

Studium przypadku – ewaluacja SRI budynków Kampusu 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Abstrakt: Budowa III Kampusu UJ na krakowskim Ruczaju rozpoczęła się pod koniec XX w. W latach 2001–2017 powstało dwanaście budynków, które miały służyć celom naukowo-dydaktycznym. Przeprowadzone w 2024 r., w ramach projektu Obserwatorium Transformacji Energetycznej, ewaluacje wartości wskaźnika gotowości do inteligencji (SRI) wykazały, że obiekty Kampusu spełniają wymagania najnowszej dyrektywy EPBD z 2024 r. w zakresie inteligencji budynków.

Słowa kluczowe: III Kampus UJ, dyrektywa EPBD, SRI, wskaźnik gotowości budynku do inteligencji, inteligencja budynku

Wprowadzenie – historia budowy III Kampusu UJ w Krakowie

Budowa III Kampusu Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie-Ruczaju (dalej: Kampus lub III Kampus UJ) rozpoczęła się pod koniec XX w., po bardzo długich staraniach władz uczelni. Pierwszy duży budynek naukowo-dydaktyczny, ówczesny Instytut Biologii Molekularnej (aktualnie Wydział Biochemii, Biofizyki i Biotechnologii UJ), został oddany do użytkowania w 2001 r., a kolejne jedenaście obiektów kompleksu, który aktualnie nosi nazwę Kampus 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego, było oddawanych sukcesywnie do roku 2017. Wszystkie budynki pełnią funkcję naukowo-dydaktyczną i są wyposażone w rozbudowane instalacje techniczne służące zapewnieniu komfortu i bezpieczeństwa użytkowania, w tym wentylację, klimatyzację i oświetlenie. Zarówno wspomniane instalacje, jak i ich systemy sterowania, musiały spełniać niestandardowe wymagania charakterystyczne dla laboratoriów dydaktycznych i badawczych. Na Rys. 1 i 2 zaprezentowano zakres inwestycji obejmujący budynki poddane ewaluacji

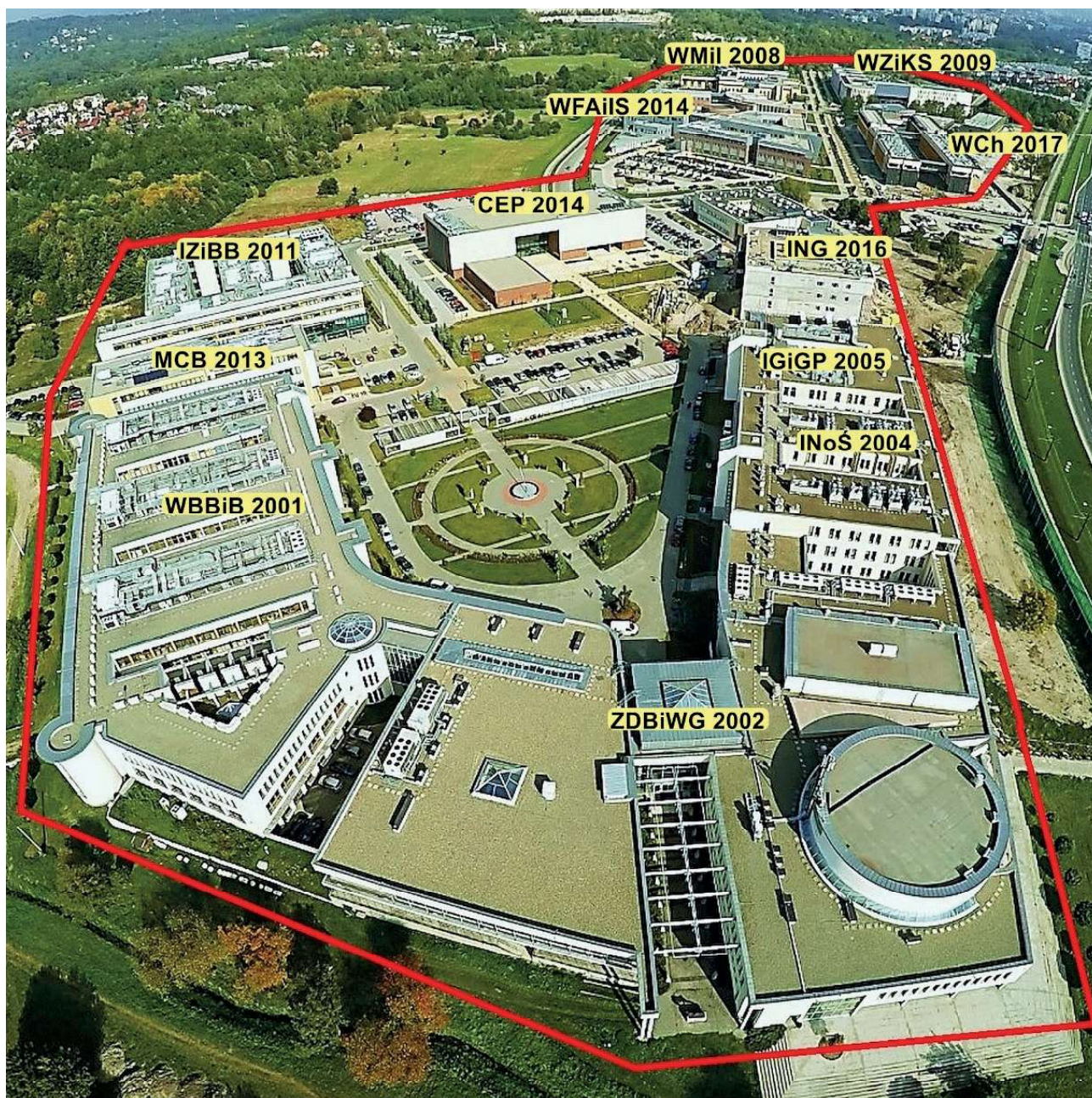
wskaźnika gotowości do inteligencji, której efekty są przedmiotem niniejszego artykułu.

