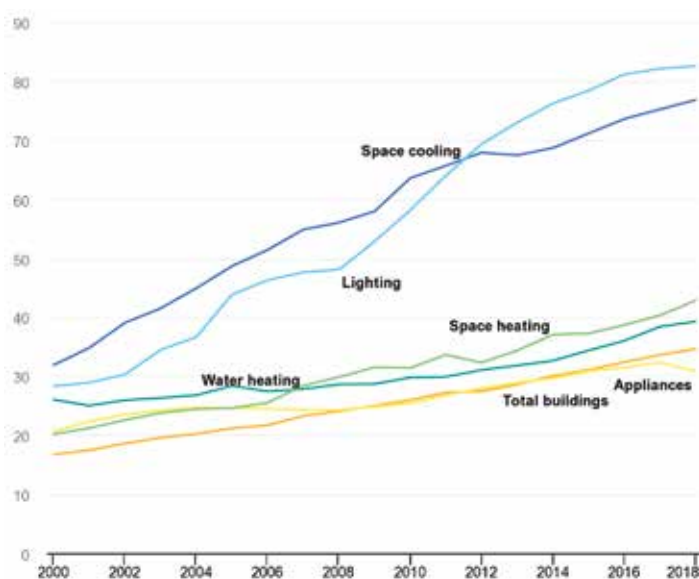


Zastosowanie inteligentnych systemów sterowania do poprawy bezpieczeństwa i efektywności energetycznej budynków

dr inż. Mariusz Jabłoński
prof. dr hab. inż. Piotr Borkowski
Katedra Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej

1. Wprowadzenie

Rosnące koszty energii oraz coraz bardziej rygorystyczne przepisy nie są jedynymi przyczynami, z powodu których ludzie analizują koszty zużycia energii. Powodem tego są m.in.: rosnąca świadomość zmiany klimatu, malejące zasoby oraz inne czynniki wpływające na efektywność energetyczną i bezpieczeństwo. Oszczędzanie staje się coraz ważniejsze w życiu codziennym. Budynki zużywają energię na poziomie około 40% globalnego zużycia i są to zarówno budynki mieszkalne, biurowe i komercyjne, jak i hotele, centra handlowe oraz budynki przemysłowe. Sektor budynków jest zatem ogromnym konsumentem energii końcowej, gdzie na sektor budynków mieszkalnych przypada aż ok. 70% energii końcowej konsumowanej w segmencie budynków, co plasuje go na drugim miejscu z udziałem 27%, za transportem – ok. 32%, a przed przemysłem – 25% – za rok 2019 (źródło: Europa-Eurostat). Na rys. 1. przedstawiono całkowite zużycie energii budynków według IEA za lata 2000–2018.



Rys. 1. IEA, Zakres polityki całkowitego końcowego zużycia energii w budynkach, 2000–2018 IEA [1]

Zauważono, że szczególnie istotne jest obniżenie zużycia energii za pomocą np. inteligentnej automatyki budynkowej oraz docelowej poprawy efektywności energetycznej (np. termomodernizacja)

– dyrektywa budynkowa EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) [2]. W implementacji rozważyć należy zarówno instalację nowych systemów sterowania budynkami, jak również wprowadzenie ulepszeń do już istniejących systemów automatyki budynkowej, które często wymagają niewielkich inwestycji i wsparcia, a w zamian pomagają zaoszczędzić znaczną część energii i zmniejszyć emisję CO₂. Takie systemy pozwalają również osiągnąć lepszą wydajność energetyczną. W artykule zostaną opisane główne systemy odpowiedzialne za funkcjonowanie budynków, a na przykładzie nowego systemu sterowania automatyką budynkową zostaną przedstawione różne możliwości i koncepcje implementacji inteligentnych systemów sterowania do monitorowania, zarządzania i sterowania pracą systemów budynkowych, wspomagających funkcjonalność i pozwalających na oszczędności energetyczne oraz zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników i mieszkańców.

2. Dyrektywa Unii Europejskiej 2018/844/UE z dnia 30 maja 2018 r. – EPBD

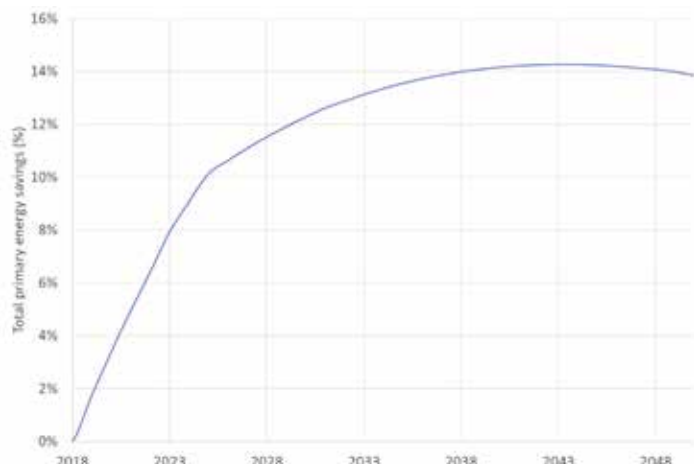
Na bazie informacji podanych na stronie Krajowej Agencji Poszanowania Energii SA oraz po zapoznaniu się z dyrektywą, możemy podkreślić, że dyrektywa wprowadziła szereg nowych definicji oraz uściśliła pojęcia kilku już istniejących, między innymi [3]:

- system techniczny budynku – *technical building system* TBS,
- system automatyki i sterowania budynkiem – *building automation and control system* BACS,
- system ogrzewania – *heating system* HS,
- źródło ciepła – *heat generator* HG,
- umowa o poprawę efektywności energetycznej – *energy performance contracting* EPS,
- mikrosystem wydzielony – *micro isolated system* MIS.

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.

„Nowe budynki powinny spełniać minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej a przed rozpoczęciem budowy nowych budynków powinny zostać uwzględnione techniczne, środowiskowe i ekonomiczne możliwości realizacji wysoce wydajnych systemów. W odniesieniu do budynków poddawanych ważniejszej renowacji państw członkowskie zachęcają, aby uwzględnić zastosowanie wysokoefektywnych systemów alternatywnych, o ile jest to możliwe z technicznego, funkcjonalnego

i ekonomicznego punktu widzenia, oraz aby zapewnić zdrowe wewnętrzne warunki klimatyczne, bezpieczeństwo przeciwpożarowe i zająć się ryzykiem związanym z intensywną aktywnością sejsmiczną.”

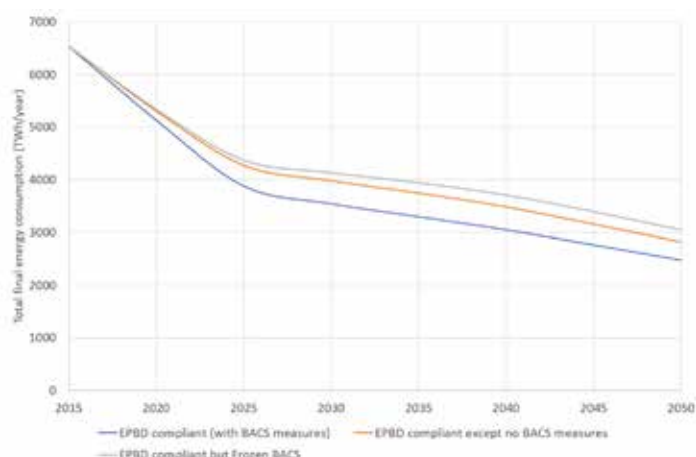


Rys. 2. Całkowite oszczędności energii pierwotnej dla wszystkich budynków w scenariuszu zgodnym z dyrektywą EPBD w porównaniu ze scenariuszem zgodnym z dyrektywą EPBD bez scenariusza BACS [1]

„Do celów optymalizacji zużycia energii w systemach technicznych budynku państwa członkowskie określają wymagania dotyczące ogólnej charakterystyki energetycznej systemów, odpowiedniej instalacji i właściwego zwymiarowania, regulacji i kontroli systemów technicznych zainstalowanych w istniejących budynkach. Państwa członkowskie mogą stosować te wymagania systemowe także wobec nowych budynków. Ustala się 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. Państwa członkowskie wymagają, aby nowe budynki, jeżeli jest to możliwe z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia, były wyposażone w samoregulujące się urządzenia, które regulują temperaturę oddzielnie w poszczególnych pomieszczeniach, lub, w uzasadnionych przypadkach, w wyznaczonej strefie ogrzewanej modułu budynku. W istniejących budynkach instalacja takich urządzeń samoregulujących wymagana jest w przypadku wymiany źródeł ciepła, jeżeli jest to możliwe z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia” – źródło dyrektywa EPBD 2018. Całkowite oszczędności energii pierwotnej dla wszystkich budynków w scenariuszu zgodnym z dyrektywą EPBD, w porównaniu ze scenariuszem zgodnym z dyrektywą EPBD, ale bez zastosowania BACS przedstawia rys. 2.

