

Analiza inteligentnych systemów sterowania budynkami pasywnymi z aspektami oszczędności energetycznej i mechanizmami bezpieczeństwa na przykładzie budynku przedszkola i zespołu dzieci młodszych w Wiśniowej Górze

Paulina Zduniak
dyplomantka Katedry Aparatów Elektrycznych PŁ

Dariusz Kubus
wójt Gminy Andrespol

Mariusz Jabłoński, Piotr Borkowski
Katedra Aparatów Elektrycznych PŁ

1. Wprowadzenie

Gmina Andrespol w latach 2017–2019 zrealizowała projekt współfinansowany ze środków Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Łódzkiego na lata 2014–2020 pt: „Rozwój budownictwa pasywnego i energooszczędnego – budowa budynku przedszkola i zespołu dzieci młodszych w Wiśniowej Górze”. Na bazie tej inwestycji, zgodnie z założeniami unijnego projektu [1], rozbudowany budynek zaprojektowano w koncepcji budownictwa pasywnego, które pozwala na duże oszczędności energii. Szkoła została wyposażona w instalację OZE (wykorzystującą odnawialne źródła energii) oraz zamontowano panele fotowoltaiczne, które zmniejszają koszty ogrzewania wody, a także wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń. W ten sposób szkoła w Wiśniowej Górze realnie przyczyniła się do obniżenia emisji dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych do atmosfery, a Gmina Andrespol stała się obszarem gospodarczym dbającym o niską emisyjność. Według prognoz, ograniczenie wynosi 15 ton CO₂ rocznie, gdzie już 1 tona CO₂ na osobę w ciągu roku oznacza poważne zmiany w klimacie, a średniej wielkości drzewo pochłania rocznie zaledwie około 5 kg CO₂. Realizując taką inwestycję spełniono dwa główne cele założeń do osiągnięcia. Pierwszy cel, to osiągnięcie współczynnika zapotrzebowania na energię na poziomie 9,1 kWh/m²-rok, a drugi to ograniczenie emisji CO₂ do 15 ton/rok.

2. Nowy budynek szkoły w Wiśniowej Górze

W wyniku inwestycji Gmina Andrespol stała się dysponentem nowoczesnego obiektu edukacyjnego, z nowoczesną infrastrukturą IT, w którym zainstalowano nowoczesne systemy sterowania, monitorowania i nadzoru nad funkcjonowaniem budynkiem (zasilania elektrycznego,

fotowoltaiki, instalacji CWU i CO, wideo, wentylacji, klimatyzacji, kontroli dostępu, przeciwpożarowy, BMS). Z tego powodu właśnie, wybór obiektu do pracy dyplomowej nie był przypadkowy i dotyczył możliwości przeprowadzenia analizy działania oraz integracji oddanych do użytku publicznego inteligentnych systemów sterowania nowoczesnym budynkiem. Wybrany obiekt szkolny jest jedną z pierwszych szkół w Łodzi, która postawiła na inteligentne rozwiązania na każdej płaszczyźnie, zwracając tym samym uwagę na efektywność energetyczną, poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań: fotowoltaika, pompa ciepła, system BMS (rys. 1.).



Rys. 1. Widok elewacji szkoły w Wiśniowej Górze, za zgodą UG Andrespol [2]

Celem wykonanej pracy dyplomowej było przeprowadzenie analizy funkcjonowania oddanych do użytku, zintegrowanych systemów sterowania pasywnymi budynkami z aspektami oszczędności energetycznej oraz mechanizmami bezpieczeństwa. Badania zostały wykonane za pomocą dostępnego oprogramowania do zarządzania budynkiem, inżynierskich metod obliczeniowych oraz dostępnych programów edukacyjnych, jak Audytor OZC i PV SOL, które poznano podczas toku studiów na kierunku *systemy sterowania inteligentnymi budynkami* na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. Dodatkowo, w pracy wykorzystano darmowe oprogramowanie Gromexpert [4], Dialux [5] i Codesys [6]. Analizie porównawczej poddano instalacje: wodno-kanalizacyjne, elektryczne, centralnego ogrzewania, wentylacji nawiewno-wywiewnej, klimatyzacyjne, oddymiania, systemu przeciwpożarowego, systemów sterowania inteligentnymi budynkami, jak i stan techniczny całego obiektu. Wykonano analizę porównawczą mając do dyspozycji działające systemy, projekt budowlany i wykonaw-

czy oraz Specyfikację Techniczną Wykonania i Odbioru Robót (w skrócie STWiOR) i Specyfikację Istotnych Warunków Zamówienia (w skrócie SIWZ), przedmiar robót, audyty energetyczne i wyniki pomiarów oświetlenia, które zostały zamieszczone w ramach przetargu na stronie internetowej gminy Andrespol [7]. Wykonane instalacje ponownie obliczono i porównano z aktualnymi danymi przepisów, normami i rozporządzeniami. Dodatkowo wykorzystano opracowanie Katedry Aparatów Elektrycznych nr 2112 „Ekspertyza naukowo-techniczna w zakresie weryfikacji osiągnięć założeń projektowych i wykonawczych systemu BMS sterowania budynkiem pasywnym” zrealizowanego na bazie projektu *Rozwój budownictwa pasywnego i energooszczędnego – budowa budynku przedszkola i zespołu dzieci młodszych w Wiśniowej Górze* autorstwa dr. inż. Mariusza Jabłońskiego [8].

