Offline) – Odczytuje dane zapisane w bazie danych (*History Database*). Pozwala na analizę wsteczną (np. co działo się z instalacją tydzień temu).
- Logowanie zmiennych – Dane mogą być zbierane na dwa sposoby: Polled (Odpytywanie): System pyta sterownik o wartość w określonym interwale (np. co 5 minut) oraz COV (*Change of Value*): Sterownik wysyła daną tylko wtedy, gdy zmieni się ona o określoną wartość (oszczędność miejsca w bazie).

Trendy w Desigo CC są mocno zorientowane na standard BACnet. Jeśli zastosowane urządzenia (np. sterowniki PXC) mają własne obiekty Trend Log, Desigo CC je synchronizuje, co gwarantuje ciągłość danych nawet po awarii komunikacji (dane zostaną doślane ze sterownika po przywróceniu połączenia).

Podstawowa funkcjonalność systemów BMS i BACS wg aktualnych norm [4, 24]

1) Norma PN-EN ISO 5120-1:2022-09 – „Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Wkład automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami”. Norma ta zastąpiła wcześniejszą PN-EN 15232, i stanowi bardziej zintegrowane, aktualne podejście zgodne z dyrektywą EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). Określa wymagania dotyczące projektowania, wdrażania i oceny wpływu systemów automatyki i zarządzania technicznego (BACS i TBM) na efektywność energetyczną budynków. Kluczowe funkcje BMS według normy PN-EN ISO 5120-1, norma dzieli funkcjonalności na obszary systemowe i poziomy automatyzacji:

- Monitorowanie i rejestrowanie zużycia energii – zbieranie i analiza danych z czujników, liczników, systemów HVAC, oświetlenia itd., tworzenie raportów i diagnoz efektywności.
- Sterowanie i automatyzacja systemów technicznych budynku – ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, oświetlenie, przygotowanie ciepłej wody, żaluzje lub rolety itp., utrzymywanie komfortu przy minimalnym zużyciu energii (sterowanie według zapotrzebowania, harmonogramów lub obecności).
- Koordynacja między systemami – integracja różnych instalacji (HVAC, oświetlenie, osłony przeciwsłoneczne itp.), optymalizacja wspólnej pracy systemów – np. wykorzystanie światła dziennego ograniczające potrzebę chłodzenia i sztucznego oświetlenia.
- Zarządzanie energią i eksploatacją – Wspomaganie zarządcy budynku w podejmowaniu działań optymalizacyjnych, funkcje predykcyjne (np. przewidywanie zużycia energii lub błędów działania).
- Utrzymanie i diagnostyka – wczesne wykrywanie usterek, alarmy, raportowanie odchyłań od normy pracy.

2) Norma PN-EN 15232-1:2017; „Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Wpływ automatyki i systemów technicznego zarządzania budynkami (BACS i TBM) na efektywność energetyczną budynków”. W wersji z 2007 roku

była pierwszym standardem, który ilościowo definiował sposób, w jaki automatyka budynkowa wpływa na zużycie energii. Norma ta wprowadziła pojęcia poziomów efektywności energetycznej systemów BACS/TBM. Kluczowe założenia i funkcjonalność BACS i TBM według normy PN-EN 15232-1:2017:

- Klasy funkcjonalności BACS (A–D): A – Wysoka efektywność energetyczna (zaawansowane, inteligentne systemy BMS), B – Zwiększona efektywność (standardowe systemy automatyki), C – Podstawowe sterowanie (ręczne lub minimalne), D – Brak systemów automatyki.
- Podstawowe moduły systemu BMS/BACS – sterowanie ogrzewaniem i chłodzeniem – optymalizacja krzywych grzewczych, czasowa regulacja, czujniki obecności, sterowanie wentylacją i klimatyzacją – regulacja w zależności od CO₂, temperatury lub obecności, sterowanie oświetleniem – wykorzystanie światła dziennego, czujniki ruchu, harmonogramy, sterowanie osłonami przeciwsłonecznymi – regulacja w zależności od nasłonecznienia i temperatury, monitorowanie i zarządzanie energią pomocniczą – pomiary, alarmy, predykcja zapotrzebowania.
- Integracja systemów w celu poprawy efektywności energetycznej – zwiększenie świadomości zużycia energii przez użytkowników. Możliwość sterowania i optymalizacji zdalnie (system TBM – *Technical Building Management*).
- Metody Obliczeniowe – wprowadza współczynniki efektywności *f* (BAC), które pozwalają oszacować wpływ automatyki na zużycie energii cieplnej i elektrycznej.
- Zakres Techniczny – obejmuje sterowanie ogrzewaniem, chłodzeniem, wentylacją, przygotowaniem ciepłej wody oraz oświetleniem.