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 ciepłą. Zwiększono również z 20 kW do 70 kW dla systemów ogrzewania oraz z 12 kW do 70 kW dla systemów klimatyzacji minimalną, znamionową moc użyteczną urządzeń w tych systemach, która kwalifikuje te systemy do obowiązkowego regularnego przeglądu ich pracy. 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,

rejestrwanie 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. 3.



Rys. 3. Całkowite końcowe zużycie energii w budynkach UE według scenariusza [1]

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 zakłada obowiązek montażu tego typu systemów do 2025 r. we wszystkich budynkach niemieszkalnych, które wyposażone są w systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji o znamionowej mocy użytecznej urządzeń ponad 290 kW.

3. Building Automation and Control Systems (BACS)

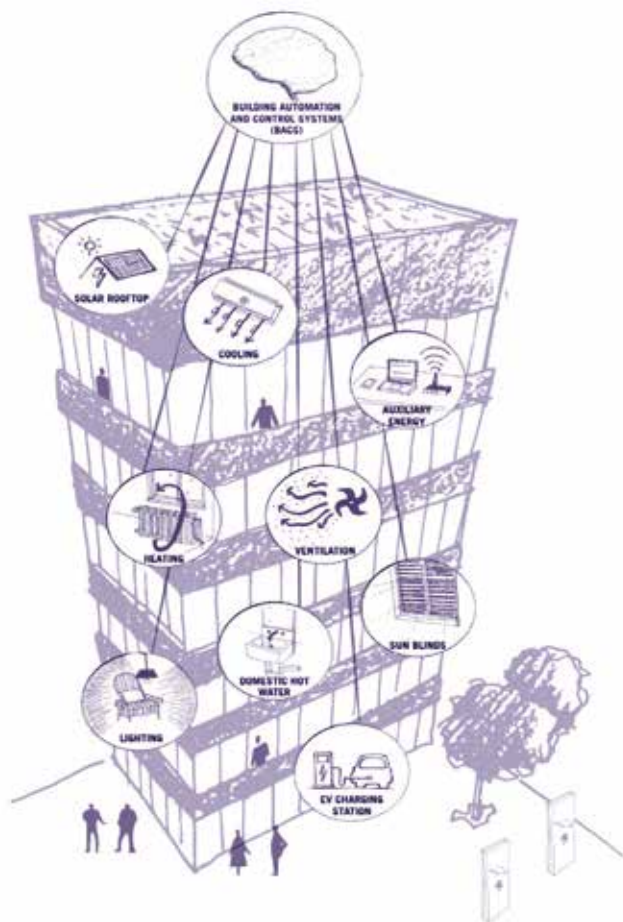
Z uwagi na fakt, że budynki stanowią około 40 % globalnego zużycia energii, szczególnie istotne jest w pierwszej kolejności zastosowanie zautomatyzowanych systemów inteligentnych z automatyczną regulacją – BACS monitorujących pracę budynku i reagujących stosownie do zaprogramowanych wymagań. Wielkości regulowane powinny być zmieniane w taki sposób, aby obniżyć zużycie energii (elektrycznej, cieplnej, innej). Zastosowanie inteligentnych systemów automatyki budynkowej do sterowania pracą budynków może dotyczyć zupełnie nowych, projektowanych od początku obiektów, może dotyczyć wprowadzenia ulepszeń do istniejących systemów budynkowych, jak również wyposażenia w takie systemy budynków oddanych już do użytku (rys. 4.).

Rozwiązania usprawniające często wymagają niewielkich inwestycji i wsparcia, a w zamian pomagają zaoszczędzić znaczną część ilości energii, zmniejszyć emisję CO₂ i skrócić okresy zwrotu inwestycji. Na stronie www.eubac.org znajdziemy wiele przydatnych informacji na temat systemów BACS. Systemy te odnoszą się do produktów, które monitorują



Rys. 4. Przykład integracji funkcjonalności budynkowych w systemie BACS

i automatycznie dostosowują zużycie energii za pomocą technologii w naszych domach i budynki, aby zapewnić komfortowe środowisko, przy jednoczesnej optymalizacji zużycia energii. Do prostych rozwiązań automatyki budynkowej BACS zaliczamy zawory samoregulujące w domowych grzejnikach c.o., a do rozbudowanych – zaawansowane systemy BMS zarządzania budynkiem w dużych budynkach, np. biurowych, składające się m.in.: ze sterowników programowalnych, modułów I/O, bramek komunikacyjnych. Systemy te powinny tworzyć spójny system sterowania, który może być zrealizowany według koncepcji przedstawionej na rys. 5. jako „mózg” i „układ nerwowy” budynku. Dzięki wzajemnej komunikacji wszystkich urządzeń i pełnej informacji o czujnikach oraz mierzonych i regulowanych wielkościach można wówczas znacznie zwiększyć ogólną

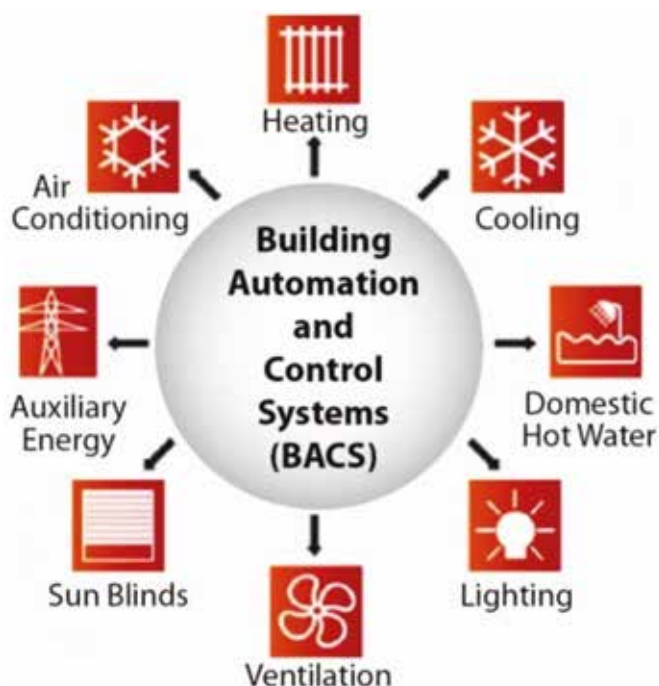


Rys. 5. System BACS, jako „mózg” i „układ nerwowy” budynku [5]

sprawność/wydajność budynków przy optymalizacji funkcjonowania systemów TBS i ich serwisowania.

Każdy taki system jest kluczowy, ale tylko „mózg” BACS jest w stanie zoptymalizować ogólną wydajność i funkcjonalność, zapewniając, że systemy i usługi nie będą działały przeciw sobie. Systemy BACS reprezentują również „inteligentne węzły” zintegrowanego systemu energetycznego opracowanego wokół budynku. Reagowanie na zapotrzebowanie, prognozowanie zużycia, magazynowanie energii, zarządzanie rozproszoną energią odnawialnych źródeł energii (np. panele fotowoltaiczne na dachu) to inteligentne funkcje związane z optymalnym działaniem budynku. System BACS jest w stanie je zintegrować i zoptymalizować, czyniąc budynki „inteligentnymi” i przyszłościowymi, umożliwiając dostęp w czasie rzeczywistym do analiz w chmurze, raportowanie i usługi serwisowe, pozwalając na podejmowanie świadomych decyzji.