3. Audyt energetyczny

Za pomocą oprogramowania Audytor OZC, służącego do tworzenia świadectw metody efektywności energetycznej budynków, obliczono wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną. Otrzymano wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową na poziomie 264,2 kWh/m²-rok. Roczna energia końcowa jest na poziomie 173,8 kWh/m²-rok, a energia pierwotna na poziomie 141,2 kWh/m²-rok. Emisja CO₂ jest na poziomie 0,026 tCO₂/m²-rok, a osiągnięty wynik emisji CO₂ jest bardzo dobrym rezultatem (rys. 2.).

ŚWIADECTWO CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU

WAZNE DO 29 Grudnia 2030 NUMER ŚWIADECTWA 000000

BUDYNEK OCENIANY

RODZAJ BUDYNKU	Użyteczności publicznej
PRZEDKAZENIE BUDYNKU	Szkoły
ADRES BUDYNKU	Wiśniowa Góra, ul. Tuszyńska 32
BUDYNEK, O KTÓRYM MOWI W ART. 3 UST. 2 USTAWY	Nie
ROK OCENY DO UŻYTKOWANIA BUDYNKU	2018
METODA WYZNACZENIA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ	Metoda obliczeniowa
POWIERZCHNIA POWIERZCHNI O OKREŚLONEJ TEMPERATURZE POWIERZCHNI	1215,34
POWIERZCHNIA OGRZEWANIA (LUB CHŁODZENIA) A _{og} (m ²)	1215,30
STACJA METEOROLOGICZNA, WOKÓŁ KTÓREJ DANYCH OBLICZANA JEST CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA	Łódź Lublin

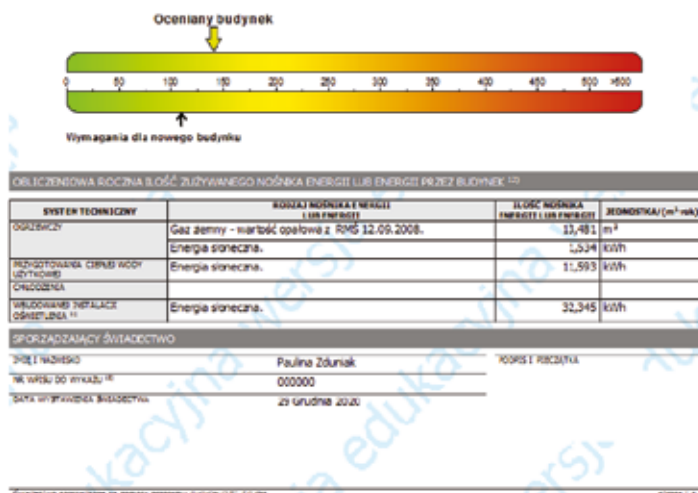
OCENA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU

WSKAŹNIK CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ	OCENIANY BUDYNEK	WYMAGANIA DLA NOWEGO BUDYNKU WIEDZĄC PRZEZ PORÓWNIANIE CHŁADNO-BUDOWLANE
WSKAŹNIK KOŃCOWO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ UŻYTKOWĄ	EU = 264,2 kWh/(m ² -rok)	EP = 130,0 kWh/(m ² -rok)
WSKAŹNIK KOŃCOWO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ	EK = 173,8 kWh/(m ² -rok)	
WSKAŹNIK KOŃCOWO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ PIERWOTNĄ	EP = 141,2 kWh/(m ² -rok)	
WSKAŹNIK KOŃCOWO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ PIERWOTNĄ	E _{wp} = 0,026 t CO ₂ /(m ² -rok)	
WSPÓŁCZYNNIK PRZEWODNOŚCI ENERGETYCZNEJ	U _{oc} = 54,0 %	

Rys. 2. Wskaźniki charakterystyki energetycznej analizowanego budynku

Otrzymany wynik audytu energetycznego został porównany z audytami wykonanymi przez ekspertów na potrzeby projektowe. Pierwszy audyt został wykonany za pomocą oprogramowania ARCADIA TERMO PRO 6.5 i zawiera weryfikację przegród budowlanych oraz sezonowe zapotrzebowanie na ciepło, ciepłą wodę i chłód. Audyt ten sprawdza również obiekt pod względem fizyki budowli, poprzez obliczenie spełnienia warunku uniknięcia rozwoju pleśni, sprawdza warunek powierzchni okien oraz warunki graniczne określone według Wytycznych Technicznych z 2014 roku. Natomiast drugi audyt został wykonany według własnych obliczeń i szablonów weryfikujących. Zawiera opis założeń dla budownictwa pasywnego oraz obliczone współczynniki przenikania, sprawności, składowe instalacji ogrzewania, ciepłej wody użytkowej, jak i wentylacji. Dodatkowo, zawarty został aspekt ekonomiczny – prognoza ilości zaoszczędzonej energii końcowej oraz koszt całkowity.

Jednym z najważniejszych wskaźników do porównania jest EP (energia pierwotna), czyli roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną wyrażoną w jednostce kWh/(m²-rok). Wskaźnik najlepiej obrazuje,



Rys. 3. Obliczenia rocznej ilości zużycia energii

czy obiekt spełnia wymagania dla nowego budynku. EP definiuje również, ile energii pierwotnej pozyskanej z nieodnawialnych źródeł energii jest potrzebne na powierzchnię obiektu, która ma regulowaną temperaturę pomieszczenia. Im mniejsze roczne zapotrzebowanie na energię, tym większa efektywność i dbałość o środowisko.

Według wykonanego w ramach pracy inżynierskiej świadectwa energetycznego z przyjętymi uproszczeniami, do spełnienia wymagań brakuje około 40 kWh/(m²-rok). Według pierwszego audytu EP jest na poziomie 55,66 kWh/(m²-rok), natomiast według drugiego audytu obliczono zmniejszenie energii pierwotnej ze 102,6 na 54,1 kWh/(m²-rok). Różnica wynika z dwóch istotnych kwestii: pierwsza – brak wszystkich materiałów dostępnych w wersji edukacyjnej AUDYTORA OZC, a druga to przyjęte uproszczenia i zbyt ogólne obliczenia wykonane w pracy.