Poniżej wymieniono obiekty naukowo-dydaktyczne, które obejmowała inwestycja. Wszystkie budynki w trakcie oddawania do użytkowania były wyposażone w komplet instalacji technicznych oraz zintegrowane systemy sterowania, automatyki i bezpieczeństwa, określane dalej w skrócie akronimem BMS (*building management system*). W nawiasach podano kolejno następujące dane: rok oddania budynku do eksploatacji, rok przeprowadzenia modernizacji BMS (jeśli dotyczy) i powierzchnia budynków (Franaszek 2020).

- Budynek Instytutu Biologii Molekularnej i Biotechnologii – aktualnie Wydział Biochemii, Biofizyki i Biotechnologii (2001, modernizacja BMS – 2018, 12 800 m²).
- Budynek Zespołu Dydaktyczno-Bibliotecznego i Wejścia Głównego (2002, modernizacja BMS – 2018, 8200 m²).
- Budynek Instytutu Nauki o Środowisku (2004, ok. 7000 m²).
- Budynek Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej (2005, 5800 m²).
- Budynek Wydziału Matematyki i Informatyki (2008, 13 300 m²).
- Budynek Wydziału Zarządzania i Komunikacji Społecznej (2009, 23 700 m²).
- Budynek Instytutu Zoologii i Badań Biomedycznych (2011, 10 000 m²).
- Budynek Małopolskiego Centrum Biotechnologii (2013, 6100 m²).
- Kompleks Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej (2014, 23 000 m²).

- Budynek Centrum Edukacji Przyrodniczej (2014, ok. 4700 m²),
- Budynek Instytutu Nauk Geologicznych (2016, 3600 m²),
- Kompleks Wydziału Chemii (2017, 28 000 m², w tym 8000 m² laboratoriów).

Niektóre wydziały to małe miasteczka: kompleks Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej obejmuje łącznie dziewięć budynków, a kompleks Wydziału Chemii składa się z siedmiu budynków. Większość pozostałych dużych obiektów to budynki wielosegmentowe.



Rys. 1. Zakres inwestycji III Kampus UJ



Rys. 2. Budynki Kampusu będące przedmiotem ewaluacji wskaźnika SRI

Założenia do budowy III Kampusu UJ w zakresie systemów sterowania i automatyki instalacji technicznych w budynkach

Władze Uniwersytetu Jagiellońskiego odpowiedzialne za budowę nowego kampusu, przystępując do definiowania założeń dla tej inwestycji pod koniec lat 90. ubiegłego wieku, postawiły przed projektantami pierwszego dużego obiektu naukowo-dydaktycznego (ówcześnie Instytut Biologii Molekularnej, aktualnie Wydział Biochemii, Biofizyki i Biotechnologii – WBBB) jedno kardynalne założenie – budynek ma być „inteligentny”. O ile obecnie właściwości inteligentnego budynku są jasno zdefiniowane zarówno w dyrektywach EPBD 2018 i EPBD 2024, jak i w *Raporcie końcowym na temat wsparcia technicznego dla opracowania wskaźnika gotowości budynków do inteligencji* (Verbeke et al. 2020), o tyle w czasie przygotowań do budowy III Kampusu UJ nie było do końca jasne, co to oznacza i czemu ma służyć, przynajmniej w powszechnej praktyce budowlanej i świadomości środowisk zawodowych

odpowiedzialnych za projektowanie obiektów. Żądanie od budynku „inteligencji” było pod koniec XX w. dużym wyzwaniem.

W drugiej połowie lat 90. w Katedrze Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH rozpoczęto badania nad zastosowaniem rozproszonych systemów sterowania w instalacjach technicznych w budynkach (Kwasnowski 1999a, 1999b, 1999c, 2001, 2002). Podejście to wydawało się uzasadnione, ponieważ instalacje techniczne w budynkach są z natury rzeczy rozproszone. Wystarczy spojrzeć na instalacje służące do zapewnienia komfortu w pomieszczeniach – w każdym pomieszczeniu trzeba osobno sterować ogrzewaniem, wentylacją, chłodzeniem i oświetleniem. Paweł Kwasnowski, współautor niniejszego artykułu, sformułował wówczas założenia dla systemów automatyki budynków, które 17 listopada 1999 r. zostały przedstawione władzom UJ na seminarium pod patronatem Prezydenta Miasta Krakowa *Systemy automatyzacji i zarządzania budynków użyteczności publicznej – inteligentne budynki na tle doświadczeń AGH z wdrażania pilotażowej instalacji automatyzacji budynków*

(Kwasnowski 1999d, 2022: 24). Zaprezentowane paradygmaty odpowiadały na trzy zasadnicze pytania: a) co to znaczy, że budynek ma być inteligentny? b) czemu ma to służyć? c) jakie warunki pozwolą osiągnąć ten cel?, i obejmowały następujące reguły.

1. Dwupoziomowy system sterowania i otwartość zastosowanych rozwiązań (rozumiana jako niezależność od określonego producenta lub dostawcy) na każdym poziomie systemu – zarówno w zakresie sprzętu, jak i oprogramowania systemowego, użytkowego, aplikacji sterujących i protokołów transmisji danych. Celem otwartości jest z jednej strony zapewnienie zdolności do współdziałania (*interoperability*) wszystkich elementów systemu, a z drugiej strony zapewnienie możliwości modernizacji systemu w miarę postępu technologicznego, zwłaszcza w obszarze technologii informatycznych i sieci wymiany danych. Gwarancją otwartości jest stosowanie rozwiązań spełniających wymagania międzynarodowego systemu normalizacji.
2. Poziom obiektowy (bezpośredniego sterowania cyfrowego, *direct digital control*) bazujący na standardowym otwartym protokole sieci sterującej dla rozproszonych systemów sterowania.
3. Poziom nadrzędny oparty na komputerach klasy PC, sieciach LAN, protokołach IP i OPC oraz oprogramowaniu klasy SCADA.
4. Bezpośrednia integracja funkcjonalności systemów automatyki instalacji technologicznych oraz