Nowa dyrektywa zawiera kilka innowacyjnych elementów, które mogą rozwiązać problem niedoskonałości rynku obecnie uniemożliwiającej pełne wykorzystanie zalet BACS, osiągając ogromne oszczędności energii i CO₂, jednocześnie umożliwiając użytkownikom zwiększenie ich komfortu i zdrowia. Aby osiągnąć ten potencjał, kluczowym jest, aby wszyscy decydenci wiedzieli jak najwięcej o systemach BACS (rys. 6.), jednocześnie wiedząc, jak płynnie wdrażać niektóre rozwiązania, które mogą na pierwszy rzut oka wydawać się bardzo trudne.



Rys. 6. Ilustracja działania standardu systemu BACS [5]

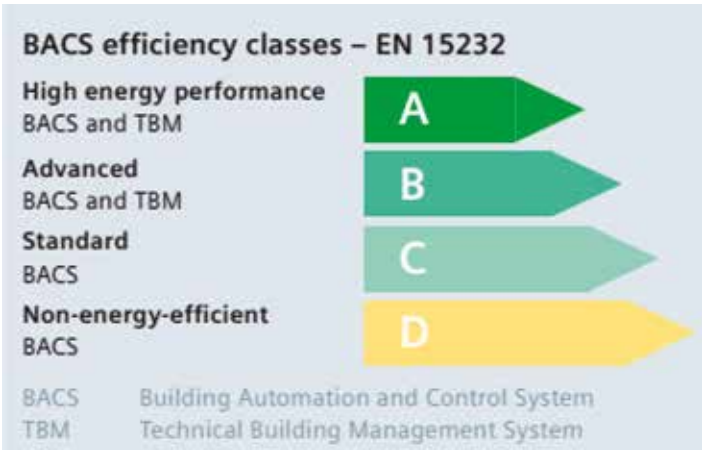
Zmieniona dyrektywa EPBD obejmuje: środki wymagające wdrożenia automatyki i sterowania budynkiem, zaawansowane funkcjonalności we wszystkich dużych niemieszkalnych budynkach (istniejące i nowe, z efektywną mocą znamionową >290 kW) oraz instalacje urządzeń samoregulujących (takie jak termostatyczne zawory grzejnikowe) dla indywidualnej regulacji temperatury w każdym pokoju (zarówno w budynkach mieszkalnych, jak i niemieszkalnych, istniejące – po wymianie ogrzewania na nowe). Implementacja środków BACS zawartych w zmienionej dyrektywie EPBD mogłaby przynieść oszczędności odpowiadające 14% zużycia całkowitej energii budynku, przy 64 Mt rocznych oszczędnościach CO₂ i 36 mld euro w rachunkach za energię [5]. Procentową możliwość redukcji zużycia energii cieplnej i elektrycznej przy zastosowaniu systemów BACS przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Procentowa możliwość redukcji zużycia energii cieplnej i elektrycznej przy zastosowaniu systemów BACS [5]

Wiodące firmy w dziedzinie wydajności energetycznej w budynkach posiadają wiele lat doświadczenia oraz zharmonizowany portfel produktów, systemów i rozwiązań, co pozwala optymalizować wydajność systemów. W pierwszych dniach po wejściu w życie tego aktu EPBD **eu.bac** – Europejskie Stowarzyszenie Automatyki i Kontroli Budynków – postanowiło rozpocząć opracowywanie przewodnika mającego na celu zapewnienie wskazówek technicznych wszystkim zainteresowanym stronom zaangażowanym w proces transpozycji. Przewodnik został opracowany i zmieniony w celu uwzględnienia wszystkich odpowiednich postanowień Wytycznych Dokumentów wydanych przez Komisję Europejską. Przewodnik dostępny jest pod adresem: https://www.eubac.org/cms/upload/eu.bac_guidelines_on_revised_EPBD_June_2019.pdf

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 (rys. 8.).



Rys. 8. Klasy energetyczne, systemy BACS, TBM i EPBD [5]

W dokumencie podano obowiązkowe wymagania dotyczące instalacji i modernizacji systemu automatyki i sterowania budynkami (BACS) w budynkach niemieszkalnych (istniejących i nowych) ze skutecznością mocy znamionowej powyżej 290 kW do 2025 r., jeżeli jest to technicznie i ekonomicznie wykonalne (art. 14/15). Do spełnienia tego wymogu są potrzebne systemy BACS z możliwościami zdefiniowanymi w art. 14/15 par. 4.

Przykład zgodności: pokoje, do których mają ciągłe obciążenie w godzinach pracy mają urządzenia sterujące, które spełniają co najmniej poziom EN 15232 Klasa B, podczas gdy inne pokoje spełniają co najmniej poziom C i dynamiczne możliwości równoważenia hydraulicznego zgodnie z EN 15316-2. Budynki istniejące i nowe wielorodzinne wyposażone w BACS są zwolnione z obowiązkowych kontroli systemów ogrzewania/klimatyzacji (art. 14/15). Tylko systemy BACS z możliwościami zdefiniowanymi w art. 14/15 par. 5 spełniają ten wymóg. Żadne budynki wyposażone w BACS nie mogą być zwolnione z obowiązkowych kontroli systemów ogrzewania/klimatyzacji, a każde państwo członkowskie musi wprowadzić system zapewniający zgodność tego przepisu. Należy zainstalować indywidualne regulatory temperatury w pomieszczeniu dla nowych systemów (ogrzewanie lub chłodzenie). Typowymi urządzeniami byłyby

TRV (*thermostatic radiator valves*) na grzejnikach. Państwa członkowskie są zobowiązane, w szczególnych przypadkach, do odstąpienia od ww. zadań, jeżeli takie instalacje mogą być technicznie i ekonomicznie niewykonalne.

Tabela 1. Prognozowana ewolucja w ogrzewaniu pomieszczeń. Udziały klas efektywności energetycznej BACS dla ogrzewania pomieszczeń w domach jednorodzinnych w regionie zachodnim zgodnie z dyrektywą EPBD bez scenariusza BACS

BACS class	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	0,5%	2,0%	3,5%	5,2%	7,0%	8,9%	10,9%
B	6,5%	9,8%	12,8%	15,4%	17,7%	19,7%	21,4%
C	78,4%	74,5%	70,7%	67,2%	63,8%	60,6%	57,5%
D	9,8%	9,2%	8,7%	8,1%	7,7%	7,2%	6,8%
No BACS	4,9%	4,6%	4,3%	4,1%	3,8%	3,6%	3,4%

Zmiany w dyrektywie niewątpliwie powinny być skuteczne, a zyski energetyczne są widoczne w tabeli 1.

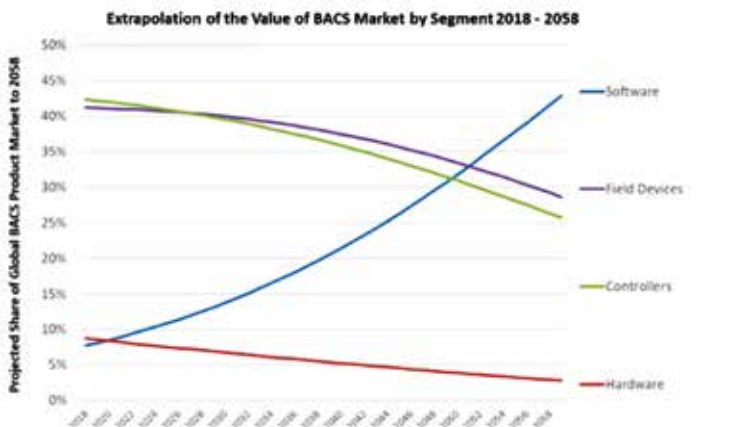
Natomiast w tabeli 2. wyraźnie widać, że zaimplementowanie systemów inteligentnych BACS powinno przynieść znaczny wzrost oszczędności energii wydatkowanej na ogrzewanie.