4. Instalacje teletechniczne

Budynek posiada szereg instalacji teletechnicznych, przez które rozumiemy wszelkie systemy, które przesyłają sygnały niskoprądowe. W ramach instalacji teletechnicznych obsługiwane są instalacje alarmowe, telefoniczne, kontrola dostępu, RTV/SAT, telewizja dozorowa, nagłośnieniowa i sieć komputerowa. W szkole wykorzystano instalacje monitoringu oraz kontrolę dostępu wraz z systemem ochrony zewnętrznej i wewnętrznej.

4.1. Monitoring CCTV

Głównymi założeniami zastosowania monitoringu były aspekty bezpieczeństwa. Dodatkowo, ze względu na to, że budynek jest szkołą podstawową, należało zabezpieczyć wszelkie instalacje oraz systemy przed wandalizmem i niepożądanym dostępem. Kamery na korytarzu mają na celu przede wszystkim zapewnienie bezpieczeństwa dzieciom. Są doskonałym rozwiązaniem na wyjaśnianie sporów i ułatwiają nauczycielom utrzymanie porządku w trakcie zajęć i podczas przerw między zajęciami. Dodatkowo, w wyniku zagrożenia, np. w trakcie pożaru, uprawniony personel obsługujący system Telewizji Dozorowej CCTV, może na ekranie komputera zauważyć źródło zagrożenia i zaalarmować odpowiednie służby ratownicze. Zwiększa to poczucie bezpieczeństwa, a dodatkowo zwiększa szanse na szybsze zareagowanie i sprawniejsze przeprowadzenie ewakuacji.

W celu uproszczenia montażu zastosowano przewód tego samego typu. Kamery są połączone z przełącznikiem i rejestratorem za pomocą przewodu FTP6 4x2x0,5, poprowadzonym podtynkowo i na uchwytych.

Kamery są połączone z centralą za pomocą Switch z funkcją PoE. Opcja PoE (z ang. *Power-over-Ethernet*) zasila odbiorniki przy użyciu skrętki komputerowej.



Rys. 4. System IT (a) i ekran zdalnego dostępu do telewizji dozorowej (b)



Rys. 5. Rozwiązania IT zastosowane w projekcie

Rozwiązanie łączy urządzenia sieciowe, w tym przypadku kamery, rejestratory i monitory. Poprzez umieszczoną w serwerowni rezerwę zasilania UPS zasilany jest przełącznik POE kamer. Cały system telewizji dozorowej CCTV ma zasilanie rezerwowe UPS posiadające moduł baterijny podtrzymujący zasilanie urządzeń przez 300 minut.

4.2. Instalacja kontroli dostępu i system ochrony zewnętrznej i wewnętrznej

Kolejnym przykładem instalacji teletechnicznej jest kontrola dostępu oraz system ochrony zewnętrznej i wewnętrznej. Powyższy system obejmuje pomieszczenia, gdzie uczniowie nie powinni mieć wstępu lub posiadać ograniczoną możliwość dostępu pod nadzorem nauczyciela. Jest to zazwyczaj pokój nauczycielski, sala komputerowa, piwnica i pomieszczenia na parterze. Najważniejsze funkcje tej centrali to alarmowanie o włamaniu, napadzie, pożarze, problemach technicznych oraz monitorowanie i kontrola działania systemów. Przy pomieszczeniach, dla których są zaprogramowane karty dostępu, według założeń dodanych do przetargu, została dołączona kontrola ruchu osobowego jednostronnego. Kontrolę należy połączyć z kartami dostępu dzięki zabudowaniu urządzeń elektromechanicznych.

4.3. System sygnalizacji włamania i napadu

Kolejnym aspektem jest System Sygnalizacji Włamania i Napadu, który alarmuje o wszelkich dostępach ludzi, którym nie zostały wydane karty dostępu. System zbudowany jest na centrali certyfikowanej połączonej z dualnymi czujnikami poczerwieni z torem mikrofalowym, czujnikami magnetycznymi i modułami rozszerzeń. Zastosowano certyfikowaną centralę alarmową jako System Ochrony Zewnętrznej i Wewnętrznej. Tego typu urządzenia mają zastosowanie dla budynków średnich i dużych. Centrala wyróżnia się swoim oprogramowaniem. Jest ono przechowywane w pamięci nieulotnej typu FLASH, dzięki której można programować i wymieniać dane z komputerem przy użyciu portu RS-232 (rys. 6.).



Rys. 6. Instalacja systemu PPOZ oraz SWIN

Dodatkowo, w sytuacji, kiedy zostanie odłączona bateria zasilająca RAM, będzie udostępniona możliwość zapisywania ustawień. Centralę można rozbudowywać oraz podzielić jej obszar działania na strefy. W kwestii bezpieczeństwa warto wspomnieć, że centrala może zapamiętać do 240 haseł, więc jest to wystarczająca liczba na omawianą w mojej pracy szkołę. Dodatkowo, osobnym hasłem można zabezpieczyć odbieranie telefonów informujących o stanie bieżącym urządzeń systemowych bądź ubezpieczyć sterowanie przez telefon zaprogramowanymi funkcjami. Zasilanie wykonano za pomocą kabla YDY 3x2,5 mm². W związku z tym, że centrala również obsługuje zamki elektromagnetyczne, jako kontrola dostępu, lepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie kabli ognioodpornych. Daje to dodatkowy czas na odblokowanie drzwi przez system, ze względu na dłuższy czas odporności kabla na pożar. Szkoła pod względem systemu ochrony została podzielona na strefy, co również jest bardzo dobrym rozwiązaniem, ponieważ w przypadku pożaru ułatwia szybszą i sprawniejszą ewakuację osób znajdujących się w budynku.