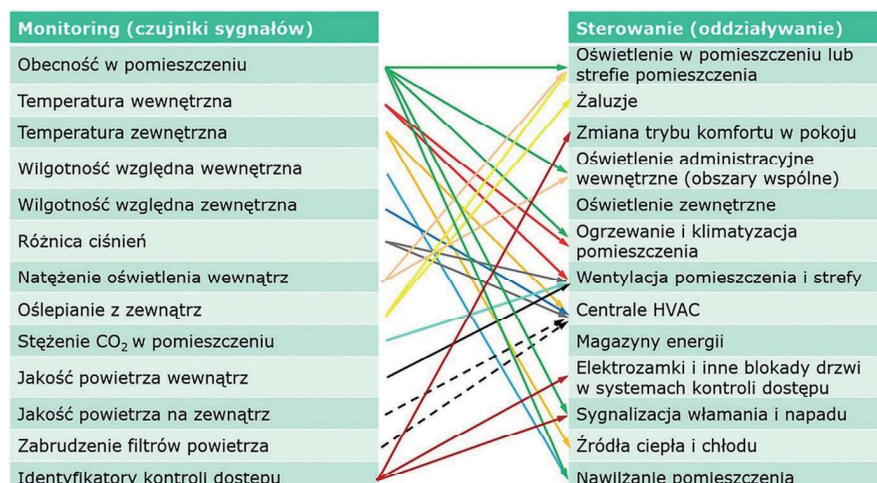
systemów bezpieczeństwa budynku w celu sterowania zużyciem energii indywidualnie w każdym pomieszczeniu w zależności od zapotrzebowania na nią (identyfikowanego przez zajętość pomieszczenia oraz warunki komfortu).

5. Indywidualne sterowanie emisją energii i funkcjonalnością pomieszczeń przez sterowniki lokalne połączone siecią sterującą bazującą na standardowych protokołach transmisji danych. Dzięki takiemu rozwiązaniu budynek nie jest narażony na centralną awarię systemu sterowania, która mogłaby wyłączyć go z eksploatacji.

Paradygmaty te zostały zastosowane i zweryfikowane w systemach sterowania i bezpieczeństwa budynku Instytutu Biologii Molekularnej oddanego do użytkowania w 2001 r. Doświadczenia po ponad rocznym okresie eksploatacji budynku były satysfakcjonujące. Po uzyskaniu pozytywnej oceny kontroli NIK, która wykazała, że koszt wdrożonego systemu BMS zwrócił się po 18 miesiącach eksploatacji budynku (Franaszek 2020: 143), zalecono stosowanie analogicznych rozwiązań w kolejnych obiektach Kampusu (Franaszek 2020: 142–143; Froncisz 2002; Kwasnowski, Hayduk 2011; Kwasnowski 2022). Ilustrację paradygmatów z czasów budowy obiektów Kampusu oraz realizowane funkcjonalności współdziałania pomiędzy instalacjami technicznymi przedstawiono na Rys. 3 i 4.



Rys. 3. Ilustracja paradygmatów systemów BAS dla obiektów Kampusu



Rys. 4. Funkcjonalności współdziałania realizowane w zależności od wymagań w systemach sterowania poszczególnymi budynkami Kampusu

Ewaluacja wskaźnika SRI budynków Kampusu

Ewaluację wskaźników SRI budynków Kampusu zrealizowano dzięki formalnemu zgłoszeniu Polski w 2024 r. do europejskiej fazy testów wskaźnika w ramach projektu Obserwatorium Transformacji Energetycznej w Polsce. Oficjalne włączenie do programu umożliwiło udział wykonawców projektu OTE w pracach Zespołu wsparcia SRI (SRI Support Team) i bezpośrednią wymianę doświadczeń z wykonawcami fazy testów wskaźnika w innych państwach członkowskich UE. Ponadto dało to dostęp do testowego narzędzia informatycznego do ewaluacji wskaźnika SRI i otworzyło perspektywy oddziaływania na potencjalne modyfikacje i udoskonalenia metodyki oceny budynków. Jest to niezwykle ważne w kontekście zapowiedzianego w dyrektywie EPBD 2024 wprowadzenia obowiązkowego w państwach UE systemu ewaluacji wskaźnika SRI dla określonych typów budynków po pierwszej połowie 2027 r.

Ewaluacją wskaźnika SRI objęto dwanaście budynków przedstawionych na Rys. 1 i 2. Wszystkie obiekty były zaprojektowane i wzniesione przed ogłoszeniem dyrektywy EPBD z 2018 r., która zawierała ideę, a właściwie nakaz szerokiego wdrażania inteligencji w budynkach. Jeden z budynków Kampusu powstał nawet przed pojawieniem się pierwszej dyrektywy EPBD z roku 2002.

Metodyka ewaluacji

Ewaluację przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną we wspomnianym powyżej *Raporcie końcowym...* (Verbeke et al. 2020). Wykorzystano przy tym narzędzie w postaci arkusza kalkulacyjnego SRI_calculation-sheet_v4.5 (dalej w skrócie: SRI_v4.5) udostępnionego przez DG ENER. Arkusz został wyposażony w polską wersję językową w ramach projektu OTE. Do zebrania danych na temat ocenianych obiektów wykorzystano formularze do audytu przygotowane właśnie na podstawie tego narzędzia. Formularze dla poszczególnych domen (branżowych instalacji technicznych) obejmują listę wszystkich usług technicznych wraz z wariantami poziomów funkcjonalności poszczególnych usług. Przy ich użyciu można również wskazać procentowy podział budynku, gdy dana usługa techniczna występuje na dwóch różnych poziomach funkcjonalności. Na Rys. 5 przedstawiono formularz audytowy dla domeny ogrzewanie.