Tabela 2. Prognozowana ewolucja w ogrzewaniu pomieszczeń. Udziały klas efektywności energetycznej BACS dla ogrzewania pomieszczeń w domach jednorodzinnych w regionie zachodnim w ramach scenariusza zgodnego z dyrektywą EPBD

BACS class	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	1,9%	6,5%	11,2%	15,8%	20,2%	24,5%	28,6%
B	12,2%	26,7%	36,9%	43,9%	48,5%	51,2%	52,5%
C	72,4%	56,4%	44,0%	34,2%	26,7%	20,8%	16,2%
D	9,0%	6,9%	5,3%	4,0%	3,1%	2,4%	1,8%
No BACS	4,5%	3,4%	2,6%	2,0%	1,5%	1,2%	0,9%

W tabeli 2. zaprezentowano prognozowaną ewolucję zmian energii wydatkowanej na ogrzewanie pomieszczeń. Procentowy udział klas efektywności energetycznej BACS dla ogrzewania pomieszczeń w domach jednorodzinnych w regionie zachodnim w ramach scenariusza zgodnego z dyrektywą EPBD wyraźnie zmienia się w klasach A, B, C. Docelowo, każdego roku, na przestrzeni lat, wzrasta udział klas A i B, a maleje klasy C.

Na rys. 9. przedstawiono szacowany rozwój rynku systemów BACS, głównie w sferze oprogramowania. Wzrost ten wyniesie ponad 35% na przestrzeni 50 lat – od roku 2018 do roku 2058.



Rys. 9. Prognozowanie rozwoju rynku systemów BACS na kolejne 40 lat – Źr. BSRIA Research [6]

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 OpenSource, 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 ZeeBee oraz Z-wave. Popularne języki programowania to LUA czy internetowe IFTTT. Z oprogramowania do wizualizacji niewątpliwie wyróżnia się Grafana. Najpopularniejsze microsterowniki, za pomocą których samodzielnie można wykonać system BACS, to Arduino i Raspberry Pi. Wszystkie powyższe elementy pomagają zaimplementować rozwiązania ułatwiające funkcjonalność i komfort domowy, pozwalają osiągnąć określone oszczędności finansowe i poprawić bezpieczeństwo – np. poprzez instalację różnego rodzaju czujników monitorujących jakość i poziom powietrza. Na rys. 10. przedstawiono przykładową koncepcję rozbudowanego systemu BACS, który od kilku lat działa w Katedrze Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej, a aktualnie dokonywana jest modernizacja i rozbudowa systemu jako zadanie realizowane w ramach projektu Interdyscyplinarnego Centrum Badawczo-Rozwojowego Zaawansowanych Materiałów i Inteligentnych Systemów Zarządzania w Budownictwie 2020+ Politechniki Łódzkiej na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki w części dotyczącej Katedry Aparatów Elektrycznych K-21.

Podając przykład BACS, sercem projektu będzie System Centralny, zbudowany na bazie centralnego systemu komputerowego, który in-

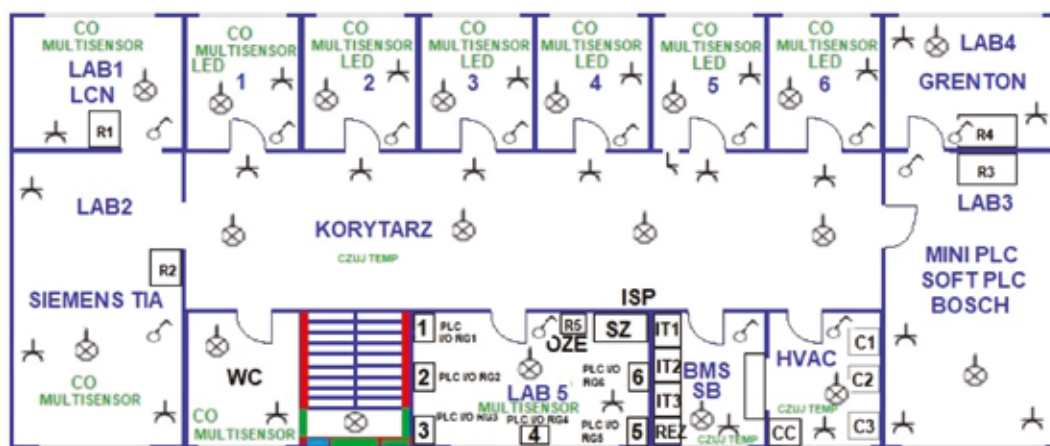
tegruje: System kontroli dostępu do pomieszczeń, System oświetlenia, System HVAC, System bezpieczeństwa, System zasilania oraz instalacje elektryczne i rozwiązania znajdujące się w pomieszczeniach i jest przystosowany do takich funkcji budynku, jak monitorowanie zużycia mediów (ciepła, wody użytkowej energii elektrycznej), sterowanie systemem ogrzewania, wentylacją, klimatyzacją, instalacją elektryczną – rys. 10.

Obsługa wszystkich systemów zapewniona jest z punktów lokalnych, wynikających z funkcjonalności oraz z centralnej sterowni, gdzie znajduje się dedykowany komputer, serwer systemu BMS pracujący w trybie ręcznym lub automatycznym z możliwością przełączania zadawania z automatyki w trybach: *manual*, *auto*, *open*. Główna jednostka centralna połączona jest z poszczególnymi szafami automatyki znajdującymi się w pomieszczeniach rozdzielni głównej pietra i szafy głównej w obiekcie za pomocą magistrali kablowej oraz sieci komunikacyjnych. Szafy sterownicze zawierają sterowniki DCS oraz PLC, moduły wejść/wyjść łącznie z oprogramowaniem wymagającym do funkcjonalnego działania. System zapewnia optymalne sterowanie urządzeniami w obiekcie w celu zminimalizowania kosztów eksploatacyjnych i oszczędności energii. Całość jest monitorowana, z wizualizacją i podglądem, z dostępem z www i urządzeń mobilnych. Bezpieczeństwo zapewnia dedykowany System bezpieczeństwa, który oczyszcza katalitycznie powietrze, monitoruje system przeciwpożarowy, wykorzystuje kamery wykrywające pożar oraz zapewnia stosowne bezpieczeństwo informatyczne przez wydzielone kanały VPN i szyfrowanie. Do realizacji wizualizacji pracy systemu, można zastosować darmowe (w dużym zakresie użyteczności) oprogramowanie Grafana, tak jak to przedstawia rys. 11.

Grafana to wieloplatformowa aplikacja internetowa typu open source służąca do monitorowania, analizy oraz interaktywnej wizualizacji pracy systemów, np. BACS. Grafana po połączeniu z obsługiwanyimi źródłami danych udostępnia wykresy i alarmy za pośrednictwem sieci Web.

Do realizacji systemu można wybrać np. darmową platformę CODESYS Development, która jest przeznaczona dla projektantów i programistów chcących realizować zaawansowaną funkcjonalność rozwiązań (rys. 12.).

