

Marek Bolesław  
**HORYŃSKI**

# Energooszczędne zautomatyzowane systemy zarządzania energią w budynkach mieszkalnych



Politechnika Lubelska  
Lublin, 2015

Energooszczędne zautomatyzowane  
systemy zarządzania energią  
w budynkach mieszkalnych

# Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
ul. Nadbystrzycka 38A  
20-618 Lublin

Marek Bolesław Horyński

# Energooszczędne zautomatyzowane systemy zarządzania energią w budynkach mieszkalnych



Politechnika Lubelska  
Lublin 2015



Recenzent:

prof. dr hab. inż. Marek Kuna-Broniowski

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2015

ISBN: 978-83-7947-145-4

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

[www.biblioteka.pollub.pl](http://www.biblioteka.pollub.pl)

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

[www.agencjatorp.pl](http://www.agencjatorp.pl)

---

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)

Nakład: 100 egz. Ark. wyd. 8,55.

## SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń .....	7
Wykaz ważniejszych skrótów i terminów .....	9
<b>1. Wstęp .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Kontrolery instalacji w budynkach. Systemy pomiarowe .....</b>	<b>21</b>
2.1. Interfejsy – funkcje, klasyfikacja.....	21
2.2. Systemy pomiarowe .....	32
<b>3. Programowanie graficzne w energooszczędnym budynku .....</b>	<b>37</b>
3.1. Tekstowe i graficzne języki programowania .....	37
3.2. Tworzenie aplikacji programowych w energooszczędnym budynku.....	39
<b>4. Energooszczędne systemy budynkowe .....</b>	<b>43</b>
4.1. Koszty eksploatacji budynku.....	46
4.2. Laboratorium badawcze energooszczędnych systemów budynkowych....	50
4.3. Magistrała systemu KNX/EIB.....	52
4.4. Współpraca systemu wizualizacji z magistralą systemu KNX/EIB.....	53
4.5. Urządzenia stosowane w instalacjach HVAC w zautomatyzowanym budynku.....	64
4.5.1. Sterowanie ogrzewania.....	65
4.5.2. Sterowanie oświetleniem.....	68
<b>5. Zastosowanie energii odnawialnych w budownictwie .....</b>	<b>73</b>
5.1. Instalacje wykorzystujące energię słoneczną .....	77
5.1.1. Systemy fotowoltaiczne .....	78
5.1.2. Solarna instalacja grzewcza .....	80
5.2. Energetyka prosumencka.....	81
5.2.1. Wybrane warianty systemów autonomicznych w domu inteligentnym zasilane z instalacji fotowoltaicznych .....	83
5.3. Czynniki ograniczające wykorzystanie energii odnawialnych w budownictwie.....	89
<b>6. Przykłady zastosowań energooszczędnych systemów zarządzania     energią z odnawialnymi źródłami energii .....</b>	<b>91</b>
6.1. Instalacje inteligentne w gospodarstwie agroturystycznym.....	91
6.2. Instalacje inteligentne w nawadnianiu przydomowych terenów zielonych .....	97
6.3. Instalacja inteligentna w samochodzie turystycznym.....	104
6.4. System fotowoltaiczny zasilający pompę ciepła .....	109
6.4.1. Określenie ilości energii elektrycznej zużywanej przez pompę ciepła w sezonie grzewczym.....	110

6.5. Integracja instalacji inteligentnej z OZE .....	118
6.5.1 Przykład integracji napędu rolet z OZE .....	121
<b>7. Podsumowanie.....</b>	<b>127</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>131</b>
<b>Summary.....</b>	<b>141</b>
<b>Streszczenie.....</b>	<b>142</b>
<b>Załącznik nr 1.....</b>	<b>143</b>