5. System BMS – integracja instalacji centralnego ogrzewania, wodno-kanalizacyjnej, wentylacji nawiewno-wywiewnej oraz klimatyzacji

5.1. Instalacja wodno-kanalizacyjna

W ramach projektu założono, że zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową ma wynosić 12,40 kW. Wykonując obliczenia weryfikujące, przy założeniach takich, jak czas spędzany w obiekcie (średnio 8 godzin dziennie) oraz liczbę osób (176 osób), różnica wyniosła jedynie 2 kW, zatem można przyjąć, że otrzymano zgodność obliczeń w części wodno-kanalizacyjnej. W przyszłości, przy modyfikacji tej instalacji, można rozważyć zwiększenie zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową, ponieważ do obliczeń nie uwzględniono nauczycieli oraz personelu.

5.2. Instalacja elektryczna

Głównym założeniem projektu instalacji elektrycznej było uzyskanie energooszczędności w klasie A. Całość została objęta programem LEMUR – Energooszczędne Budynki Użyteczności Publicznej. Celem programu jest zredukowanie ilości konsumowanej energii, a co za tym idzie, zredukowanie bądź całkowite pozbycie się emisji dwutlenku węgla.

Założono realizację dwóch założeń:

- redukcja energii pierwotnej do co najmniej 23 000 MWh/rok,
- redukcja emisji dwutlenku węgla do co najmniej 4600 Mg/rok.

Eksploatowana ponad 2 lata instalacja elektryczna wizualnie prezentuje się bardzo dobrze.



Rys. 7. Urządzenia ochronne zainstalowane w instalacji elektrycznej budynku



Rys. 8. Główna szafa zasilająca wraz z głównym sterownikiem PLC systemu

W całym obiekcie przewody zostały ułożone prawidłowo i estetycznie. Zostały zastosowane korytka grzebieniowe w celu utrzymania porządku połączeń w szafie głównej oraz zostały ponumerowane połączenia poszczególnych przewodów, co w eksploatacji jest bardzo dużym udogodnieniem.



Rys. 9. Pomiar energii elektrycznej rozdzielnic RP0 i RP1 w systemie BMS

Energia elektryczna mierzona jest za pomocą dedykowanych mierników przeznaczonych do systemów sterowników programowalnych.

5.3. Kabel WLZ

W ramach pracy inżynierskiej zweryfikowano poprawność doboru kabla WLZ (Wewnętrzna Linia Zasilająca) ze względu na długotrwałą obciążalność prądową dla obwodów trójfazowych, zgodnie z normą N-SEP-E-003. Moc umowna dla szkoły jest równa 73 kW, zastosowano kabel YKXS 4x70 mm², a długość kabla wynosi około 25 m. Prąd obciążenia, według obliczeń, wynosi 113,30 A, zatem zastosowanie wkładki 100 A w złączu jest prawidłowe, ponieważ prąd obliczeniowy jest wyznaczany dla mocy umownej, która jest określana na podstawie bilansu energetycznego zawierającego moce znamionowe danych urządzeń. Moce te są również pomnożone przez współczynniki jednoczesności oraz zawierają doliczoną rezerwę. Wartość mocy szczytowej określono dla wszystkich urządzeń. Załączenie i korzystanie ze wszystkich odbiorników jednocześnie ma miejsce bardzo rzadko. Również w obliczeniach sprawdzono warunek spadku napięć, dopuszczalny spadek napięć to 0,5%, dla szkoły wyniósł 0,04%.

5.4. Instalacja odgromowa

Instalacja odgromowa została sprawdzona przy użyciu oprogramowania Gromexpert, udostępnionego na zasadach darmowej licencji. Powyższy program na podstawie parametrów (rys. 10.), takich jak: rodzaj ścian, konstrukcja, pokrycie i zabudowa dachu, oblicza w jakiej klasie ochronności znajduje się obiekt (rys. 11.).

Parametry konstrukcji budynku

Rodzaj ścian: Mur, beton nie zbrojony

Konstrukcja dachu: Zebel

Pokrycie dachu: Blacha

Zabudowa dachu: Urządzenia elektryczne

Charakterystyka budynku

Zachowanie mieszkańców: Przeciętna możliwość paniki

Wyposażenie wnętrza: Nie palne, trudno palne

Rodzaj wyposażenia wnętrza: Wartościowe wyposażenie

Systemy bezpieczeństwa: Centrala sygnalizacji pożaru

Stłuki pożaru

Skutki dla środowiska: Przeciętne

Wpływ na pracę innych systemów: Żaden

Inne szkody: Przeciętne

Rys. 10. Definicja warunków i parametrów do obliczeń instalacji odgromowej

Dodatkowo określana jest charakterystyka budynku, która też jest niezbędna do wykonania obliczeń. Na charakterystykę budynku składają się takie czynniki jak: zachowanie mieszkańców podczas pożaru,

wyposażenie budynku w materiały drogocenne lub zastosowany system bezpieczeństwa. Zakładane są również scenariusze, jakie skutki może przynieść pożar dla środowiska i zadziałanie niepowiązanych instalacji z systemem SSP (System Sygnalizacji Pożaru). Dla obliczenia klasy ochronności przyjęto zaprezentowane poniżej parametry:

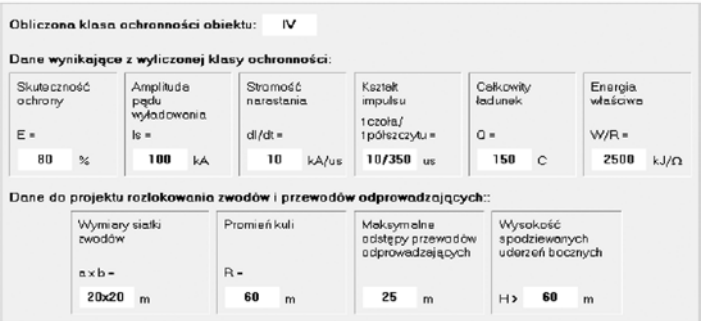
- rodzaj ścian – mur, beton niezbrojony,
- konstrukcja dachu – żelbet,
- pokrycie dachu – blacha,
- zabudowa dachu – urządzenia elektryczne (ze względu, między innymi, na umiejscowione tam panele fotowoltaiczne).

Przyjęto przeciętną możliwość paniki oraz wartościowe wyposażenie ze względu na to, że jest to budynek szkolny i znajdują się w nich pomoce naukowe, książki oraz komputery.



Rys. 11. Wyniki obliczeń instalacji odgromowej

Kolejnymi parametrami do zdefiniowania było określenie liczby dni burzowych w ciągu roku oraz kubatura budynku i jego otoczenie. Wyniki obliczeń klasy ochronności obiektu podano na rys. 12.



Rys. 12. Podstawowe dane dla wyliczonej klasy ochronności

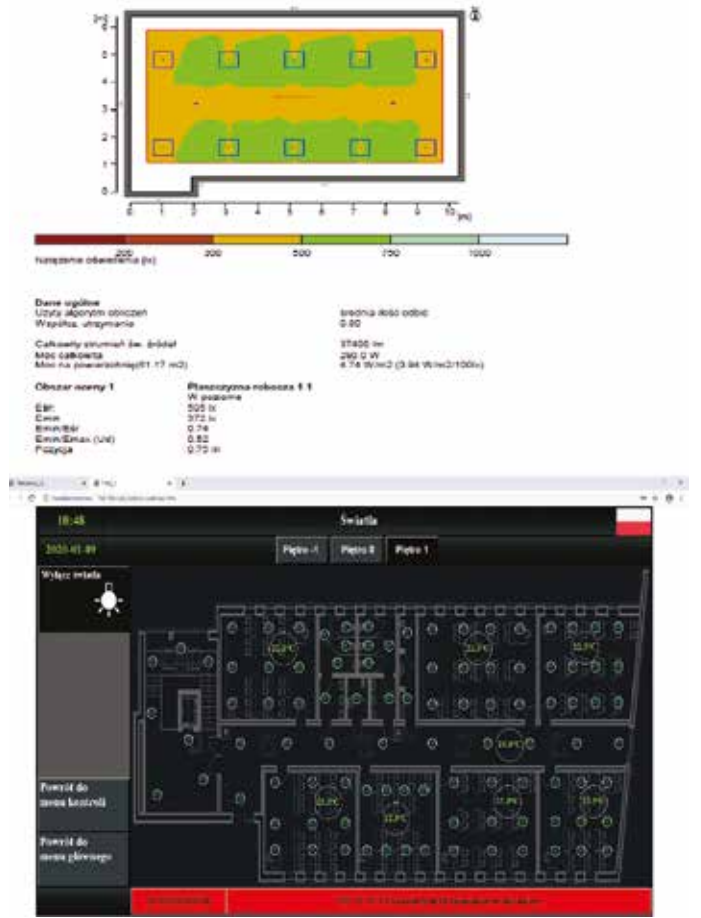
Budynek szkolny znajduje się w IV klasie ochronności. Dla IV klasy ochronności wymiary siatki zwodów to 20×20 m. Zatem zastosowane odstępy siatki zwodów co 10 m, zamiast 20 m, wykonano poprawnie. Dodatkowo, aby zabezpieczyć instalację, zamontowano czterometrowe maszty. Przewody odprowadzające, czyli zwody pionowe, również prawidłowo dobrano i zamontowano.

6. Instalacja oświetlenia

Zgodnie z normą PN-EN 12464-1 zalecane są odpowiednie średnie natężenia oświetlenia ogólnego ze względu na typ bądź przeznaczenie pomieszczeń. Przykładowo, według tej normy dla korytarzy i klatek schodowych zalecany jest przedział 100–200 lx, w łazienkach oraz w pomieszczeniach technicznych lub gospodarczych stosowana jest wartość 200 lx, natomiast dla pomieszczeń biurowych (w tym sal lekcyjnych) – 500 lx. Według dołączonych do dokumentacji budowlanej schematów instalacji elektrycznych, projektant przyjął następujące wartości dla pomieszczeń:

- oddział przedszkolny, klasy – 500 lx,
- pokoju nauczycielski – 300 lx,
- łazienka – 200 lx,
- umywalnia – 200 lx,
- klatka schodowa – 150 lx,
- korytarz – 100 lx i 200 lx,
- szatnia – 200 lx,
- pomieszczenie techniczne – 200 lx,
- sala rekreacyjna – 300 lx.

Powyższe wartości przyjęto prawidłowo, zgodnie z normą. W programie Dialux sprawdzono jedną z klas. Według oznaczeń w klasie zastosowano 10 opraw oświetlenia podstawowego systemowych LED o następujących parametrach: 3800 lm, 28 W, 230 V. Na podstawie otrzymanych wyników widać, że wartość natężenia oświetlenia waha się w przedziale 300–750 lx, zatem oprawy dobrano jak najbardziej poprawnie. Średnie natężenie jest równe 505 lx, zatem zgodnie z normą PN-EN 12464-1.