Budynkowe sieci komunikacyjne

Aktualnie systemy BACS rozwijają się w różnych kierunkach, zarówno na platformach komercyjnych z komunikacją sieciową (protokoły i standardy: BACnet, Bluetooth, DALI, Dynet, EnOcean, eubac, KNX LonTalk, MIDAC, OPC, OpenTherm, OpenWebNet, VSCP, ZigBee), jak również na platformach typu open source jak Domoticz, openHUB czy Home Assistant. W ofercie znajdziemy wiele rozwiązań dla aplikacji Tuya Smart Home, eWelink, Shelly Cloud, Supla, HomeKit, BleBox, Tasmota. Popularne protokoły transmisji to MQTT, czy radiowe ZigBee oraz Z-wave. Popularne języki programowania to LUA, czy internetowe IFTTT. Z oprogramowania do wizualizacji niewątpliwie wyróżnia się Grafana, a najpopularniejsze microsterowniki, za pomocą których samodzielnie można wykonać system BACS, to Arduino i Raspberry Pi. Wszystkie powyższe rozwiązania pomagają zaimplementować rozwiązania ułatwiające funkcjonalność i komfort domowy, pozwalając osiągnąć określone oszczędności finansowe i poprawić bezpieczeństwo – np. poprzez instalację różnego rodzaju czujników jakości powietrza monitorujących jakość i poziom.

Dzięki połączeniu za pomocą sieci komunikacyjnych przewodowych i bezprzewodowych na podstawie poniższych standardów [4]:

a) BACnet – Building Automation and Control Networks – <https://bacnet.org/>.

b) Modbus – protokół komunikacyjny stworzony przez firmę Modicon – <https://www.modbus.org/>.

c) KNX - standard KONNEX / KNX – dawniej EIB – standard instalacji elektrycznej nowej generacji – <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/>.

d) LonWorks (lokalna sieć operacyjna) – platforma sieciowa stworzona specjalnie na potrzeby urządzeń sterujących – <https://www.lonmark.org/>.

e) ZigBee – specyfikacja protokołów transmisji danych w sieciach bezprzewodowych topologii siatki (mesh), drzewo klastrowe (cluster tree) – <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0>.

f) Z-Wave – protokół bezprzewodowy służący do połączenia w jedną, zdalnie sterowaną sieć, wykorzystywany w systemach inteligentnego zarządzania budynkiem – <https://z-wavealliance.org/>.

g) LoRa (ang. *Long Range*) i LoRaWAN (ang. *LoRa Wide Area Network*) – protokół i system komunikacji bezprzewodowej dalekiego zasięgu o małej mocy (LPWAN), przeznaczony do zastosowań komunikacji między urządzeniami internetu rzeczy (IoT/M2M) – <https://lora-alliance.org/>.

h) Wi-Fi – zestaw standardów stworzonych do budowy bezprzewodowych sieci komputerowych - <https://www.wi-fi.org/>.

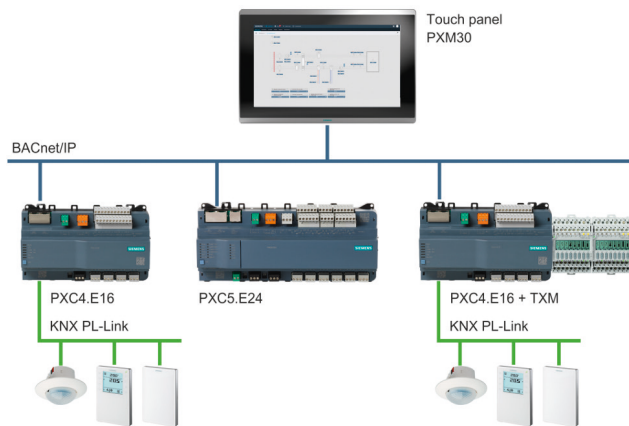
i) Oraz fizycznych mediów transmisji:

- Ethernet (TCP/IP): szkieletowa sieć dla zaawansowanych systemów (BACnet/IP) – <https://ethernet.org/>.
- RS-485 (Skrętka): standard szeregowy dla Modbus RTU i BACnet MSTP, <https://tiaonline.org/>.
- Magistrala KNX: specjalny kabel dwuparowy – <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/benefits/knx-secure/> systemy BACS, BMS, TBS i dyrektywa EPBD stanowią obecnie inteligentne centra zarządzania energią, komfortem i bezpieczeństwem domów, osiedli, miast, regionów i krajów, [5] – rys. 17. Określają, jak projektować i wdrażać systemy w celu poprawy efektywności energetycznej, komfortu i bezpieczeństwa użytkowników, [6, 11, 14].