## Wykaz ważniejszych oznaczeń

$\beta$	– azymut, rad,
$\eta$	– całkowita sprawność układu,
$\alpha$	– kąt pochylenia, rad,
$\omega$	– prędkość kątowna silnika, rad/s,
$\eta$	– sprawność konwersji fotowoltaicznej,
$\varphi$	– wilgotność względna, %,
$\varepsilon$	– współczynnik wydajności grzejnej,
$\eta_0$	– optymalna sprawność systemu dla warunków znamionowych,
$\Phi_c$	– uśredniony strumień cieplny od gotowania odniesiony, W,
$\Phi_{el.}$	– uśredniony strumień cieplny od urządzeń elektrycznych, W,
$\Phi_L$	– średni dobowy strumień ciepła wydzielany przez człowieka, W/os,
$U_{wewn.}, U_{zewn.}$	– temperatura wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia, K,
$\mu$	– współczynnik wykorzystania zysków ciepła,
$c_1, c_2, c_3$	– stałe proporcjonalności,
$Cov(X, Y)$	– kowariancja,
$E$	– natężenie promieniowania, W/m <sup>2</sup> ,
$f$	– częstotliwość napięcia silnika, Hz,
$FF$	– współczynnik wypełnienia charakterystyki zewnętrznej,
$F_g$	– powierzchnia grzejnika, m <sup>2</sup> ,
$f_n$	– częstotliwość znamionowa napięcia silnika, Hz,
$G$	– prędkość strumienia powietrza, m <sup>3</sup> /s
$GLR$	– stosunek energetycznych zysków do strat ciepła,
$I_{MPP}$	– prąd w punkcie maksymalnej mocy, A,
$I_{SC}$	– prąd zwarcia, A,
$I_{SO}$	– natężenie prądu nośników mniejszościowych generowanych termicznie, A,
$J_{SC}$	– gęstość prądu zwarcia, A/m <sup>2</sup> ,
$k_1, k_2$	– współczynniki kierunkowe, V/A,
$K_{r,z}$	– współczynnik korekcyjny,
$k_{ścian}, k_{okien}$	– współczynniki przewodności cieplnej ścian i okien, W/m <sup>2</sup> K,
$L_{dm}$	– liczba dni w $m$ -tym miesiącu sezonu grzewczego,
$M$	– elektromagnetyczny moment obrotowy silnika, N m,
$MPP$	– Maximum Power Point, maksymalny punkt mocy,
$N$	– liczba mieszkańców,
$OPC$	– otwarty standard komunikacyjny,

$P$	– moc wejściowa, W,
$P$	– moc wydzielana na obciążeniu, W,
$P_m$	– maksymalna moc baterii, W,
$P_{mn}$	– maksymalna znamionowa moc baterii, W,
$Q_a$	– straty ciepła na wentylację w sezonie grzewczym, kWh,
$Q_{cm}$	– zysk ciepła od posiłków, Wh,
$Q_{czł.}$	– zysk ciepła od mieszkańców, Wh,
$Q_{elektr.}$	– zysk ciepła od urządzeń elektrycznych, Wh,
$Q_{grzania}$	– ciepło grzania, Wh,
$Q_h$	– sezonowe zapotrzebowanie na energię cieplną do ogrzewania, kWh/a,
$q_j$	– moc cieplna grzejnika, W
$q_j$	– jednostkowa moc cieplna grzejnika, W/m <sup>2</sup> ,
$Q_{okien}$	– straty ciepła przez okna, Wh,
$Q_{os.}$	– zysk ciepła od oświetlenia, Wh,
$Q_p$	– moc cieplna przewodu, W,
$Q_p$	– zapotrzebowanie na moc cieplną dla pomieszczenia, W,
$Q_{str.}$	– straty ciepła przez przegrody budowlane w sezonie grzewczym, kWh,
$Q_{ścian}$	– straty ciepła przez ściany, Wh,
$q_z$	– zastępcza jednostkowa moc cieplna grzejnika, W,
$Q_{zi}$	– zyski ciepła wewnętrzne w sezonie grzewczym, kWh,
$Q_{zn}$	– zyski ciepła od nasłonecznienia w sezonie grzewczym, kWh,
$R_{opt.}$	– optymalna rezystancja obciążenia, $\Omega$ ,
$A$	– powierzchnia ogniwa, m <sup>2</sup> ,
$S$	– natężenie promieniowania, W/m <sup>2</sup> ,
$S_E$	– czułość fotoelektryczna złącza p-n, $A \times cm^2/mW$ ,
$S_{ścian}, S_{okien}$	– powierzchnia, odpowiednio ścian i okien w pomieszczeniu, m <sup>2</sup> ,
TF	– współczynnik transpozycji,
$U$	– napięcie ogniwa, V,
$U_{MPP}$	– napięcie w punkcie maksymalnej mocy, V,
$U_n$	– wartość znamionowa napięcia zasilania silnika, V,
$U_{OC}$	– wartość napięcia jałowego generatora fotowoltaicznego, V,
$V$	– potencjał elektryczny, V,
$V_T$	– potencjał termodynamiczny, V,
$\rho_{x,y}$	– współczynnik korelacji.