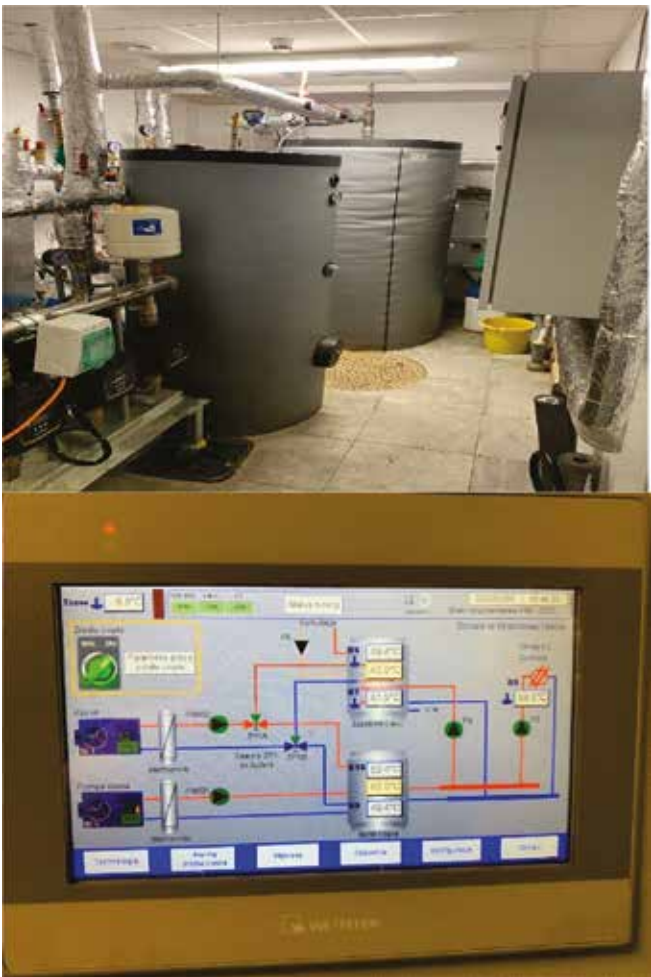
Rys. 13. Wyniki obliczeń natężenia oświetlenia w programie Dialux (a) oraz graficzna reprezentacja oświetlenia LED w systemie BMS

Wartość średnia natężenia z podłogi, sufitu oraz ściany wynosi w przybliżeniu 556 lx, zatem również wynik jest poprawny. Rozbieżność

wyników o około 50 lx może wynikać ze sposobu przyjęcia płaszczyzny obliczeniowej. W przypadku obliczeń z dokumentacji projektowej jest to obszar prostokątny, natomiast w obliczeniach wykonanych w ramach pracy inżynierskiej jest to dokładnie odwzorowany kształt pomieszczenia. Różnice mogą wynikać także z tego, że symulację wykonano przez program dedykowany producentowi opraw, przez co wyniki mogły być dokładniejsze.

7. Instalacja centralnego ogrzewania

W ramach pracy inżynierskiej zweryfikowano również ogrzewanie. Obliczenia zostały wykonane dla jednego z pomieszczeń. Zastosowano instalację centralnego ogrzewania konwekcyjnego w układzie pompowym. Dodatkowo zastosowano ogrzewanie podłogowe. Parametry instalacji to 65/45°C, gdzie 65°C oznacza temperaturę wody zasilającej, natomiast 45°C określa wartość temperatury wody powrotnej. Do obliczeń sprawdzenia poprawności doboru grzejników wykorzystano dołączony do opisu technicznego dokumentacji wykonawczej bilans cieplny. Dobór grzejników dla danego typu pomieszczenia opiera się na obliczeniu bądź przyjęciu kilku wartości, takich jak: temperatura zasilania instalacji centralnego ogrzewania, temperatura wody chłodzenia dla grzejnika, powierzchnia, jaka będzie ogrzewana danym urządzeniem, typ grzejnika oraz całkowite zapotrzebowanie na moc cieplną – rys. 14.



Rys. 14. Widok kotłowni szkolnej (a) wraz z widokiem HMI panelu sterowania systemem ogrzewania (b)

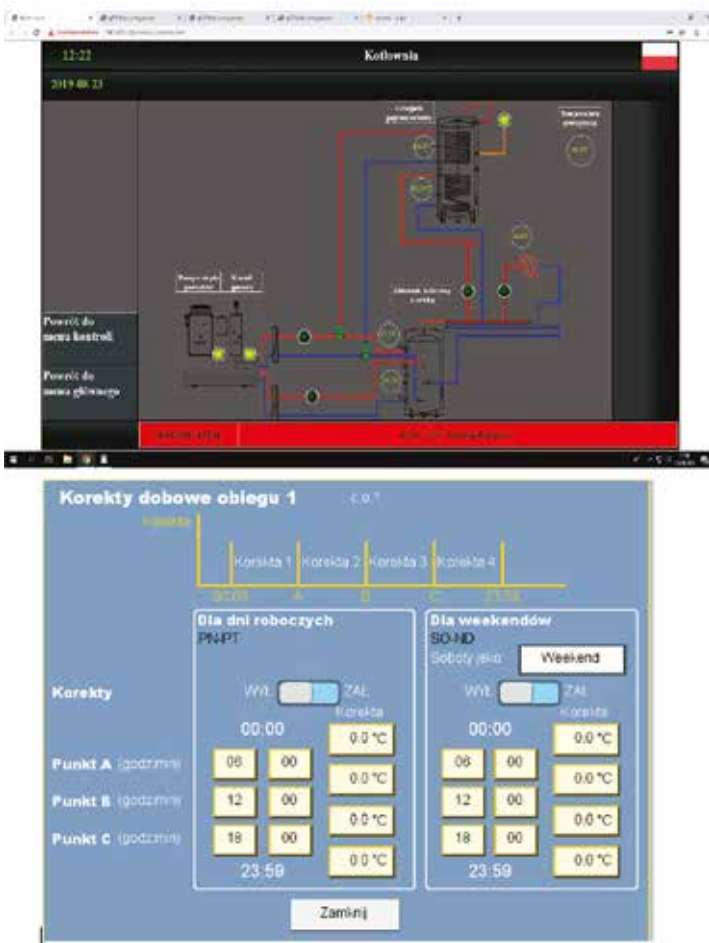
W pierwszym etapie określana jest wydajność ciepła dla grzejników, [9].