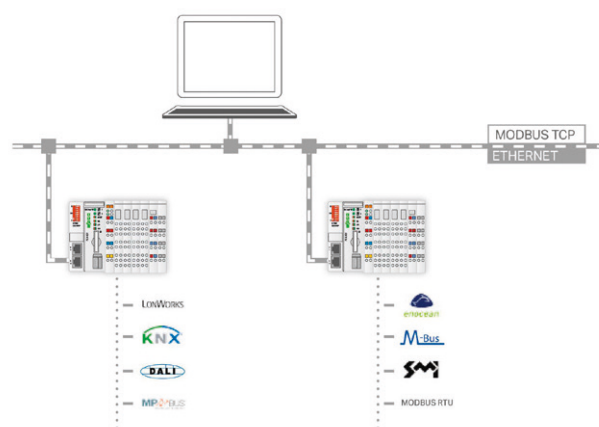
Integracja przez Modbus TCP jest możliwa również w środowisku e!COCKPIT lub CODESYS V3.5, a konfiguracja odbywa się na dwa sposoby. Pierwszy sposób Modbus Configurator, biblioteki (WagoAppModbus) oraz wymiana danych, która odbywa się poprzez rejestry 16-bitowe (*Holding Registers*). Drugi sposób, to przejście na inne standardy (Migracja i Hybryda) – rys. 18. Jeśli protokół Modbus TCP przestaje wystarczać (np. ze względu na brak cyberbezpieczeństwa lub skomplikowaną strukturę danych), sterowniki PFC oferują płynne przejście na: OPC UA, MQTT (Industrial IoT), BACnet/IP, EtherNet/IP lub PROFINET.

Platforma CODESYS i biblioteka CODESYS Building Automation

Platforma CODESYS, szczególnie w bibliotece Building Automation zawiera obszerne przykłady projektów automatyki budynkowej. Np. Building Automation Examples.project zawiera gotową do użycia aplikację i wizualizację dla



↑ Rys. 17. Sieciowa integracja sterowników PXC4/PXC5 Siemens oraz czujników i regulatorów za pomocą standardu BACnet/IP oraz KNX [19, 21]



↑ Rys. 18. Sieciowa integracja sterowników firmy Wago za pomocą standardu MODBUS TCP [20]

wszystkich bloków funkcyjnych biblioteki CODESYS Building Automation, umożliwiając naukę, symulację i testowanie. Projekt zawiera również przykłady w formie samouczka, które demonstrują, jak korzystać z biblioteki CODESYS Building Automation w systemach HVAC. Istnieje więcej przykładów demonstrujących inne aspekty automatyki budynkowej:

- przykład automatyki pomieszczeń (patrz ExampleRoomAutomation);
- przykład obiegu grzewczego (patrz ExampleHeating);
- przykład sterowania kotłem ciepłej wody użytkowej (patrz ExampleHotWater).

Building Automation Examples.project zawiera również przykłady wariantów agregatów wykorzystujących bloki funkcyjne |ExampleVariantsRoomControlFCUSimple| lub ExampleFancoil3StageAggregate, które również posiadają pewne aspekty wariantów. Prosimy również zapoznać się z częścią dokumentacji dotyczącą „wariantów agregacji” dotyczącą tego konkretnego tematu.

Projekt Persistence.project z przykładami automatyki budynkowej demonstruje, jak używać modułu Persistence-manager w programie CODESYS Application Composer, aby zapewnić trwałość w określonych aspektach.

Projekt BACnet.project z przykładami automatyki budynkowej demonstruje, jak używać CODESYS BACnet w kontekście aplikacji, a w szczególności jak integrować obiekty serwera BACnet w aplikacji.

Przykładowa automatyka pokojowa – przykładowy blok funkcyjny (FUNCTION_BLOCK ExampleRoomAutomation) implementuje bardzo prostą regulację temperatury w pomieszczeniu za pomocą klimakonwektora. Można zwerifikować jak wdrożyć złożoną strategię sterowania w CFC, wykorzystując bloki funkcyjne biblioteki automatyki budynkowej CODESYS, jak korzystać z niektórych bloków funkcyjnych związanych z automatyką pokojową oraz jak korzystać z funkcji SequenceControl.