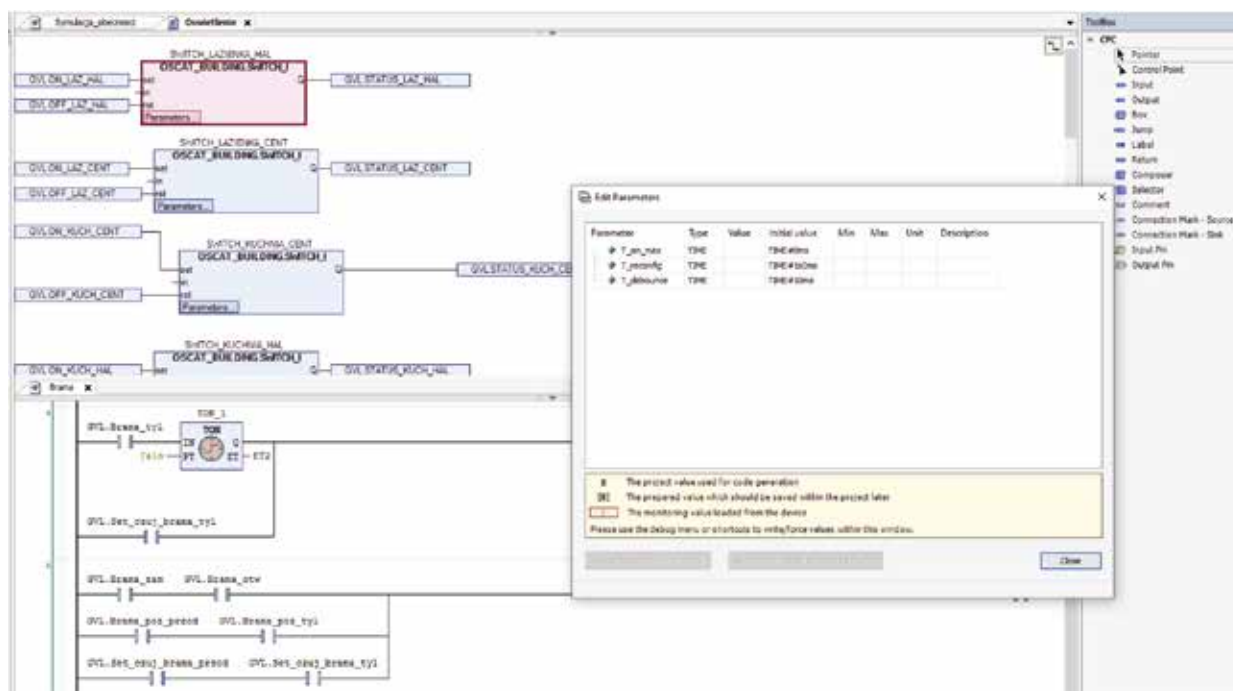
CODESYS jest realizowany na bazie standardu IEC 61131-3 i jest to środowisko inżynierskie dla urządzeń programowalnych różnych producentów, które, z uwagi na elastyczność funkcjonalną, również dobrze sprawdza się w obszarze automatyki budynkowej i zarządzania budynkiem. Z rozwiązania korzysta wielu producentów, zatem sterowniki kompatybilne z CODESYS można znaleźć w wersji klasycznej techniki budynkowej, np. do regulacji oświetlenia, w technologii zaciemniającej czy klimatyzacyjnej, ale też wyższej – centralne systemy zarządzania takie jak sterownie lub systemy tunelowe. Można też zaimplementować



Rys. 10. Przykład systemu BACS na bazie rozwiązań inteligentnego piętra Katedry Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej



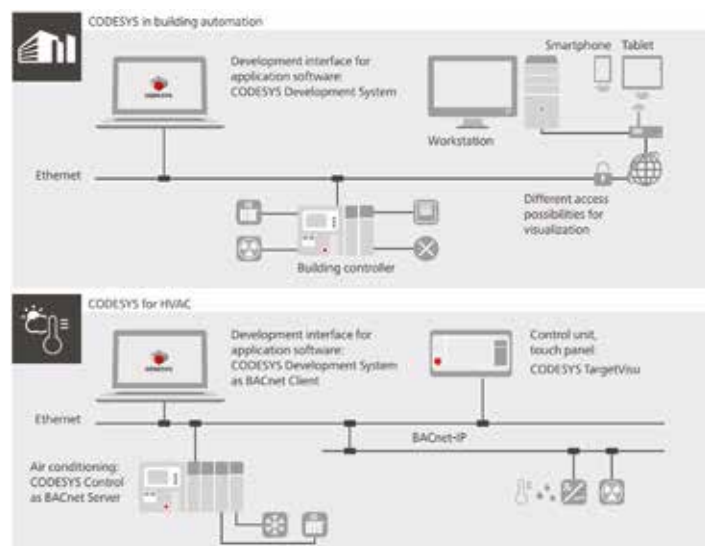
Rys. 11. Wizualizacja pracy systemu BACS za pomocą Grafana [7]



Rys. 12. Przykład realizacji systemu BACS za pomocą platformy CODESYS [8]

CODESYS do urządzeń typu Raspberry Pi i zrealizować własny system niskobudżetowy system BACS.

Bez dodatkowego oprogramowania CODESYS integruje niezbędną funkcjonalność do uruchomienia, poprzez optymalizację projektu, aż po utrzymanie i eksploatację wdrożonej instalacji budynkowej. Oprócz klasycznego tworzenia aplikacji za pomocą dostarczonych edytorów tekstowych i graficznych, system oferuje możliwości optymalizacji inżynierii oprogramowania. Platforma oferuje użytkownikom niezliczone możliwości monitorowania parametrów systemu, aż do protokołowania w czasie rzeczywistym. Użytkownicy systemu mogą korzystać ze zintegrowanych funkcji dodatkowych, takich jak: obsługa systemów sieci komunikacyjnych i różnych budynkowych standardów komunikacyjnych (BACnet, OPC UA, KNX, Modbus, CANopen) oraz zintegrowanej wizualizacji. Zastosowanie platformy w rozwiązaniach automatyki budynkowej przedstawia rys. 13.



Rys. 13. Zastosowanie platformy CODESYS w systemach BACS automatyki budynkowej [8]

Z uwagi na dostęp systemów BACS do internetu, zabezpieczenia dostępu do systemu i funkcje CODESYS pomagają zmniejszyć ryzyko

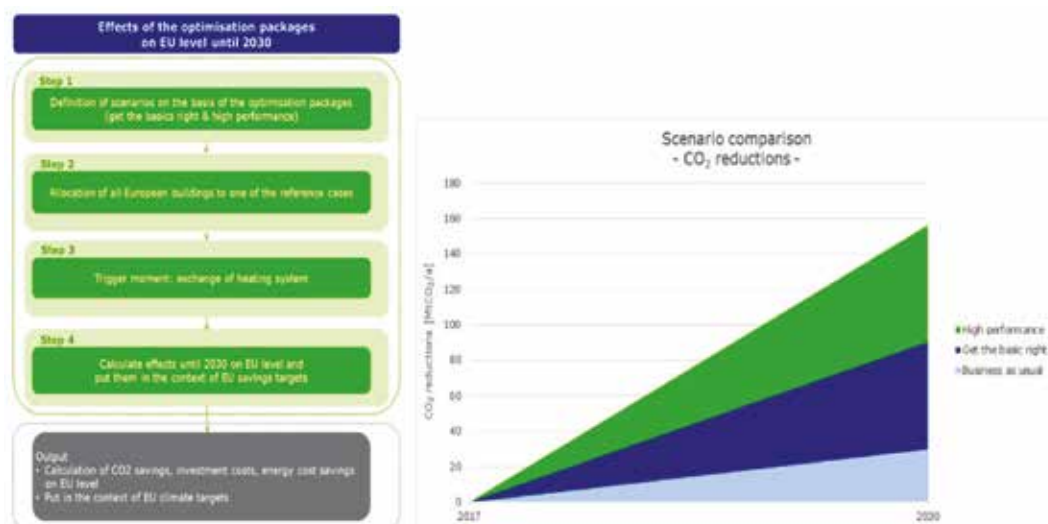
typowych scenariuszy ataków lub nawet całkowicie im zapobiec, eliminując zagrożenia. W połączeniu z procedurami bezpieczeństwa określonymi w międzynarodowej normie IEC 62443, funkcje bezpieczeństwa zawarte w CODESYS i ustanowione procedury zapewniają bezpieczeństwo systemów sterowania.

4. Technical Building Systems (TBS) a optymalizacja systemów technicznych budynku

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

Ogólną optymalizację systemu TBS w warunkach dynamicznie zmieniających się, dla typowych warunków pracy, osiąga się poprzez zapewnienie systemowi wyposażenia w odpowiednie podzestawy listy możliwości mających zastosowanie do systemów HVAC (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*). Takie rozwiązania optymalizują energię i komfort systemu HVAC oraz wydajność dla rzeczywistych warunków użytkowania budynku. Należy upewnić się, że każda część/pokój w budynku wykorzystuje tylko minimalną ilość energii we właściwym czasie oraz we właściwym miejscu, aby zapewnić wybrane wewnętrzne warunki przez mieszkańców.

Na rys. 14. przedstawiono schemat działania wybranej metody optymalizacji pracy systemu TBS według ECOFYS, według której można zredukować CO₂, koszty inwestycji i koszty energii do 2030 roku. Efekt może zostać osiągnięty poprzez przyspieszony i zaawansowany rozwój systemów technicznych budynku (TBS) dla najmniej wydajnych budynków: prawidłowy montaż, odpowiednie projektowanie, regulację, kontrolę i automatyzację. W ramach scenariusza „Get the basics right” widać, że głównie właściwa instalacja, odpowiednie zaprojektowanie



Rys. 14. Ilustracja działania optymalizacji systemu według standardu TBS [9]

i dostosowanie (z wyłączeniem zaawansowanej i połączonej automatyki budynku i środków kontroli) są zrealizowane w około 47% zasobów budowlanych.