## Wykaz ważniejszych skrótów i terminów

BMS	– Building Management System (System Zarządzania Budynkiem),
BMCS	– Building Monitoring and Control System,
CAMAC	– Computer Automated Measurement And Control – standard modułowej aparatury elektronicznej,
CAD	– Computer Aided Design,
CBR	– Case Based Reasoning,
DDE	– Dynamic Data Exchange – protokół umożliwiający komunikację między aplikacjami,
DECC	– Department of Energy and Climate Change – department w Zjednoczonym Królestwie Wielkiej Brytanii i Irlandii,
EIB	– European Installation Bus (Europejska Magistrala Instalacyjna),
ETS	– Engineering Tool Software – główny program do konfiguracji urządzeń w systemie KNX,
EPDB	– Energy Performance of Buildings Directive – dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej, z 16 grudnia 2002 r.,
HVAC	– Heating, Ventilation, Air Conditioning,
ICT	– Information and Communication Technologies (Technologie informacyjno-komunikacyjne),
IP	– Internet Protocol,
KNX	– Konnex,
LCN	– Local Control Network,
LESB	– Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych,
OPC	– OLE for process control – otwarty standard komunikacyjny stosowany w automatyce przemysłowej i informatycznych systemach wyższych warstw,
PLC	– Programmable Logic Controller,
PWM	– Pulse-Width Modulation – modulacja szerokości impulsu,
SCPI	– Standard Commands for Programmable Instruments,
TF	– transposition factor – współczynnik korekcji, który może zmieniać się ze zmianą położeniu i nachylenia modułów fotowoltaicznych,
EESM	– FreeVolt™ Extreme Efficiency Solar Module,
XP	– eXPerience – oznaczenie systemu operacyjnego Windows, znanego po nazwę kodową Whistler,
UDP	– User Datagram Protocol,
VMA	– standard interfejsu stosowanego w systemach pomiarowych,
SSL	– protokół transmisji danych.