Przykład z rys. 19 obejmuje następujące aspekty praktycznego zastosowania:

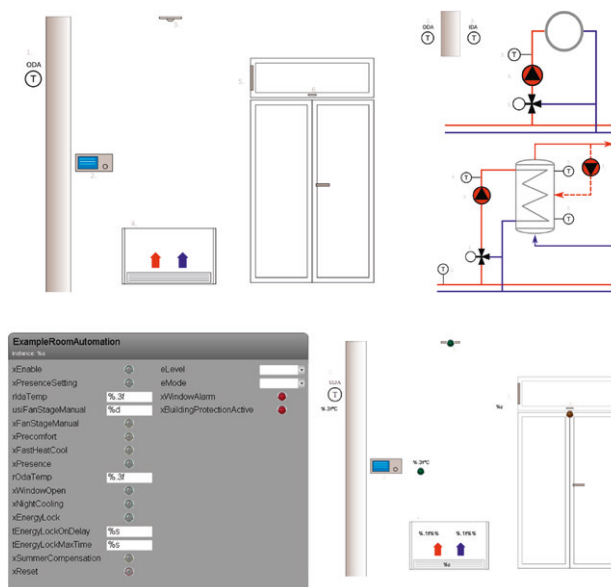
- poziom energii sterowany obecnością,
- regulacja temperatury w pomieszczeniu za pomocą klimakonwektora Fancoil3Stage,
- optymalizacja zużycia energii (chłodzenie nocne, blokada energetyczna, kompensacja letnia),
- szybkie grzanie/chłodzenie w trybie „przed - komfortowym”,
- alarm okienny,
- czujnik temperatury zewnętrznej,
- panel sterowania pomieszczenia z czujnikiem temperatury powietrza wewnętrznego, elementami sterowania ręcznego (obecność, nastawa temperatury, prędkość wentylatora),
- czujnik obecności,
- klimakonwektor (system 4-rurowy),
- siłownik okienny,
- styk okienny.

Przykładowe bloki programowe w języku CFC przedstawia poniższy rys. 20.

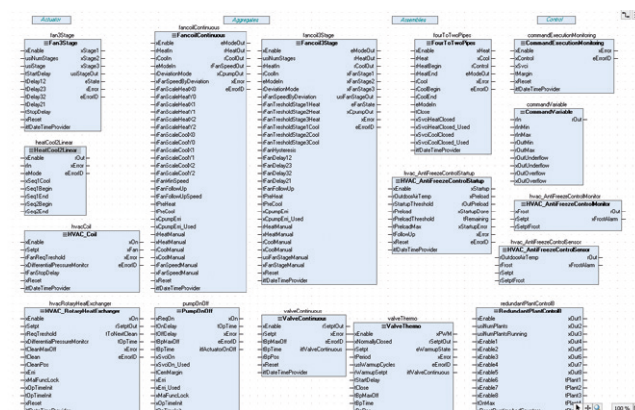
Platforma CODESYS jest wykorzystywana w nowoczesnej automatyce budynkowej (BMS), pełniąc często rolę integracyjną lub „pośrednika” między tradycyjnym przemysłem a inteligentnymi budynkami. Dzięki swojej otwartości pozwala na łączenie urządzeń różnych producentów (jak WAGO, ABB, czy Eaton) w jeden spójny system. Współczesne podejście często łączy oba światy: CODESYS (np. na sterownikach WAGO PFC200) zarządza lokalną logiką i zbieraniem danych, a system nadrzędny, jak Desigo CC, służy do globalnego zarządzania, trendów i alarmowania dla całego obiektu.

Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków – EPBD

Zgodnie z informacjami podanymi przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii, dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*) przekształcona w 2024 r., stanowi kontynuację wcześniejszych przepisów dotyczących efektywności energetycznej budynków, wprowadzanych stopniowo od 2002 r. na poziomie unijnym oraz krajowym, [2, 9]. Jej nadrzędnym celem jest racjonalizacja zużycia energii w użytkowanych budynkach oraz wznoszenie nowych budynków o odpowiednim standardzie energetycznym, co pozwoli finalnie uzyskać wiele pozytywnych efektów (rys. 21) [2, 9].