Tabela 3. Dodatkowe roczne oszczędności CO₂ i energii pierwotnej w 2030 r. w porównaniu ze scenariuszem biznesowym „Business as usual” – rys. 14., [10]

Scenario	CO ₂ - emissions reduction [Mt CO ₂ /year]	Primary energy savings [Mtoe/year]
Get the Basics right	61	27
High performance	126	58

Tabela 4. Podsumowanie założonej konfiguracji systemu HVAC dla referencyjnego budynku jednorodzinnego, [10]

	Parameter	Reference value
HVAC	Valve	Thermostatic radiator valve (TRV) before 1988 ²⁰²¹
	Type of radiator	Ripped radiator
	Design supply / return temperature	70/50 (but only 55/45 required)
	Pipe system	2 pipe
	Heating curve	Default settings (no individual adjustments)
	Night setback (lower temperature at night)	No
	Insulation of pipes	All pipes moderately insulated (U-value: 0,4 W/(m ² K) ~30-40% of pipe diameter)
	Pump	Pump, on/off, over dimensioned (100 %) and not adjusted
	Boiler / heat pump	New boiler/ new heat pump
	Control system	Poor control and settings => Control of heat emitters provided by central automatic control (scheduler based on a single thermostat); no sensing of ambient temperature or associated control, no automatic control of distribution network hot water temperature (supply or return); on/off control of distribution pumps
Hot water	Hydronic balancing	Systems are not balanced
	Circulation system	No
	Insulation of pipes	All pipes moderately insulated (U-value: 0,4 W/(m ² K) ~30-40% of pipe diameter)
	Hot water storage tank	Yes, in non-heated area
	Legionella protection	No (50 °C, System temperature)

W tych samych budynkach zaimplementowano scenariusz wysokiej wydajności z zestawem zaawansowanych środków (głównie zaawansowana i połączona automatyka budynkowa oraz systemy sterowania). Dane liczbowe pokazują również możliwość uzyskania oszczędności w zakresie inwestycji. W tabeli 3. porównano scenariusze „Get the basics right” oraz „High performance”. Dzięki implementacji systemów BACS, połączonych z wdrożeniem założeń dyrektywy EPBD, do 2030 roku można osiągnąć dwukrotną redukcję emisji CO₂ oraz uzyskać dwukrotnie większy zysk w energii pierwotnej.

W tabeli 4. przedstawiono podsumowanie założonej konfiguracji

systemu HVAC dla referencyjnego budynku jednorodzinnego.

Podsumowanie analizy sprowadza się do czterech podstawowych kategorii wraz z podaniem głównych punktów do realizacji [10]:

1. Odpowiednie zaprojektowanie i dobór

- właściwe zwymiarowanie pompy (ogrzewanie pomieszczeń),
- w przypadku MFH (w przypadku cyrkulacji) właściwe zwymiarowanie pompy obiegowej.

2. Właściwa instalacja

- orurowanie systemu dystrybucji ogrzewania pomieszczeń: lepsza izolacja w dostępnych strefach nieogrzewanych (przy założeniu dostępności 90%),
- orurowanie systemu dystrybucji CWU: lepsza izolacja w dostępnych strefach nieogrzewanych (przy założeniu dostępności 90%):
 - SFH (dystrybucja z jednej rury): 100% średnicy rury,
 - MFH (cyrkulacja): 100% średnicy rury.

3. Regulacje

- obniżenie nocne – regulowane ustawienia (od 23:00 do 6:00, obniżenie temperatury o 2 K),
- regulacja temperatur systemu (zasilanie/powrót),
- CWU na SFH: obniżenie temperatury (wyłączenie pompy ładowania zasobnika) w nocy (między 23:00 a 6:00),
- CWU w MFH: uruchomienie zaworów równoważenia termicznego na przewodach cyrkulacyjnych, obieg wymagany 24 godziny,
- równoważenie hydrauliczne (ręczne),
- montaż standardowych zaworów termostatycznych grzejnikowych (TRV),
- MFH: automatyczne równoważenie hydrauliczne.

4. Automatykacja, kontrola i monitorowanie systemu

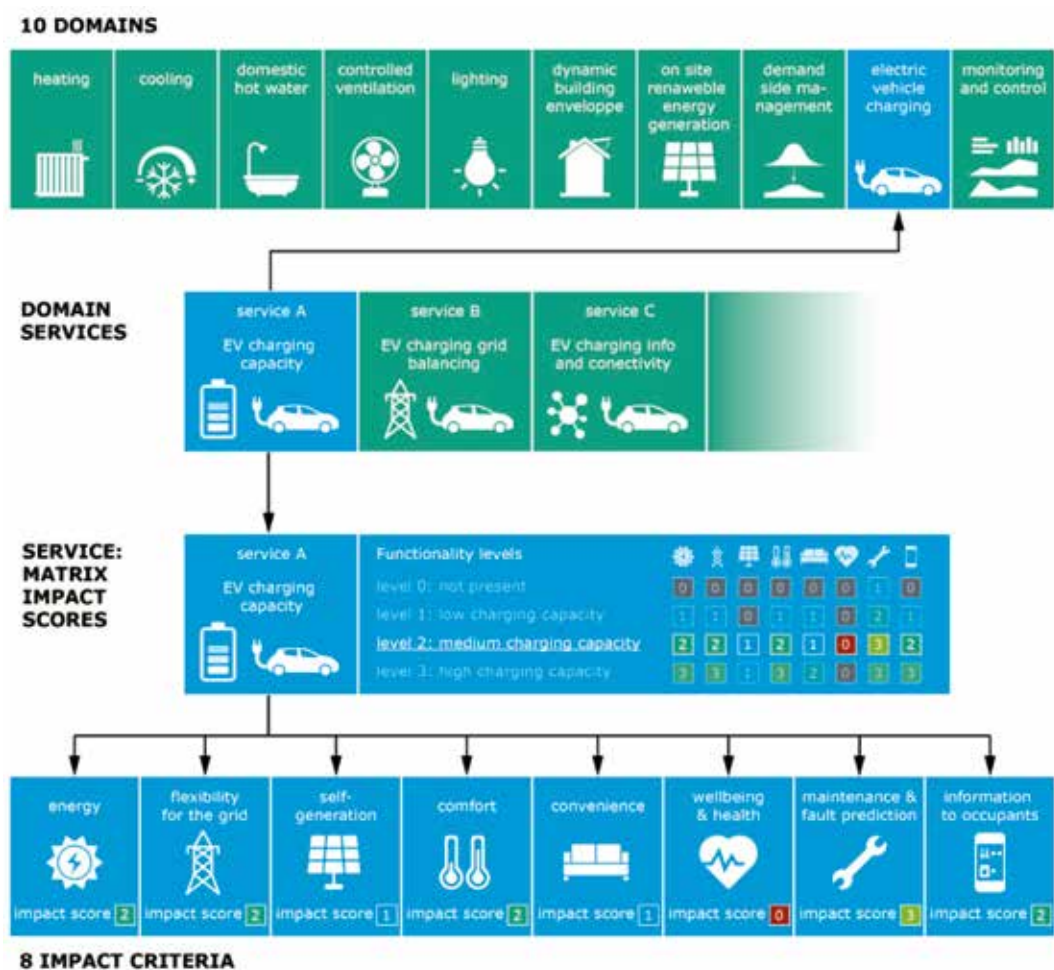
- kocioł: zastosowanie kompensacji pogodowej,
- kocioł: optymalny start/stop,
- zarządzanie pompą: zmienna prędkość/przepływ,
- montaż elektronicznych zaworów termostatycznych grzejnikowych (TRV),

- MFH: automatyczne zawory równoważące termiczne na przewodach cyrkulacyjnych CWU,
- sterowanie emiterami ciepła zapewniane przez zewnętrzne czujniki sterowania w poszczególnych pomieszczeniach, temperatura w pomieszczeniu i reakcja termiczna (optymalny start/stop) z komunikacją pomiędzy kontrolerami a BACS (np. planista); automatyczna kontrola temperatury ciepłej wody w sieci dystrybucyjnej (zasilanie lub powrót) poprzez kompensację; sterowanie VSD pomp dystrybucyjnych.