$$Q_{grz} = (Q_{pom} - Q_{pp} - Q_p) \cdot BT \cdot Bu \cdot Bp \cdot Bo \cdot Bs [W]$$

gdzie:

- Q_{grz} – zapotrzebowanie na moc cieplną grzejnika,
- Q_{pom} – straty ciepła w pomieszczeniu,
- Q_{pp} – wydajność ciepła, która jest określeniem ciepła wydobywającego się z rur pionu,
- Q_p – zyski ciepła od innych źródeł,
- BT – współczynnik poprawkowy mający na uwadze wyposażenie grzejnika w zawór termostatyczny,
- Bu – współczynnik określający miejsce usytuowania grzejnika,
- Bp – współczynnik poprawkowy weryfikujący sposób podłączenia,
- Bo – współczynnik uwzględniający wpływ osłonięcia grzejnika,
- Bs – współczynnik uwzględniający wpływ ochłodzenia wody w przewodach.

Sprawdzono jedną z sal lekcyjnych z obiegu IV (pomieszczenie 1.9) pod względem poprawności doboru grzejników. W pomieszczeniu znajdują się dwa grzejniki o mocy 832 W. Według obliczeń z powyższego wzoru, moc grzejnika wynosi 1361 W, zatem dobór jest prawidłowy.



Rys. 15. Graficzny widok kotłowni szkolnej widzianej w BMS (a) i lokalnie (b)

Nastawy zadane mogą być zmieniane zdalnie (BMS) lub lokalnie (HMI). Zmiany są wizualizowane zarówno zdalnie w BMS, jak również lokalnie, na panelu HMI w kotłowni.

8. Analiza wentylacji nawiewno-wywiewnej

Analizę instalacji wentylacji nawiewno-wywiewnej oraz klimatyzacji wykonano w oparciu o normę PN-83/B-03430 – „Wentylacja w budynkach



Rys. 16. Widok centrali wentylacyjnej na dachu budynku szkoły (a) i graficznie w systemie BMS (b)



Rys. 17. Sterowanie oświetleniem zrealizowane na bazie WAGO e!Cockpit

mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania”.

Korzystając z zależności, gdzie ilość potrzebnego powietrza to liczba osób pomnożona przez ilość powietrza przypadająca na jedną osobę oraz zakładając, że liczba osób przebywających w sali lekcyjnej oraz świetlicy to 30 osób oraz minimalna wartość przepływającego powietrza dla przedszkola wynosi $15 \text{ m}^3/\text{h}$, okazuje się, że w pomieszczeniach świetlicy, świetlicy „cichiej” oraz w pięciu klasach jest za mała krotność wymiany powietrza. Osoby przebywające w szkole skarżą się na słabą wentylację pomieszczeń. W związku z tym, że są to tylko i wyłącznie obliczenia, bez wizji lokalnej, warto byłoby zweryfikować krotność wymian powietrza w wymienionych pomieszczeniach. Być może błąd wynika z przyjęcia jednej stałej wartości ilości przypadającego powietrza na jedną osobę bez uwzględnienia przeznaczenia pomieszczenia.

9. System BMS

Sterowanie budynkiem zrealizowano na bazie rozwiązań firmy Wago i sterowników PLC programowalnych w eCockpit. Rozwiązanie to jest na bazie platformy CODESYS i normy IEC 61631-3.

W systemie BMS zaimplementowano możliwość konfiguracji klimatyzacji w salach.

Istnieje możliwość definicji harmonogramów oraz dostęp do bieżących i archiwalnych zdarzeń systemu.

Za pomocą modułu GRAFANA uruchomiono możliwość profesjonalnej i dostosowanej do potrzeb wizualizacji:

Platformę zainstalowano na lokalnym serwerze, co pozwala na precyzyjne określenie wskaźników do wizualizacji.



Rys. 18. Sterowanie klimatyzacją zrealizowane na bazie WAGO e!Cockpit

10. Podsumowanie

Opisany w artykule projekt jest bardzo dobrym przykładem przedsięwzięcia realizowanego przez Unię Europejską w Polsce. Zgodnie z dyrektywą EPBD zostały zachowane standardy dla budynku pasywnego, który spełnia wszystkie wymagania w kwestii emisji CO₂ oraz wskaźnika energii pierwotnej. Przedstawiona analiza nie wykazuje nieprawidłowości w wykonaniu instalacji: wodno-kanalizacyjnej, elektrycznej, centralnego ogrzewania, wentylacji nawiewno-wywiewnej, klimatyzacyjnej, oddymiania, systemu przeciwpożarowego, systemów sterowania inteligentnymi budynkami. W celu poprawy efektywności energetycznej budynku warto zastanowić się nad usprawnieniem instalacji nawiewno-wywiewnej, gdyż zaprojektowana liczba wymian powietrza może być w niektórych porach roku za mała.