↑ Rys. 19. Zastosowanie biblioteki CODESYS Building Automation na platformie Platforma CODESYS, [22]



↑ Rys. 20. Podstawowe funkcje wykorzystywane w bibliotece Building Automation, [22]

Uzyskanie planowanych efektów będzie możliwe głównie dzięki wprowadzonym w ostatniej regulacji rozwiązaniom:

1. Ustalenie wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków.
2. Poprawa charakterystyki energetycznej budynków przy ważniejszej renowacji.
3. Ustanowienie krajowego planu renowacji budynków oraz trajektorii progresywnej renowacji dla zasobów budynków mieszkalnych.
4. Zapewnienie wykorzystania energii słonecznej w nowobudowanych budynkach.
5. Wprowadzenie systemu paszportów renowacji.
6. Wymagania wobec systemów technicznych budynków, infrastruktura na potrzeby zrównoważonej mobilności.
7. Zachęty finansowe i bariery rynkowe.
8. Utworzenie punktów kompleksowej obsługi do spraw charakterystyki energetycznej budynków.
9. Świadectwa charakterystyki energetycznej z prezentacją danych w postaci klas charakterystyki energetycznej.
10. Regularne przeglądy systemów technicznych w budynkach.



Efekt, który jest finalnie planowany do uzyskania:

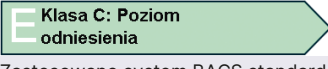
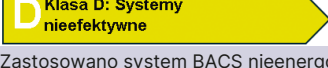
- zmniejszenie zużycia energii i poprawa bezpieczeństwa energetycznego,
- zmniejszenie kosztów związanych ze zużyciem energii w budynkach,
- poprawa standardów nowych oraz użytkowanych budynków,
- zapewnienie informacji na temat stanu technicznego i energetycznego budynków oraz możliwości ich poprawy,
- osiągnięcie celów klimatycznych przez redukcję emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń z budynków,
- ukierunkowanie narzędzi wsparcia na działania przynoszące najwięcej efektów
- rozwój nowych i niskoemisyjnych rozwiązań.

↑ Rys. 21

↓ **Tabela 2.** Procentowa możliwość redukcji zużycia energii cieplnej i elektrycznej przy zastosowaniu systemów BACS [8,9]

26%	27%	41%	49%	52%
w placówkach oświatowych i szpitalach	w budynkach mieszkalnych	w hotelach i restauracjach	w budynkach handlu hurtowego i detalicznego	w biurach i salach wykładowych

↓ **Tabela 3.** Klasy efektywności energetycznej zależne od BACS i TBM według PN-EN ISO 52120-1:2022

Klasa A – Wysoka wydajność energetyczna: Reprezentuje najnowocześniejszą technologię, obejmującą zaawansowaną automatyzację i funkcje technicznego zarządzania budynkiem (TBM), które zapewniają maksymalną wydajność, w tym sterowanie HVAC w zależności od zapotrzebowania (np. adaptacyjne nastawy w oparciu o obecność/jakość powietrza) oraz zintegrowane, multidyscyplinarne sterowanie (HVAC, oświetlenie, rolety).	 Klasa A: Najlepsza dostępna technologia Zastosowano systemy BACS i TBM wysoka wydajność
Klasa B – Zaawansowany system BACS Wymaga zaawansowanego, energooszczędnego sterowania, a w przypadku budynków niemieszkalnych wymaga, aby sterowniki pokojowe mogły komunikować się z centralnym systemem automatyki budynkowej.	 Klasa B: Technologia zaawansowana Zastosowano systemy BACS i TBM wydajność zaawansowana
Klasa C – Standardowy system BACS: Reprezentuje standardowy poziom automatyki i sterowania budynkami.	 Klasa C: Poziom odniesienia Zastosowano system BACS standardowy
Klasa D – Nieenergooszczędny Oznacza systemy nieefektywne. Zgodnie z zaktualizowanymi wytycznymi EPBD, budynki wyposażone w takie systemy powinny być modernizowane i nie są dozwolone w przypadku nowych budynków.	 Klasa D: Systemy nieefektywne Zastosowano system BACS nieenergooszczędny