5. SRI – inteligentny wskaźnik gotowości budynków i oceny oddziaływania

Na stronie www.buildup.eu znajduje się opracowanie dotyczące projektu zrealizowanego z upoważnienia Dyrekcji Generalnej Komisji Europejskiej ds. Energii. Niniejszy dokument zawiera podsumowanie głównych wniosków z badania technicznego zleconego i nadzorowanego przez służby Komisji Europejskiej (DG ENERGY) w kierunku opracowania inteligentnego wskaźnika efektywności dla budynków. Inteligentny wskaźnik gotowości jest częścią zmienionej dyrektywy EPBD w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dokument definiuje „Smart Readiness Indicator” (SRI), inteligentny wskaźnik gotowości dla budynków, który dostarcza informację na temat aktualnej technologii i gotowości budynków do współdziałania z ich mieszkańcami i sieciami energetycznymi oraz ich możliwości na kolejne efektywne działania i lepszą wydajność dzięki technologiom ICT. Oczekuje się, że SRI stanie się opłacalnym środkiem, który może skutecznie pomóc w tworzeniu zdrowszych i wygodniejszych budynków, z mniejszym zużyciem energii i zmniejszeniem wskaźnika wpływu węgla oraz może ułatwić integrację odnawialnych źródeł energii [11]. W raporcie końcowym z przeprowadzonych badań zauważamy, że wymieniono odpowiednie usługi w danej dziedzinie i oceniono poziom funkcjonalności wdrożonej usługi gotowości – smart ready. Wstępnie zdefiniowano 8 kryteriów wpływu, mających zastosowanie do tego poziomu funkcjonalności, które są dalej uwzględniane w ogólnej ocenie ważonej – rys. 15.

Wynik oceny SRI można przedstawić na różne sposoby, np. jako ogólny pojedynczy wynik lub jako wartość względna. Można również zastosować system punktacji (np.



Rys. 15. Przykład praktycznej oceny SRI (Smart Readiness Indicator for Buildings and Related Impact Assessment) [11]

wskazującej, że budynek osiąga 65% swojego potencjalnego wpływu na inteligencję lub klasyfikacja etykiety (np. klasa etykiety SRI „B”). Można również przedstawić oceny cząstkowe (np. 72% oszczędności energii i 63% komfortu).

Poziom wskaźnika SRI sięgający 45% dla studium przypadku domu jednorodzinnego w terenie przedstawia tabela 5. Widać wyraźnie, że wagi przyjęte do analizy, wyznaczone po uwzględnieniu dziedzin i współczynników wpływu parametrów, są obecnie zachowawcze i są racjonalnie reprezentatywne dla przeciętnego budynku w UE pod względem zużycia energii. Natomiast w przypadku innych parametrów oddziaływania potrzebują więcej pracy, aby ustalić odpowiednie wartości. Nawet dla energii można zastosować bardziej dokładne podejście, również do określonego bilansu energetycznego dla budynku, jeśli są dostępne, np. dane z podliczników lub obliczenia świadectwa energetycznego budynku EPC

Tabela 5. Wskaźnik SRI dla studium przypadku domu jednorodzinnego w terenie

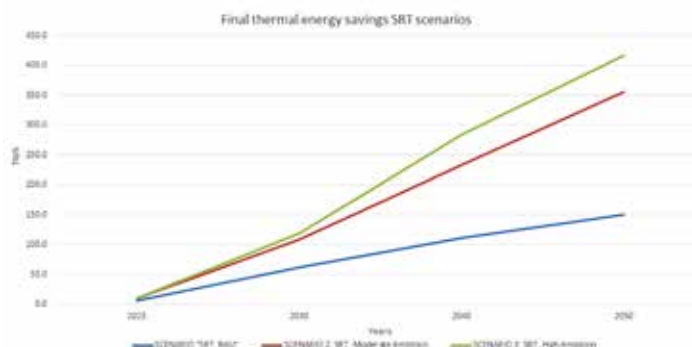
	Energy	Flexibility	Self generation	Comfort	Convenience	Well-being and health	Maintenance & fault prediction	Information to occupants	SRI
Overall	71%	0%	0%	77%	33%	17%	20%	19%	45%
Heating	75%	0%	0%	85%	64%	0%	25%	75%	
DHW Domestic hot water	100%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	67%	
Cooling	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Ventilation	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Lighting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Dynamic envelope	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Self generation	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
DSM Demand side management	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Electric Vehicles	0%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%	
Monitoring & control	60%	100%	0%	67%	38%	33%	17%	14%	

(Energy Performance Certificate). Aktualnie wagi te zostały zastosowane w celu zilustrowania zasady metodologicznej i nie są przeznaczone do odzwierciedlania optymalnego lub prawdziwego reprezentatywnego zbioru danych.

Raport oceniał też skutki wprowadzenia inteligentnych gotowych technologii (*Uptake of Smart Ready Technologies – SRT*) oraz wskaźnik gotowości SRI. Analizę wykonywano w trzech różnych pakietach, w zależności od tego, czy budynek ma zainstalowane systemy ogrzewania, systemy chłodzenia lub jedno i drugie. Ponadto, w analizie uwzględniono trzy różne scenariusze:

- SRT_BAU: brak SRI, tylko istniejące zachęty dla inteligentnych gotowych technologii, reprezentujące w ten sposób autonomiczne efekty, które można zaobserwować na rynku,
- SRT_Moderate wdrożenie: dobrowolne SRI, umiarkowane środki towarzyszące i umiarkowane wdrażanie na szczeblu państw członkowskich,
- SRT_High realizacja: SRI nadal dobrowolne, silne środki towarzyszące i znaczące wdrożenie na szczeblu państw członkowskich.

Hipoteza robocza opiera się na następujących założeniach: SRI zapewni wspólną klasyfikację w całej Europie, tak aby dostawcy technologii i inteligentnych usług mogli pozycjonować swoje oferty usług pod względem poziomów wskaźnika SRI. Stworzy to wspólną strukturę obejmującą inteligentne usługi, które mogą konkurować, zapewniając w ten sposób bardzo potrzebną przejrzystość. Efekt ten jest częściowo zależny od poziomu wchłaniania SRI, ponieważ bardzo powszechne stosowanie SRI może prowadzić do jasnego pozycjonowania dostawców usług w stosunku do wskaźnika SRI [11]. Efekty analizy przedstawiono na rys. 16.