Audyty wszystkich budynków zostały przeprowadzone przy współudziale służb technicznych UJ odpowiedzialnych za funkcjonowanie systemów BACS w budynkach Kampusu, z możliwością weryfikacji określonych danych w dokumentacjach instalacji technicznych budynków oraz systemach BMS.

Ankieta do audytu budynku wg arkusza kalkulacyjnego SRI v. 4.5 Arkusz 1 z 8 Budynek nr 1															Przykład zebranych danych dla domeny Ogrzewanie														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	U	V	W	X	Y															
	Domena	Kod	Grupa usług	Usługa gotowa do inteligencji	Poziom funkcjonalności 0 (jako nieinteligentny - domyślny)	Poziom funkcjonalności 1	Poziom funkcjonalności 2	Poziom funkcjonalności 3	Poziom funkcjonalności 4	Czy usługa jest używana	Procent pokrycia budynku	Poziom sterowania	Procent alternat. poziom. sterow.	Alternat. poziom. usług															
1	Ogrzewanie																												
4	Ogrzewanie	H-1a	Sterowanie ogrzewaniem - strona odbioru	Sterowanie emisją ciepła w pomieszczeniach, np. grzejniki wodne (kaloryfery), klimatyzatory, grzejniki elektryczne	Brak sterowania automatycznego	Centralne sterowanie automatyczne (np. centralny termostat)	Indywidualne sterowanie w pomieszczeniu (pokój) (np. zawory termostaticzne lub sterowniki elektroniczne)	Indywidualne sterowanie pomieszczeniowe z komunikacją między sterownikami i z systemem automatyki i sterowania budynków (BACS)	Indywidualne sterowanie pomieszczeniowe z dwukierunkową komunikacją i wykrywaniem zajętości	1	60%	4	40%	2															
5	Ogrzewanie	H-1b	Sterowanie ogrzewaniem - strona odbioru	Sterowanie emisją dla elementów struktury budynku (TABS) (tryb grzania), np. ogrzewanie podłogowe, ścienna, itp.	Brak sterowania automatycznego	Centralne sterowanie automatyczne	Zaawansowane centralne sterowanie automatyczne	Zaawansowane centralne sterowanie automatyczne z pracą przerywaną /lub sterowaniem ze sprzężeniem zwrotnym od temperatury w pomieszczeniu	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	0	-	-	-	-															
6	Ogrzewanie	H-1c	Sterowanie ogrzewaniem - strona odbioru	Dotyczy pomieszczeń. Sterowanie temperaturą medium na zasilaniu i/lub powrocie (przepływającego powietrza lub wody) - Podobna funkcja może być stosowana do sterowania instalacją z bezpośrednim ogrzewaniem elektrycznym	Brak sterowania automatycznego	Sterowanie pogodowe na podstawie temperatury zewnętrznej	Sterowanie wg zapotrzebowania	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	1	100%	1	-	-															
7	Ogrzewanie	H-1d	Sterowanie ogrzewaniem - strona odbioru	Sterowanie pompami dystrybucyjnymi w instalacjach z medium grzewczym	Brak sterowania automatycznego	Sterowanie włącz/wyłącz	Sterowanie wielostopniowe	Sterowanie zmienną prędkością pomp na stałą lub zmienną wartość Δp (automatyka wewn. pomp)	Sterowanie pompami o zmiennej prędkości obrotowej z zew. sterownym sygnał zapotrzebowania	1	100%	3	-	-															
8	Ogrzewanie	H-1f	Sterowanie ogrzewaniem - strona odbioru	Magazyn energii cieplnej (TES) do ogrzewania budynku (z wyłączeniem TABS)	Ciągłe działanie magazynu	Działanie magazynu według harmonogramu czasowego	Działanie magazynu oparte na przewidywaniu obciążenia	Magazyrowanie ciepła z możliwości elastycznego sterowania ze pomocą sygnałów z sieci zasilania (np. DSM)	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	0	-	-	-	-															
9	Ogrzewanie	H-2a	Sterowanie ogrzewaniem - źródła ciepła	Sterowanie źródłem ciepła (za wyjątkiem pomp ciepła)	Stabilizacja temperatury	Zmienne sterowanie temperaturą w zależności od temperatury zewnętrznej	Zmienne sterowanie temperaturą w zależności od obciążenia (np. zależnie od wartości zadanej temperatury wody zasilającej)	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	1	100%	2	-	-															
10	Ogrzewanie	H-2b	Sterowanie ogrzewaniem - źródła ciepła	Sterowanie źródłem ciepła (dla pomp ciepła)	Sterowanie zasil./wył./źródła ciepła	Wielostopniowe sterowanie wydajnością źródła ciepła zależnie od obciążenia lub zapotrzebowania (np. złączenie/wyłączenie kilku sprężarek)	Zmienne sterowanie wydajnością źródła ciepła, zależnie od obciążenia lub zapotrzebowania (np. by-pass na gorącym gazie czynnika w pompie ciepła, sterowanie częstotliwością inwerterów pomp, sprężarek lub wentylatorów)	Zmienne sterowanie wydajnością źródła ciepła w zależności od obciążenia ORAZ sygnałów zewnętrznych z sieci zasilania	Nie zdefiniowano tego poziomu funkcjonalności dla tej usługi	0	-	-	-	-															
11	Ogrzewanie	H-2d	Sterowanie ogrzewaniem - źródła ciepła	Sekwencjonowanie w przypadku różnych źródeł ciepła	Priorytety tylko na podstawie czasu działania	Sterowanie zgodnie ze stałą listą priorytetów, np. na podstawie efektywności energetycznej	Sterowanie według dynamicznej listy priorytetów (na podstawie aktualnej efektywności energetycznej, emisji dwutlenku węgla i wydajności źródła ciepła, np. solarów, ciepła geotermicznego, instalacji kogeneracji, paliw kopalnych)	Sterowanie według dynamicznej listy priorytetów (na podstawie aktualnej ORAZ przewidywanego obciążenia, efektywności energetycznej, emisji dwutlenku węgla i wydajności źródła ciepła)	0	-	-	-	-	-															
12	Ogrzewanie	H-3	Informacja dla użytkowników i zarządców	Reportowanie informacji dotyczących wydajności systemu ogrzewania	Brak raportowania	Centralne lub zdalne raportowanie aktualnych parametrów (np. temperatur, podciśnięć, zużycia energii)	Centralne lub zdalne raportowanie aktualnej wydajności i danych historycznych	Centralne lub zdalne raportowanie oceny działania, w tym prognozowanie i/lub analiza porównawcza	Centralne lub zdalne raportowanie oceny działania, w tym prognozowanie i/lub analiza porównawcza	1	60%	2	40%	1															
13	Ogrzewanie	H-4	Elastyczność i współzależanie z siecią zasilającą	Elastyczność oraz współzależanie z siecią zasilającą	Brak współzależania z siecią zasilającą	Działanie systemu ogrzewania według harmonogramu	Samouczące się sterowanie optymalne systemu ogrzewania	System grzewczy z możliwością elastycznego sterowania za pomocą sygnałów z sieci zasilającej (np. DSM)	Zoptymalizowane sterowanie systemem grzewczym w oparciu o bieżące prognozy i sygnały z sieci zasilającej (np. poprzez sterowanie predyktoryjne z modelem)	1	100%	1	-	-															
Testy metodyki ewaluacji SRI w Polsce															Projekt Obserwatorium Transformacji Energetycznej														