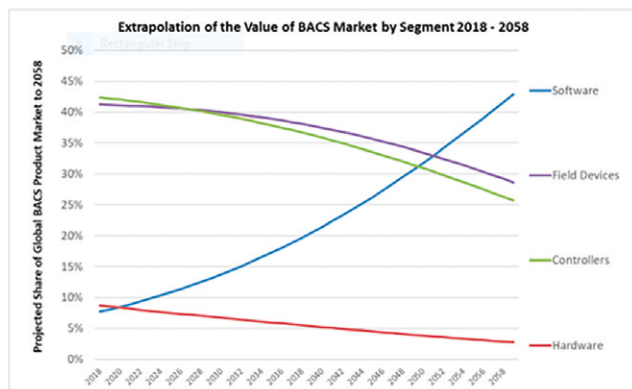
Aktualne zmiany dyrektywy EPBD zawierają szereg regulacji o różnym charakterze, których podstawowym celem jest racjonalizacja zużycia energii w budynkach. Dyrektywa rozwija również istniejącą definicję systemu technicznego budynku – TBS, na który składać się mają dodatkowo systemy automatyki i sterowania w budynku – BACS oraz wytwarzania energii elektrycznej, a w tym systemy wykorzystujące energię ze źródeł odnawialnych. Nowe definicje porządkują i ułatwiają zrozumienie treści wprowadzonych zapisów. Nie wyczerpują jednak znaczenia pojęć, a na dodatek podane definicje można rozpatrywać wieloelementowo. Ponieważ energia zużywana do zasilania budynków stanowi około 40 procent globalnego zużycia energii, czego przykładem są zarówno budynki mieszkalne, jak również biurowe, czy komercyjne, hotele, centra handlowe i budynki przemysłowe, to cały świat pilnie poszukuje rozwiązań, które pozwolą taką energię zaoszczędzić. Tutaj znacznie może pomóc zastosowanie nowych, czy ulepszenie już istniejących systemów automatyki budynkowej, które często wymagają niewielkich inwestycji i wsparcia, a mogą pomagać zaoszczędzić znaczną część ilości zużywanej na świecie energii, zmniejszyć emisję CO₂ i skrócić okresy stopy zwrotu inwestycji – tabela 2.

Wyróżnione przez dyrektywę cechy systemów automatyki i sterowania infrastrukturą techniczną budynków posiadają stosowane obecnie informatyczne systemy zarządzania budynkiem BMS (ang. *Building Management System*) i BEMS (ang. *Building and Energy Management System*). W ciągu kilku ostatnich lat stały się one powszechnie wykorzystywanym

wyposażeniem większości oddawanych do użytkowania nowych budynków komercyjnych i ze względu na swoją funkcjonalność wykazały olbrzymi potencjał do oszczędności energii i możliwości poprawy efektywności energetycznej tych obiektów. Dyrektywa zakładała np. obowiązek montażu tego typu systemów do 2025 r. we wszystkich budynkach niemieszkalnych, które wyposażone były w systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji o znamionowej mocy użytecznej urządzeń ponad 290 kW.

Efektywność energetyczna budynków

Zmieniona dyrektywa EPBD obejmuje środki wymagające wdrożenia automatyki i sterowania budynkiem, zaawansowane funkcjonalności we wszystkich dużych niemieszkalnych budynkach (istniejące i nowe, z efektywną mocą znamionową > 290 kW) oraz instalacje urządzeń samoregułujących (takie jak termostaticzne zawory grzejnikowe) dla indywidualnej regulacji temperatury w każdym pokoju (zarówno w budynkach mieszkalnych, jak i niemieszkalnych, istniejące – po wymianie ogrzewania na i nowe). Implementacja środków BACS zawartych w zmienionej dyrektywie EPBD powinna przynieść oszczędności odpowiadające 14% zużycia całkowitej energii budynku. Analizując tabelkę 3, system techniczny budynku – TBS oznacza wyposażenie techniczne do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń, wentylację, ciepłą wodę użytkową, oświetlenie wbudowane, automatykę i sterowanie budynkiem, wytwarzanie energii elektrycznej na miejscu lub ich kombinację, w tym systemy wykorzystujące energię ze



↑ **Rys. 22.** Prognozowanie rozwoju rynku systemów BACS na kolejne 40 lat – Źr. BSRIA Research [23]

źródeł odnawialnych budynku lub jednostki budowlanej [9] System TBS (*Technical Building Systems*) uwzględnia warunki pracy oraz warunki obciążenia.