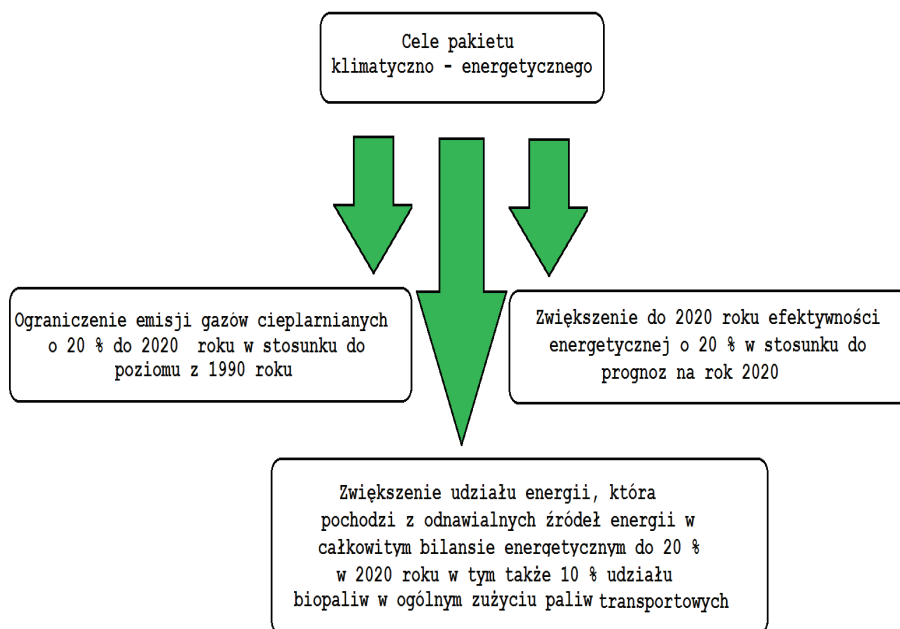


# 1. Wstęp

Współcześnie obserwuje się bardzo szybki rozwój technologii informatycznych, zwiększających zdecydowanie możliwości komunikacyjne. Technologie te istotnie oddziałują na warunki pracy i życia ludzi, dostarczając coraz to nowych możliwości do prowadzenia pracy i odpoczynku [1–21].

Podczas wiosennej sesji Rady Europejskiej w 2007 r. szefowie państw i rządów podkreślili, że stworzenie zrównoważonej i zintegrowanej europejskiej polityki w dziedzinie klimatu i energii stanowi priorytet, oraz przyjęli pakiet energetyczny i klimatyczny mający prowadzić UE w kierunku konkurencyjnej i bezpiecznej gospodarki energetycznej, promując równocześnie oszczędność energii i wykorzystanie przyjaznych dla klimatu źródeł energii. W tej dziedzinie Europa stoi przed trzema wyzwaniem, którymi są: zmiany klimatyczne, gwarancja bezpiecznych, zrównoważonych i konkurencyjnych dostaw energii oraz uczynienie z gospodarki europejskiej modelową pod względem zrównoważonego rozwoju w XXI wieku.

Zamiar Rady Europejskiej, aby przekształcić gospodarkę Europy w niskoemisyjną o wysokiej wydajności energetycznej oznacza, że ciągły wzrost, niezbędny do osiągnięcia pełnego poziomu zatrudnienia i integracji, należy oddzielić od zużycia energii. Obecne tendencje są niezrównoważone. Przewidywania zakładały, że przy braku jakichkolwiek zmian końcowe zużycie energii w UE wzrosłoby nawet o 25 % do 2012 r. przy znaczącym wzroście emisji gazów cieplarnianych.



Rys. 1.1. Cele pakietu klimatyczno-energetycznego

W dniach 11–12 grudnia 2008 roku podczas unijnego szczytu Rada Unii Europejskiej przyjęła pakiet energetyczno-klimatyczny (znany także, jako pakiet klimatyczny, pakiet „3x20” lub „20-20-20”). Pakiet energetyczno-klimatyczny jest zbiorem wiążących ustaw mających na celu zapewnienie realizacji założeń dotyczących przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Pakiet został przedstawiony po raz pierwszy w marcu 2007 roku i po miesiącach negocjacji pomiędzy państwami członkowskimi, został przyjęty przez Parlament Europejski w grudniu 2008 roku.

Dokumenty wchodzące w skład pakietu skupiają się na trzech kluczowych celach (Rys. 1.1):

- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do 2020 roku, co najmniej o 20 % w stosunku do poziomu emisji z 1990 roku,
- zwiększenie do 2020 roku udziału zużycia energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii do 20%,
- zwiększenie do 2020 roku o 20% efektywności energetycznej w stosunku do prognoz na rok 2020.

Państwa Wspólnoty Europejskiej wszystkie te cele ilościowe mają osiągnąć do 2020 roku. Dodatkowo Komisja Europejska zarekomendowała zwiększenie do 10% udziału biopaliw w ogólnym zużyciu paliw w transporcie na terenie Unii Europejskiej.