Testy metodyki ewaluacji SRI w Polsce

Rys. 5. Formularz audytowy domeny ogrzewanie

Wyniki ewaluacji

Wyniki ewaluacji budynków przedstawiono w Tab. 1.

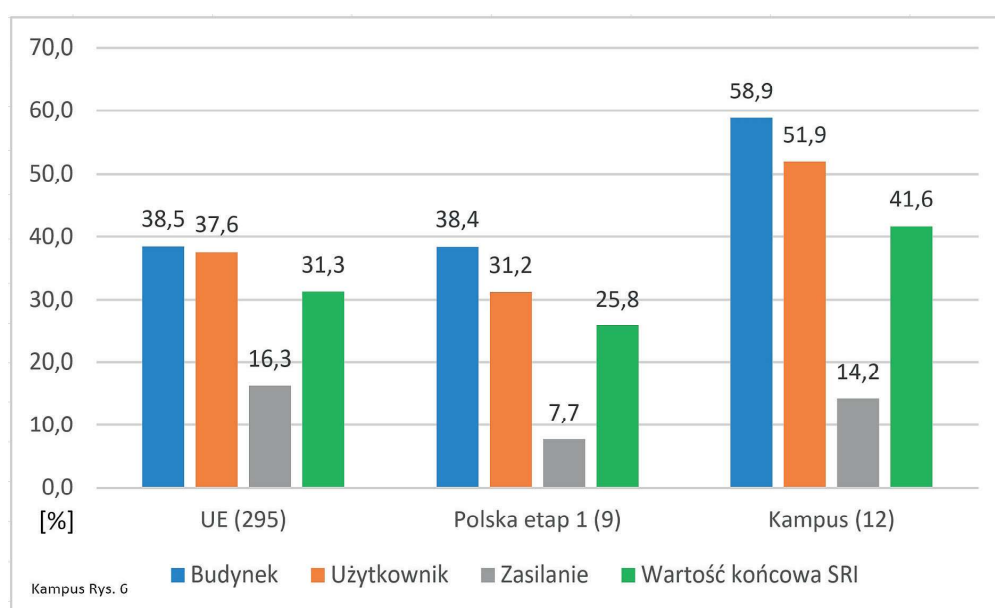
Warto zauważyć, że za wysoką ocenę całkowitej wartości SRI odpowiadają funkcjonalności i właściwości budynku dotyczące efektywności energetycznej oraz pewności działania, a także poziom spełnienia oczekiwań użytkownika. Niską ocenę uzyskały funkcjonalności związane z elastycznością energetyczną, co wynika głównie z czynnika zewnętrznego,

niezależnego od budynków, to jest braku gotowości do elastyczności zewnętrznych sieci zasilających (brak *smart grid*).

W porównaniu z wynikami uzyskanymi dla innej grupy budynków w Polsce oraz wynikami średnimi dla budynków ocenianych w ramach fazy testów metody ewaluacji SRI w państwach członkowskich UE wyniki ewaluacji budynków Kampusu są na dość wysokim, wyróżniającym się poziomie. Ilustrację tego porównania przedstawiono na Rys. 6.

Tab. 1. Wyniki ewaluacji SRI budynków Kampusu

Nr budynku	Typ	Powierzchnia m ²	Rok budowy	Metoda oceny	Wynik SRI [%]			
					Budynek Efektywność energetyczna, Pewność działania [%]	Użytkownik Potrzeby użytkownika, Informacja [%]	Zasilanie Elastyczność energetyczna, OZF, magazyny, smart grid [%]	Wynik końcowy SRI [%]
1	DB Lab	10.000-25.000	1990-2010	B	54,7	46,4	10,9	37,3
2	DB	5.000-10.000	1990-2010	B	56,4	56,3	14,2	42,3
3	DB	5.000-10.000	1990-2010	B	57,6	51,9	14,2	41,2
4	DB	5.000-10.000	1990-2010	B	44,6	32,8	8,3	28,7
5	DB Lab	10.000-25.000	1990-2010	B	61,4	53,2	15,0	43,2
6	DB	10.000-25.000	1990-2010	B	61,1	52,9	15,0	43,0
7	DB Lab	10.000-25.000	>2010	B	63,3	54,8	14,2	44,1
8	DB Lab	5.000-10.000	>2010	B	59,3	55,7	14,2	43,1
9	DB Lab	10.000-25.000	>2010	B	57,2	50,9	14,2	40,8
10	DB	5.000-10.000	>2010	B	67,1	59,8	21,2	49,3
11	DB	10.000-25.000	>2010	B	62,7	53,8	14,2	43,5
12	Lab	10.000-25.000	>2010	B	61,0	54,0	14,2	43,1