Warto również zastanowić się nad kwestią ochrony przeciwpożarowej. Część urządzeń, centrala obsługująca kontrolę dostępu jest zasilana przy użyciu kabla YDY 3x2,5 i w takiej sytuacji warto zastanowić się nad zastosowaniem kabli ognioodpornych. Daje to dodatkowy czas na zadziałanie elektrozamek i odblokowanie drzwi przez system, ze względu na dłuższy czas odporności kabla na ogień.

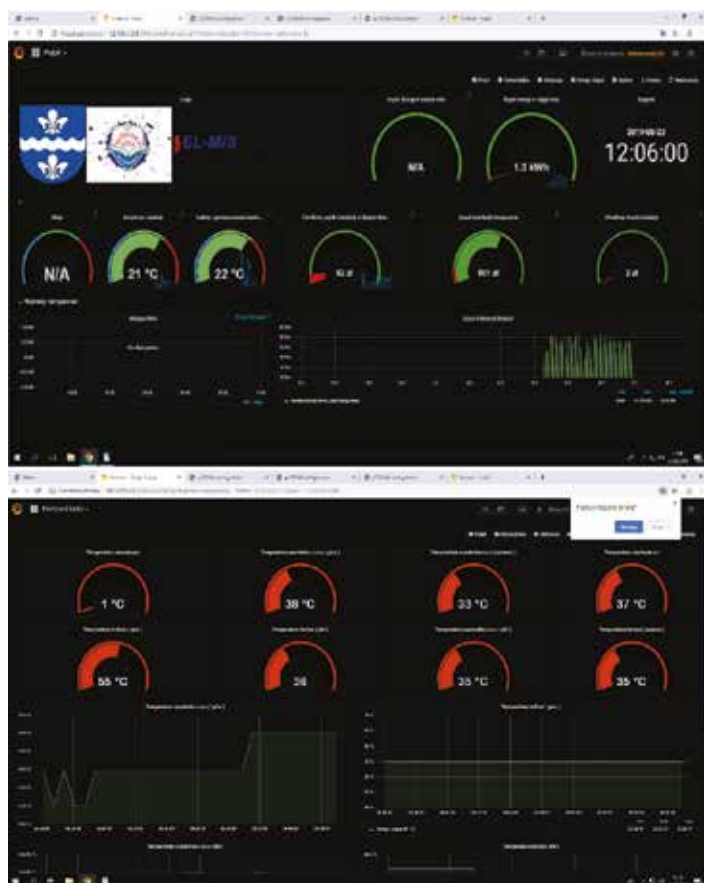
Podsumowując, dzięki projektowi unijnemu i dofinansowaniu Gminy Andrespol i Starostwa Powiatowego Łódź – Wschód, szkoła zyskała panele fotowoltaiczne, możliwość sterowania i kontrolowania pracy systemów za pomocą BMS. Na chwilę obecną jest to jedna z nielicznych szkół w województwie łódzkim, która jest jednocześnie przyjazna tak dzieciom, jak i środowisku. Dzięki wsparciu gminy Andrespol i starosta powiatowego Łódź – Wschód, dzieci w Wiśniowej Górze nie muszą już uczęszczać na zajęcia w systemie dwuzmianowym. Budynek został przystosowany również dla osób niepełnosprawnych.

11. Bibliografia

- [1] Wiśniowa Góra dba o czyste powietrze – RPO WŁ 2014–2020 (lodzkie.pl), dostęp 14.06.2021 r.
- [2] O nas – Szkoła Podstawowa w Wiśniowej Górze (spwg.edu.pl), dostęp 14.06.2021 r.
- [3] <http://andrespol.pl/p,276,rozwoj-budownictwa-pasywnego-i-energooszczednegobudowa-budynku-przedszkola-i-zespołu-dzieci-młodszych-w-winiowej-gorze,0>, dostęp na dzień 15.01.2020 r.
- [4] <https://www.spinpol.com.pl/gromekspert>, dostęp na dzień 01.02.2021 r. – udostępnione w ramach darmowej licencji przez firmę SPINPOL T.H. PPHU.
- [5] www.dial.de Dialux Evo – licencja testowa.
- [6] CODESYS Development System V3 | CODESYS Store International Code-sys Development System – licencja free.
- [7] <http://andrespol.pl/p,276,rozwoj-budownictwa-pasywnego-i-energooszczednegobudowa-budynku-przedszkola-i-zespołu-dzieci-młodszych-w-winiowej-gorze,0>, dostęp na dzień 15.01.2020 r.
- [8] M. Jabłoński – Opracowanie nr 2112 Katedra Aparatów Elektrycznych PŁ „Ekspertyza naukowo-techniczna w zakresie weryfikacji osiągnięć założeń projektowych i wykonawczych systemu BMS sterowania budynkiem pasywnym zrealizowanego na bazie projektu *Rozwój budownictwa pasywnego i energooszczędnego - budowa budynku przedszkola i zespołu dzieci młodszych w Wiśniowej Górze*”.
- [9] <http://www.instsani.pl/235/obliczanie-i-dobor-grzejników>, dostęp dnia 28.12.2020 r.



Rys. 19. Konfiguracja harmonogramów oświetlenia (a) i odczyt alarmów (b) zrealizowane na bazie WAGO e!Cockpit



Rys. 20. Wizualizacja pracy systemu zrealizowana na platformie GRAFANA