Jednym z celów przyjętego pakietu jest zwiększenie efektywności energetycznej, a co za tym idzie oszczędność energii. Jednocześnie jest to najważniejszy z priorytetów strategii polityki energetycznej Polski do 2030 roku. Pozwala to przypuszczać, że w najbliższych latach rząd Polski będzie w coraz większym stopniu podejmował działania mające na celu zwiększenie świadomości obywateli dotyczące oszczędzania energii i traktowania jej, jako dobro wspólne. Dążenie przez Polskę do osiągnięcia wyznaczonych celów do 2020 roku może również przyczynić się do wzrostu cen energii, a co za tym idzie wzrostu kosztów eksploatacji budynków. Stosowanie technologii i rozwiązań przyczyniających się do poprawy efektywności i zmniejszenia emisyjności może w znaczącym stopniu obniżyć te koszty.

Zgodnie z dyrektywą 2002/91/EC z 16.12.2002 roku od 2009 roku wszystkie kraje Unii Europejskiej mają obowiązek stosować tzw. certyfikaty budynków określające ich klasę energetyczną. Powodem tego jest chęć przeciwdziałania skutkom zmian klimatu (ekologicznym i ekonomicznym) oraz zapewnienia Europie samowystarczalności energetycznej. Technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT) odgrywają ważną rolę w zmniejszaniu energochłonności oraz w poprawie efektywności energetycznej gospodarki, czyli w obniżeniu emisji i przyczynieniu się do zrównoważonego wzrostu. Aby osiągnąć ambitne cele i sprostać wyzwaniom Europa musi zapewnić dostępność i pełne zastosowanie rozwiązań wspieranych technologiami informacyjno-komunikacyjnymi. Jednakże, nowe tendencje oferują możliwość stworzenia w przyszłości gospodarki europejskiej, w której technologia i społeczeństwo dostosują się do nowych potrzeb, zaś innowacja będzie oferować nowe szanse. ICT przyczynią się nie tylko do zwiększenia efektywności energetycznej i walki ze zmianami klimatycznymi, ale również do rozwoju szerokiego wiodącego rynku energooszczędnych technologii opartych na ICT, co zwiększy konkurencyjność i stworzy nowe możliwości dla biznesu [6, 10, 22–31].

Prowadzone są też działania, aby wprowadzić do domów technologie informatyczne i automatyzację procesów życia i odpoczynku. Jednak ten proces odbywa się dość wolno, głównie z powodu jeszcze wysokich kosztów zakupu, montażu i serwisowania czujników i urządzeń wykonawczych, a także małej wiedzy społecznej dotyczącej instalacji inteligentnych. Elementy składowe systemu automatyki budynkowej powinny być tanie, zużywać małe ilości energii i mieć małe wymiary.

Według szacunków Komisji Europejskiej sektor budownictwa odpowiada za 40 % całkowitego zużycia energii w Unii Europejskiej. Zatem redukcja zużycia energii w tej dziedzinie stanowi priorytet w ramach celów „20-20-20” w zakresie efektywności energetycznej.

Cele te opisane są w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady Europy nr 2010/31/UE z dnia 18 maja 2010 r. (Dz. U. L 153 z 18.6.2010, s 13–35). Zgodnie z tą dyrektywą, od 31.12.2020 wszystkie nowe budynki muszą cechować się niemal zerowym zużyciem energii. Dyrektywa wprowadza, także pojęcie tzw. charakterystyki energetycznej budynków, która wyznacza ilość energii niezbędną do zaspokojenia zapotrzebowania na energię związanego z typowym użytkowaniem budynku, obejmujące energię na potrzeby ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody i oświetlenia. Państwa członkowskie, w tym także i Polska, są zobowiązane przyjmując, na szczeblu krajowym lub regionalnym, metodologię obliczania charakterystyki energetycznej budynków, która uwzględnia pewne elementy, w szczególności [31–42]:

- właściwości cieplne budynku (charakterystyka cieplna, izolacja itp.),
- wyposażenie grzewcze oraz zaopatrzenie w ciepłą wodę,
- instalacje klimatyzacyjne,
- zintegrowaną instalację oświetleniową,
- wewnętrzne warunki klimatyczne.