Rys. 6. Wyniki średnie ewaluacji SRI budynków w UE, w Polsce (bez Kampusu) oraz kompleksu Kampusu

Wyniki ewaluacji SRI uzyskane dla budynków Kampusu nie mogą dziwić, jeśli paradygmaty, które stanowiły podstawę założeń dla systemów sterowania i automatyki ich instalacji technicznych, porównamy z wyartykułowaną w EPBD z 2018 r. listą oczekiwań wobec współczesnych budynków (stopień ich spełnienia reprezentuje właśnie wskaźnik SRI) (Tab. 2).

Aby odpowiedzieć na pytanie, dlaczego budynki Kampusu uzyskały wyniki zaprezentowane w artykule, warto posłużyć się przykładem syntetycznej charakterystyki poziomów funkcjonalności jednego z nich. Idea charakterystyki została opracowana w ramach realizacji projektu OTE. Charakterystyka jest macierzą złożoną z kolumn reprezentujących wszystkie instalacje techniczne (domeny), których funkcjonalności podlegają ocenie przy ewaluacji wskaźnika SRI. Komórki wierszy macierzy reprezentują dostępne usługi techniczne w ramach każdej domeny, a kolor komórki usługi oznacza poziom funkcjonalności zastosowany w budynku, zgodnie z definicją poziomów funkcjonalności określoną w metodyce ewaluacji. Kolor zielony reprezentuje

najwyższy poziom funkcjonalności. Znaczenie innych kolorów objaśniono na Rys. 7.

Dla porównania dalej przedstawiono syntetyczną charakterystykę innego budynku (z roku 2014), w którym nie stosowano zasad zawartych w paradygmatach systemów BACS dla budynków Kampusu (Rys. 8).

Z porównania wynika, że w budynku zastosowano znacznie mniej usług, czyli wariantów branżowych instalacji technicznych odpowiedzialnych za funkcjonalności związane ze sterowaniem przepływami i emisją różnych form energii. Dodatkowo, zastosowane usługi posiadają niskie poziomy funkcjonalności, które nie sprzyjają ani efektywności energetycznej, ani komfortowi i wygodzie użytkowania. Powoduje to, że wskaźnik gotowości budynku do inteligencji wynosi 16,2%. Ten przykład pokazuje, jak wielką rolę odegrały dobrze zdefiniowane paradygmaty dotyczące systemów sterowania i automatyki dla instalacji technicznych budynków Kampusu i jak ważne było konsekwentne trzymanie się tych zasad podczas realizacji kolejnych obiektów.

Tab. 2. Porównanie oczekiwań w stosunku do budynków według EPBD 2018 z paradygmatami dla systemów sterowania i automatyki budynków Kampusu sformułowanymi w 1999 r.

Poz.	Oczekiwane właściwości budynków według EPBD 2018		Paradygmaty systemów sterowania i automatyki budynków Kampusu z 1999 r. (numeracja wg rozdziału Założenia do budowy III Kampusu UJ)
1.	BUDYNEK	Oszczędzanie wszelkich form energii i mediów, emisja energii w indywidualnych pomieszczeniach według zapotrzebowania	4. Bezpośrednia integracja funkcjonalności systemów automatyki instalacji technologicznych oraz systemów bezpieczeństwa budynku w celu sterowania zużyciem energii indywidualnie w każdym pomieszczeniu w zależności od zapotrzebowania. 5. Indywidualne sterowanie emisją energii i funkcjonalnością pomieszczeń przez sterowniki lokalne połączone siecią sterującą opartą na standardowych protokołach transmisji danych.
2.		Pewność działania instalacji technicznych i zapobieganie awariom przez prognozowanie (predykcję) uszkodzeń	5. Indywidualne sterowanie emisją energii i funkcjonalnością pomieszczeń przez sterowniki lokalne połączone siecią sterującą opartą na standardowych protokołach transmisji danych. 1, 2, 3. Dwupoziomowy system sterowania. Otwartość oparta na standardach. Rozproszony system sterowania. System nadrzędny na komputerach klasy PC (powszechność = standard), sieci LAN, IP, OPC, SCADA.
3.	UŻYTKOWNIK	Zapewnienie komfortu użytkownikom według indywidualnych potrzeb	Oczywiste funkcjonalności systemów zapewnienia komfortu wynikające z celu zastosowania systemów sterowania i automatyki budynków (BACS) oraz systemów BMS.
4.		Wygoda użytkowania	
5.		Dobre warunki zdrowotne i dobre samopoczucie użytkowników	
6.		Informacje dla użytkownika	
7.	ZASILANIE	Współpraca z inteligentnymi sieciami zasilającymi, magazynowanie i lokalne wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych	1. Otwartość oparta na standardach. 3. Poziom nadrzędny oparty na komputerach klasy PC, sieciach LAN, protokołach IP i OPC oraz oprogramowaniu klasy SCADA.