Analizując klasę sprawności energetycznej systemów BACS, zauważamy, że nowoczesne systemy zarządzania budynkiem TBS razem z systemami BACS umożliwiają osiągnięcie wydajności klasy A zgodnie z normą europejską EN 15232. Wdrożenie systemów BACS wyższego poziomu (klasa A lub B) może znacząco poprawić ocenę Certyfikatu Charakterystyki Energetycznej (EPC) budynku. Systemy BACS, szczególnie klasy A, mogą zmniejszyć zużycie energii nawet o 30% lub więcej w porównaniu z systemem klasy C w budynkach komercyjnych. Prawidłowe wdrożenie systemów BACS może podnieść ocenę budynku o co najmniej jedną klasę EPC (np. 1.0 w budynkach mieszkalnych, 1.3 w budynkach niemieszkalnych), [8]. Systemy BACS są szczególnie skuteczne w modernizacji starszych, słabo sklasyfikowanych budynków i są uważane za niezbędne do osiągnięcia statusu budynków zeroenergetycznych (ZEB). W nowej dyrektywie EPBD zwiększono wymagania dotyczące elementów składających się na system ogrzewania budynków. Każdy budynek nowy oraz istniejący, w którym wymieniane jest źródło ciepła, ma zostać wyposażony w samoregulujące się urządzenia do indywidualnej regulacji temperatury w poszczególnych pomieszczeniach lub strefie ogrzewanej modułu budynku, jeżeli jest to możliwe z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Wprowadzenie tego wymogu umożliwi lepszą regulację i dostosowanie parametrów pracy systemów ogrzewania do chwilowego zapotrzebowania na ciepło w pomieszczeniach lub całych strefach budynków, uwzględniając harmonogram ich pracy i dynamikę cieplną. Alternatywą dla przeprowadzanych przeglądów jest wyposażenie systemów ogrzewania i klimatyzacji budynków w inteligentne systemy automatyki i sterowania – BACS, których funkcjonalność ma obejmować m.in.: monitorowanie, rejestrowanie i analizowanie zużycia energii; monitorowanie efektywności energetycznej budynku, poprzez określanie sprawności systemów i informowanie osoby odpowiedzialnej za obiekt w przypadku wykrycia usterek lub konieczności wykonania przeglądu; optymalne

zarządzanie infrastrukturą techniczną budynku i integrację zainstalowanych w nim systemów.

Scenariusz możliwych do uzyskania oszczędności i redukcji zużycia energii, dzięki zmianom EPBD ale bez scenariusza zastosowania systemów BACS, które znacznie poprawią wskaźnik oszczędności, przedstawia Rys. 5. Natomiast na Rys. 22 przedstawiono Prognozowanie rozwoju rynku systemów BACS na kolejne 40 lat

Prognozowanie rynku systemów budynkowych w perspektywie 40 lat (do 2066 roku) wykracza poza tradycyjną automatykę, kierując się w stronę pełnej autonomii budynków i ich integracji z ekosystemami miejskimi [23]. Rynek niewątpliwie należy do systemów bazujących na software, gdzie kluczowe filary rozwoju rynków BACS, BMS i TBS.

Szukając odpowiedzi w bazie AI, na pytanie, jakie mogą być systemy automatyki budynkowej w przyszłości, znajdziemy poniższe zagadnienia:

1. Od Automatyzacji do Autonomii (Self-Operating Buildings)

- Systemy będą same optymalizować algorytmy HVAC i oświetlenia w oparciu o analizę behawioralną użytkowników i prognozy pogody, eliminując potrzebę ręcznego programowania logiki CFC.
- Każdy budynek będzie posiadał wirtualny model czasu rzeczywistego Digital Twins (Cyfrowe Bliźniaki), zintegrowany z systemami TBS, pozwalający na symulację awarii zanim one wystąpią (Predictive Maintenance 2.0).

2. Konwergencja z Sieciami Energetycznymi (Smart Grid & B2G)

- Systemy BMS będą zarządzać budynkiem jako magazynem energii. Integracja standardów takich jak OPC UA z sieciami energetycznymi pozwoli budynkom sprzedawać nadwyżki energii z własnych ogniw i magazynów w szczytach zapotrzebowania.
- Wynajem powierzchni będzie obejmował dynamicznie dostosowywane parametry komfortu (mikroklimat), zarządzane przez rozproszone systemy sterowania.

3. Dekarbonizacja i Cyfrowy Paszport Budynku

- Systemy BACS będą w czasie rzeczywistym raportować ślad węglowy każdej operacji technicznej w budynku.
- Ogromnym segmentem rynku będzie „retrofit” – nakładanie nowoczesnych warstw komunikacyjnych (np. MQTT, Thread) na stare instalacje Modbus/BACnet w celu ich ucyfrowienia.

4. Wyzwania i Zmiany Technologiczne

- Cyberbezpieczeństwo – przejście z zamkniętych sieci na standardy IoT wymusi budowę systemów BMS w architekturze Zero Trust.
- Edge Computing – przetwarzanie danych przeniesie się ze scentralizowanych serwerów bezpośrednio do inteligentnych czujników i sterowników (np. nowej generacji PFC WAGO), co zwiększy niezawodność.