pozytywne oddziaływanie innych elementów, takich jak lokalne warunki nasłonecznienia, naturalne oświetlenie, wytwarzanie energii elektrycznej drogą kogeneracji, oraz miejskie lub zbiorowe systemy grzewcze i chłodnicze, także brane są pod uwagę. Przepisy te wymuszają wprowadzanie nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie energooszczędnego budownictwa. Mają one również na celu poszerzenie wiedzy odnośnie oszczędzania energii, a także świadomego wyboru produktów i urządzeń cechujących się zmniejszonym zapotrzebowaniem energetycznym. Dlatego też wyżej wymieniona dyrektywa wprowadza tzw. etykiety energetyczne. Posiadać je muszą wszystkie produkty, które mogą mieć bezpośredni lub pośredni wpływ na zużycie energii i na ewentualne zasoby w czasie ich użytkowania. Etykieta energetyczna zawiera informacje dotyczące zużycia przez produkty energii elektrycznej i innych form energii, ale również np. poziomu hałasu. Najważniejszym wskaźnikiem umieszczonym na etykiecie jest klasa energetyczna, oznaczana literami od A do G. Klasę najbardziej efektywną energetycznie symbolizuje A+++.

Oprócz oznaczeń literowych stosuje się gamy siedmiu kolorów, gdzie ciemnozielony oznacza produkty najoszczędniejsze.



Nowe budynki użyteczności publicznej muszą spełniać ten wymóg już od 2019 roku. Zmiany w dyrektywie EPBD obejmują także stare, słabo zaizolowane budynki, odpowiedzialne za największe straty energii. Unia Europejska postanowiła, że w przypadku modernizacji tych obiektów, każdy remontowany obiekt będzie musiał spełnić minimalne wymogi energooszczędności.

Dzięki nowym przepisom łatwiej będzie Europie zwalczyć kryzys ekonomiczny, energetyczny i klimatyczny oraz poprawić bezpieczeństwo energetyczne [11, 24, 38, 43, 44].

W latach 2000–2008 w Polsce nastąpił stopniowy wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym kraju. Przyczyniło się do tego między innymi:

- znaczne zwiększenie wykorzystania drewna, (głównie przez współpalanie),
- uruchomienie lokalnych ciepłowni na słomę,
- uruchomienie trzech ciepłowni geotermalnych,
- wybudowanie kilkudziesięciu dużych farm wiatrowych,
- uruchomienie licznych małych elektrowni wodnych,
- uruchomienie ciepłowni i elektrowni zasilanych biogazem z wysypisk odpadów komunalnych oraz z oczyszczalni ścieków,
- wykorzystanie energii słońca w kolektorach słonecznych,
- dynamiczny wzrost wykorzystania pomp ciepła.

Według W.M. Lewandowskiego szacuje się, że „potencjał możliwego do wykorzystania strumienia energii ze źródeł odnawialnych w Polsce wynosi 25 GW. Największy udział w tym potencjale ma strumień energii słonecznej 11,7 GW, następnie biomasa w postaci słomy 5 GW, energia geotermalna 3,2 GW, biomasa w postaci drewna 3 GW, energia wody 1,4 GW, biopaliwa 0,5 GW i energia wiatru 0,2 GW” [45].

Tabela 1.1. Szacowana wielkość produkcji energii z OZE do roku 2020

Rodzaj OZE	Energia końcowa w 2020 roku, PJ	Roczne tempo wzrostu sektora, %
Energetyka słoneczna	16	33
Energetyka geotermiczna	12	12
Biomasa, w tym:	382	5
Plantacje energetyczne razem	135	42
Biopaliwa	59	21
Biogaz	98	30
Energetyka wodna	11	3
Energetyka wiatrowa	63	35
OZE ogółem	484	7

Celem strategicznym jest zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym kraju do ok. 15% w 2020 roku w strukturze zużycia pierwotnych nośników energii, zgodnie ze zobowiązaniami przyjętymi

przez Polskę w Brukseli, oraz zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> o ok. 29%. Emisja CO<sub>2</sub> w latach 2000–2004, po zainstalowaniu urządzeń OZE, zmniejszyła się o około 13 milionów ton, a w roku 2005 o około 5 milionów ton.