Budynek 1								
Ogrzewanie	CWU	Chłodzenie	Wentylacja	Oświetlenie	DPB	Elektryczność	Ładow. EV	BMS
Lokalne sterowanie emisją ciepła w pomieszczeniach	Ładowanie zasob. Grzałki elektrycz. Pompy ciepła	Lokalne sterow. emisją chłodu w pomieszczeniach	Lokalne sterowanie przepływem powietrza w pom.	Sterowanie włącz/wyłącz od zajętości	Oslony słoneczne	Lokalne wytwarzanie energii elektrycz.	Pojemność - ile stacji ładowania	Zarządzanie czasem pracy HVAC
Emisja ciepła przez TABS	Ładowanie zasobników wodą grzewczą	Emisja chłodu przez TABS	Sterowanie przepł. pow. na poziomie centrali	Jw. + sterowanie poziomem natężenia ośw.	Otwieranie/zamykanie okien	Lokalne magazynowanie energii elektrycz.	Bilansowanie ładowania z siecią zasilającą	Wykrywanie usterek i diagnostyka
Lokalne sterowanie temperaturą medium grzewczego	Ładowanie zasobników: kolektory słoneczne, inne	Lokalne sterow. temp. medium	Zapobieganie przegrzewowi przy odzysku ciepła		Informacje dla użytkownika	Optymalizacja autokonsumpcji własnej en. elektr.	Informacje dla użytkownika	Lokalne sterowanie emisją energii zależne od zajętości
Sterowanie pompami dystrybuc. medium grzewczego	Sekwencjonow. źródeł ciepła	Sterow. pompami dystrybucyjnymi wody lodowej	Ster. temperaturą nawiewu na poziomie centrali			Zintegrowane instalacje CHP		Raportowanie wydajności TBS i zużycia energii
Magazyn TEs energii cieplnej wody grzewczej	Informacje dla użytkownika	Blokada równoc. grzania i chłodz. w pomieszczeniu	Chłodzenie bierne (Free cooling)			Zastosowanie Demand-Side Management		Integracja z inteligentnymi sieciami zasilającymi
Sterowanie źródłem ciepła (bez pomp ciepła)		Magazyn wody lodowej	Informacje dla użytkownika			Raportowanie dot. lokalnych mag. ener. elektr.		Raportowanie efektywności działania DSM
Sterowanie pompami ciepła		Sterowanie źródłami chłodu				Raportowanie zużycia en. elektr.		Możliwość wyłączenia działania DSM
Sekwencjonowanie źródeł ciepła		Sekwencjonow. źródeł chłodu						Platforma informat. do TBM
Informacje dla użytkownika		Informacje dla użytkownika						
Elastyczność i współdziałanie z el. siecią zasilającą		Elastyczność i współdziałanie z el. siecią zasil.						
Poziom funkcjonalności usługi Brak domeny Brak usługi 0 1 2 3 4								

Rys. 7. Syntetyczna charakterystyka funkcjonalności 1. budynku Kampusu (2001 r.) – całkowity SRI = 37,3%

Budynek spoza Kampusu								
Ogrzewanie	CWU	Chłodzenie	Wentylacja	Oświetlenie	DPB	Elektryczność	Ładow. EV	BMS
Lokalne sterowanie emisją ciepła w pomieszczeniach	Ładowanie zasob. Grzałki elektrycz.	Lokalne sterow. emisją chłodu w pomieszczeniach	Lokalne sterowanie przepływem powietrza w pom.	Sterowanie włącz/wyłącz od zajętości	Oslony słoneczne	Lokalne wytwarzanie energii elektrycz.	Pojemność - ile stacji ładowania	Zarządzanie czasem pracy HVAC
Emisja ciepła przez TABS	Ładowanie zasobników wodą grzewczą	Emisja chłodu przez TABS	Sterowanie przepł. pow. na poziomie centrali	Jw. + sterowanie poziomem natężenia ośw.	Otwieranie/zamykanie okien	Lokalne magazynowanie energii elektrycz.	Bilansowanie ładowania z siecią zasilającą	Wykrywanie usterek i diagnostyka
Lokalne sterowanie temperaturą medium grzewczego	Ładowanie zasobników: kolektory słoneczne, inne	Lokalne sterow. temp. medium	Zapobieganie przegrzewowi przy odzysku ciepła		Informacje dla użytkownika	Optymalizacja autokonsumpcji własnej en. elektr.	Informacje dla użytkownika	Lokalne sterowanie emisją energii zależne od zajętości
Sterowanie pompami dystrybuc. medium grzewczego	Sekwencjonow. źródeł ciepła	Sterow. pompami dystrybucyjnymi wody lodowej	Ster. temperaturą nawiewu na poziomie centrali			Zintegrowane instalacje CHP		Raportowanie wydajności TBS i zużycia energii
Magazyn TEs energii cieplnej wody grzewczej	Informacje dla użytkownika	Blokada równoc. grzania i chłodz. w pomieszczeniu	Chłodzenie bierne (Free cooling)			Zastosowanie Demand-Side Management		Integracja z inteligentnymi sieciami zasilającymi
Sterowanie źródłem ciepła (bez pomp ciepła)		Magazyn wody lodowej	Informacje dla użytkownika			Raportowanie dot. lokalnych mag. ener. elektr.		Raportowanie efektywności działania DSM
Sterowanie pompami ciepła		Sterowanie źródłami chłodu				Raportowanie zużycia en. elektr.		Możliwość wyłączenia działania DSM
Sekwencjonowanie źródeł ciepła		Sekwencjonow. źródeł chłodu						Platforma informat. do TBM
Informacje dla użytkownika		Informacje dla użytkownika						
Elastyczność i współdziałanie z el. siecią zasilającą		Elastyczność i współdziałanie z el. siecią zasil.						
Poziom funkcjonalności usługi Brak domeny Brak usługi 0 1 2 3 4								

Rys. 8. Syntetyczna charakterystyka budynku z 2014 r. wzniesionego bez uwzględnienia zasad, według których realizowane były obiekty Kampusu – całkowity SRI = 16,2%

Podsumowanie

W artykule przedstawiono fenomen budynków Kampusu 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego, którego pierwszy obiekt powstał przed opublikowaniem pierwszej dyrektywy EPBD w roku 2002, a ostatnie *de facto* przed opublikowaniem trzeciej wersji dyrektywy EPBD w roku 2018. Fenomen polega na tym, że budynki w zakresie najważniejszej funkcjonalności oczekiwanej od współczesnych budynków, czyli efektywności energetycznej, spełniają wymagania nawet czwartej wersji dyrektywy EPBD z roku 2024. Fakt ten potwierdzają wyniki ewaluacji wartości wskaźników gotowości budynków do inteligencji (SRI). Idea wskaźnika SRI została przedstawiona w dyrektywie EPBD dopiero w roku 2018 (EPBD 2018), a metodyka jego ewaluacji została zaprezentowana w raporcie Komisji Europejskiej dopiero w roku 2020 (Verbeke et al. 2020). Ewaluację budynków Kampusu przeprowadzono w ramach europejskiej fazy testowej metodyki ewaluacji wskaźnika SRI realizowanej w Polsce w projekcie Obserwatorium Transformacji Energetycznej.