5. Dyrektywa NIS 2

(Network and Information Security 2)

Nowe unijne prawo, które radykalnie podnosi poprzeczkę w zakresie cyberbezpieczeństwa, zastępując starszą dyrektywę NIS z 2016 roku. Dla systemów automatyki budynkowej (BMS/BACS) oznacza to koniec traktowania ich jako „izolowanych wysp” i konieczność wdrożenia rygorystycznych standardów ochrony IT/OT. To będzie miało duży wpływ na automatykę (BMS/TBS), ponieważ platformy i systemy będą musiały spełniać wymogi:

- Zarządzania incydentami – Obowiązek zgłaszania poważnych incydentów w ciągu 24 godzin od wykrycia.
- Bezpieczeństwa łańcucha dostaw – Firmy będą weryfikować poziom zabezpieczeń swoich dostawców sprzętu i oprogramowania (np. czy sterowniki mają certyfikację zgodną z IEC 62443).
- Ciągłości działania – wymagane będą plany odtwarzania systemów po awarii (*Disaster Recovery*).
- Standardów technicznych – promowanie bezpiecznych protokołów komunikacyjnych, takich jak BACnet Secure Connect (BACnet/SC) czy OPC UA z szyfrowaniem.

Wszystko przed nami. Kończąc, odniosę się do słynnego „przekleństwa” (przypisywanego tradycji zachodniej jako chińskie) – „Obyś żył w ciekawych czasach”. Idealnie oddaje to obecny stan branży Inteligentnych Systemów Sterowania Automatyką Budynków, z zastosowaniem systemów BACS, TBS, TBM, BMS. Żyjemy bowiem w erze, gdzie systemy zarządzania budynkiem przestały być odseparowanymi wyspami, a stały się elementem globalnej sieci, co niesie ze sobą nowoczesne udogodnienia, wyzwania i zagrożenia.

Literatura

- [1] Systemy sterowania inteligentnymi budynkami | Rekrutacja – Politechnika Łódzka
- [2] Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD) – Ministerstwo Rozwoju i Technologii – Portal Gov.pl
- [3] Inteligentne piętro | Informacje dla mediów | Politechnika Łódzka
- [4] Wikipedia, wolna encyklopedia
- [5] <https://www.gov.pl/attachment/68dc748b-7db5-462f-ba23-a7e7bdf35f8d>
- [6] Propozycja krajowej metodyki wyznaczania śladu węglowego budynków

- [7] https://fundusze.malopolska.pl/sites/default/files/2023/12/4469/Poradnik_weryfikacji_inwestycji_pod_wzgledem_wplywu_na_klimat_i_adaptacji_do_zmian_klimatu_w_okresie_programowania_UE_2021-2027_04122023.pdf
- [8] <https://eubac.org/>
- [9] https://eubac.org/wp-content/uploads/2021/03/EPBD_impacts_from_building_automation_controls-1.pdf
- [10] Generative AI Tools & Digital Assets for Creators | Artlist
- [11] Microsoft Word - EPBD impacts from building automation controls - Waide Strategic Efficiency
- [12] 2024_eubac_Building-Automation-and-Control-Systems-Impact-on-EPC-Classes-in-Europe.cleaned-1.pdf
- [13] https://hit.sbt.siemens.com/RWD/DB/HQEU/en_20230228_124012_758/Assets/A6V13202299_Designo_%20PXC4%20PXC5%20_%20PXC7%20Automation%20controls%20for%20_en.pdf
- [14] Ecodesign preparatory study for Building Automation and Control Systems (BACS) - Publications Office of the EU
- [15] <https://www.linkedin.com/posts/insight-control-system-siemenspxc7-buildingautomationsystems-designocc-activity-7329845732939563008-3bfE>
- [16] Materiały Inteligentnego Piętra Katedry Aparatów Elektrycznych PŁ
- [17] Dokumentacja Wago
- [18] Dokumentacja ASIX for WAGO
- [19] BACnet – Building Automation and Control Networks – <https://bacnet.org/>
- [20] Modbus – protokół komunikacyjny stworzony przez firmę Modicon – <https://www.modbus.org/>
- [21] KNX - standard KONNEX / KNX – dawniej EIB – standard instalacji elektrycznej nowej generacji - <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/>
- [22] Dokumentacja CODESYS www.codesys.com
- [23] BACS building automation controls – the information revolution – Designing Buildings Wiki
- [24] Strona główna | Polski Komitet Normalizacyjny

 **dr inż. Mariusz Jabłoński**

e-mail: mariusz.jablonski@p.lodz.pl

Przewodniczący RKS Systemy Sterowania Inteligentnymi Budynkami

Katedra Aparatów Elektrycznych

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechnika Łódzka

 Aktualne trendy i technologie znajdziesz na **www.nis.com.pl**