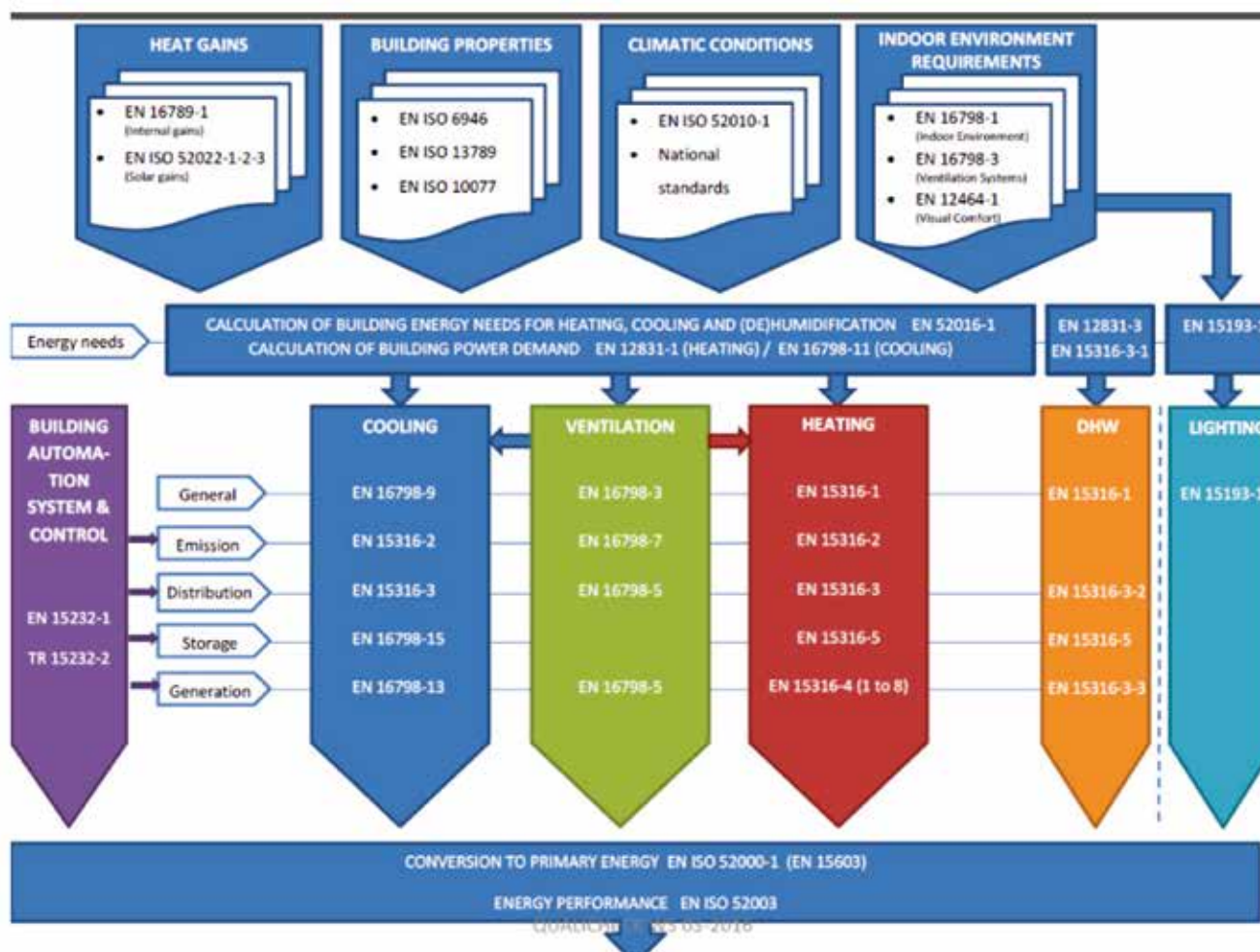


Rys. 16. Końcowe oszczędności energii cieplnej dzięki SRT w każdym scenariuszu SRT [11]

W każdym z dwóch przypadków SRT_High i SRT_Moderate, zakładających zastosowanie SRI, osiągnięte efekty wprowadzania nowych technologii budynkowych pozwolą na osiągnięcie znacznych oszczędności energetycznych w odniesieniu do SRT_BAU.

Raport podpowiada również, z jakich norm możemy korzystać przy analizie wpływu systemów BACS na charakterystykę energetyczną budynków (*Energy Performance of Buildings – EPB*) [11]. Istnieją około 52 normy EN i lub ISO, bezpośrednio związane z EPB, które określają metody obliczania – rys. 17.

Można zauważyć, że w przyszłości może czekać nas dużo zmian, gdyż aktualizacja z 2016 roku składa się ze zbioru powiązanych ze sobą standardów, dla których zastosowanie proponowanej wersji jest na etapie roboczym i należy ocenić, w jakim stopniu dane zawarte w niniejszym dokumencie można zastosować do wskaźnika SRI. Zestawienie



Rys. 17 Przegląd obowiązujących standardów na potrzeby przeglądu EPB (Jaap, 2016) [11]

jest pomocne dla projektantów i użytkowników systemów BACS, gdyż przedstawia, jakie normy i standardy obowiązują w poszczególnych modułach funkcjonalnych.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono główne systemy odpowiedzialne za funkcjonowanie budynków. Na przykładzie wytycznych zmian do dyrektywy EPBD omówiono możliwości zastosowania systemów sterowania automatyką budynkową BACS i TBS, które zostały przedstawione w różnych możliwościach implementacji i według różnych koncepcji implementacji do monitorowania, zarządzania i sterowania pracą systemów budynkowych. Systemy te wspomagają funkcjonalność i pozwalają na oszczędności energetyczne oraz zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników i mieszkańców. W przyszłości przewiduje się duży rozwój tych systemów oraz ich implementację w szeroko pojętym budownictwie. Artykuł przedstawił również wyniki analizy wpływu wprowadzenia wskaźnika SRI i skutki jego oddziaływania na wprowadzenia inteligentnych gotowych technologii – SRT. W części końcowej, dla różnych wariantów analizy wprowadzania, podano możliwe do osiągnięcia oszczędności energii cieplnej, dzięki wprowadzeniom inteligentnych technologii do współczesnego budownictwa.

7. Bibliografia

- [1] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/policy-coverage-of-total-final-energy-consumption-in-buildings-2000-2018>. IEA. All Rights Reserved.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/ z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej (europa.eu).
- [3] Zmiany w Dyrektywie EPBD ws. charakterystyki energetycznej budynków – Zmiany w Dyrektywie EPBD ws. charakterystyki energetycznej budynków (architektura.info).
- [4] The impact of the revision of the EPBD on energy savings from the use of building automation and controls – EPBD_impacts_from_building_automation_controls.pdf (eubac.org).
- [5] Stowarzyszenie - eubac.org.
- [6] BACS building automation controls – the information revolution – Designing Buildings Wiki.
- [7] Grafana – www.grafana.com.
- [8] Platforma CODESYS – www.codesys.com.
- [9] ECOFYS – Optimising the energy use of technical building systems – unleashing the power of the EPBD's Article 8.
- [10] The impact of the revision of the EPBD on energy savings from the use of building automation and controls – Prepared for eu.bac by: Waide Strategic Efficiency Limited.
- [11] Projekt SRI - sri_1st_technical_study_-_executive_summary.pdf (buildup.eu).

Ocena przydatności świadectwa wzorcowania luksomierzy w odniesieniu do wybranych problemów przy pomiarach fotometrycznych

dr inż. Przemysław Tabaka
Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki
mgr inż. Justyna Wtorkiewicz
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, Pracownia Fizykochemii

1. Wprowadzenie

Ponad 80% informacji z otaczającego nas świata rejestrowanych jest przez zmysł wzroku. Aby to jednak było możliwe, niezbędnym elementem jest oświetlenie, które może być realizowane przy pomocy światła naturalnego, jak i sztucznego. Konieczność zastosowania oświetlenia sztucznego pojawia się oczywiście w warunkach niedostatecznego lub całkowitego braku oświetlenia dziennego. Od jakości oświetlenia (które można scharakteryzować za pomocą zespołu cech ilościowych i jakościowych) zależeć będzie szybkość i dokładność wykonywania pracy wzrokowej. W miejscach słabo oświetlonych (tzn. o zbyt małych poziomach natężenia

oświetlenia) można nie dostrzec drobnych szczegółów mających istotne znaczenie dla jakości wyrobów (co będzie generowało straty produkcyjne). Z kolei źle oświetlone jak hale czy ciągi komunikacyjne (korytarze) utrudniają postrzeganie niebezpieczeństw (np. występujące na drodze przeszkody), co w konsekwencji może doprowadzić do wypadku. Nieprawidłowe oświetlenie pomieszczeń i stanowisk pracy może być także przyczyną utraty zdrowia. Przykładowo, ciągłe wysiłanie wzroku spowoduje jego osłabienie. Jednym z ważnych kryteriów dobrego oświetlenia jest zapewnienie wymaganego poziomu natężenia oświetlenia.

Zgodnie z zapisem art. 207 § 2 kodeksu pracy „Pracodawca jest obowiązany chronić zdrowie i życie pracowników przez zapewnienie bezpiecznych i higienicznych warunków pracy przy odpowiednim wykorzystaniu osiągnięć nauki i techniki” [1]. Z kolei w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, w § 26.2 [2] jest zapisane: „Niezależnie od oświetlenia dziennego w pomieszczeniach pracy należy zapewnić oświetlenie elektryczne o parametrach zgodnych z Polskimi Normami”. Ponadto w § 39.1 tego rozporządzenia [2] „Pracodawca jest obowiązany zapewnić systematyczne kontrole stanu bezpieczeństwa i higieny pracy ze szczególnym uwzględnieniem organizacji procesów pracy, stanu technicznego