Warto również zauważyć, że konsekwentne stosowanie paradygmatów sformułowanych na początku budowy Kampusu przez cały okres wieloetapowej realizacji tej inwestycji przyniosło efekty w postaci znacznego ograniczenia kosztów utrzymania obiektów oraz, być może nieoczekiwanie, dobrych wyników oceny wskaźnika SRI dla wszystkich budynków. Kolejną korzyścią z postępowania zgodnie z paradygmatami jest podatność systemów sterowania, automatyki i BMS na wdrażanie nowych technologii w zakresie sprzętu i oprogramowania systemowego komputerów nadrzędnych i stacji operatorskich. Systemy te z łatwością przeszły wszystkie aktualizacje sprzętu i oprogramowania w miarę rozwoju technologii i oprogramowania systemowego. Nawet poważne modernizacje i wymiana niektórych elementów systemów pochodzących od firm trzecich nie wymagały ograniczenia użytkowania budynków podczas modernizacji sprzętu i aktualizacji oprogramowania.

Obecnie paradygmaty sformułowane przez jednego ze współautorów artykułu (PK) w roku 1999 są

przedmiotem wymagań zawartych w dyrektywach EPBD Unii Europejskiej odnośnie do systemów sterowania i automatyki instalacji technicznych budynków, a także stały się tematem prac normalizacyjnych międzynarodowych instytucji zajmujących się standaryzacją (ISO, CEN). Badania przeprowadzone narzędziem zdefiniowanym 21 lat od ich ogłoszenia (wskaźnik SRI) również potwierdzają trafność i skuteczność tych zasad.

Bibliografia:

- Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the Energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on Energy efficiency, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj> [dostęp: 10.12.2024].
- Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng> [dostęp: 10.12.2024].
- Franaszek P. (red.) (2020), *Kampus 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego*, Kraków.
- Francisz W. (2002), *Przestrzeń na przyszłość*, „Alma Mater” 42: 20–22.
- Kwasnowski P. (1999a), *Pilotażowa instalacja sieci LONWORKS do sterowania inteligentnym budynkiem już pracuje w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie*, „Pomiary, Automatyka, Kontrola” 5: 24–27.
- Kwasnowski P. (1999b), *iBASE™ – zintegrowany system automatyzacji budynków na bazie technologii LonWorks*, „Pomiary, Automatyka, Kontrola” 11: 31–33.
- Kwasnowski P. (1999c), *Racjonalizacja użytkowania energii elektrycznej. Cz. 2. Instalacja sieci LonWorks – Sprawozdanie z posiedzenia Komisji Naukowych, Polska Akademia Nauk. Oddział w Krakowie*, 43/1 styczeń–czerwiec: 98–101.
- Kwasnowski P. (1999d), *Systemy automatyzacji i zarządzania budynków użyteczności publicznej – inteligentne budynki na tle doświadczeń AGH z wdrażania pilotażowej instalacji automatyzacji budynków*, referat na konferencji, Seminarium AGH, Elektro-montaż nr 2 w Krakowie.
- Kwasnowski P. (2001), *Integracja systemów automatyki budynków na bazie technologii LonWorks*, [w:] J. Mikulik (red.), *Intelligent Building Systems. I kongres. Systemy sterowania oraz zarządzania bezpieczeństwem i energią w inteligentnych budynkach*. Zamek Królewski na Wawelu, 9 i 10 kwietnia 2001 r., J. Mikulik (red.), Kraków: 30–33.
- Kwasnowski P. (2002), *Otwartość w systemach automatyki budynków*, [w:] *Materiały kongresu InBuS 2002. 2nd International Congress on Intelligent Building Systems. Systemy sterowania oraz zarządzania bezpieczeństwem i energią w nowoczesnych budynkach*, J. Mikulik (red.), Kraków: 89–93.
- Kwasnowski P. (2022), *Jubileusz Wydziału Elektrycznego 70/50/45/25. Wspomnienia weterana*, Kraków.
- Kwasnowski P., Hayduk G. (2011), *Otwarte zintegrowane systemy automatyki i bezpieczeństwa budynków naukowo-dydaktycznych na Kampusie 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie-Pychowicach*, „Inteligentny Budynek” 2: 35–39.
- Verbeke S., Aerts D., Reynders G., Ma Y., Waide P. (2020), *Final Report on the Technical Support to the Development of a Smart Readiness Indicator for Buildings*, European Commission, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f9e6d89d-fbb1-11ea-b44f-01aa75ed71a1> [dostęp: 10.12.2024].

Case study – SRI evaluation of the buildings of Campus of the 600th Anniversary of the Jagiellonian University Revival in Krakow

Abstract: The construction of the 3rd Campus of the Jagiellonian University in Krakow-Ruczaj began after very long efforts of the university authorities at the end of the 20th century. Next 12 scientific and didactic buildings of the Campus were built in the years 2001–2017. The recent (2024) evaluations of the Smart Readiness Indicator (SRI) values of the Campus facilities carried out as part of the Energy Transition Observatory project have shown that the Campus buildings meet the requirements of the latest EPBD of 2024 in terms of building smartness.

Keywords: 3rd UJ Campus, EPBD, SRI, smart readiness indicator for buildings, smartness of a building

Andrzej Dudała

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie



Paweł Kwasnowski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
kwasn@agh.edu.pl