Analizując informacje dotyczące potencjału technicznego odnawialnych źródeł energii, a także prognozy dotyczące możliwości ich wykorzystania, cel, jaki postawiła Unia Europejska na 2020 rok, tj. 15 procentowy udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energii końcowej, w chwili obecnej wydaje się mało prawdopodobny. Strategia i plan działań w dziedzinie odnawialnych źródeł energii przedstawiony w Białej i Zielonej Księdze Europejskiej [191–196] wymusiły na wszystkich krajach członkowskich podejmowanie działań wspierających odnawialne źródła energii, takich jak: inwestowania w badania, zwolnienia podatkowe, gwarantowane ceny energii, subsydia inwestycyjne, itp. Komisja Europejska od ponad dziesięciu lat wspiera badania i rozwój odnawialnych źródeł energii w ramach kolejnych Ramowych Programów Badań i Rozwoju. W porównaniu z Unią Europejską, krajowy rozwój odnawialnych źródeł energii jest wspierany w znacznie mniejszym stopniu, a także napotyka bariery utrudniające jego rozwój [45, 47].

W Polsce stosowanie systemów wykorzystujących odnawialne źródła energii, jak na razie w wielu przypadkach nie znajduje bezpośredniego uzasadnienia ekonomicznego. Wieloletnia tradycja stosowania węgla, jako głównego paliwa ekonomicznego, otrzymywane w przeszłości dotacje do energetyki i niskie ceny tradycyjnych nośników energii znacznie utrudniały wprowadzenie energii ze źródeł odnawialnych.

W gospodarstwach domowych w ostatniej dekadzie stwierdzono wzrost zużycia energii rzędu 40%. Wynika to z rosnącej zasobności społeczeństwa, która wiąże się z zastosowaniem urządzeń, które kiedyś były trudno dostępne, a obecnie pojawiła się świadomość o możliwości ich zastosowania. Ustawodawstwo unijne i krajowe narzuca również wprowadzenie energooszczędnych procedur w instalacjach budynkowych. W związku z tym, że na oświetlenie zużywa się 14% energii elektrycznej wykorzystywanej w Unii Europejskiej i około 19% na całym świecie, wprowadzenie energooszczędnych rozwiązań w tym obszarze jest szczególnie istotne.

Zgodnie z ustaleniami, UE, która przyjęła za swój cel osiągnięcie 20% oszczędności energii pierwotnej w 2020 r. i uczyniła go jednym z pięciu głównych celów strategii „Europa 2020” na rzecz inteligentnego, trwałego wzrostu gospodarczego sprzyjającego włączeniu społecznemu, należy zintensyfikować działania związane z wdrażaniem energooszczędnych rozwiązań w gospodarce.

W związku z rosnącym importem energii do krajów UE po coraz wyższych cenach, dostęp do zasobów energetycznych będzie odgrywał w perspektywie średniookresowej istotniejszą rolę, co może prowadzić do ryzyka poważnego zagrożenia wzrostu gospodarczego UE. Jest to przyczyna, dla której efektywność energetyczna stanowi jeden z głównych aspektów inicjatywy przewodniej strategii „Europa 2020”: „Europa efektywnie korzystająca z zasobów”. Efektywność energetyczna jest najbardziej opłacalnym i najszybszym sposobem na zwiększenie bezpieczeństwa dostaw energii, a także skuteczną metodą na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych odpowiedzialnych za zmianę klimatu. W komunika-

cie Komisji „Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r.”[197] stwierdza się, że efektywność energetyczna może pomóc UE nie tylko w zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych, ale nawet w osiągnięciu rezultatów lepszych, niż zaplanowano.

Poprawa efektywności energetycznej gospodarki UE będzie miała także pozytywny wpływ na wzrost gospodarczy i tworzenie nowych miejsc pracy. Oszczędności energii umożliwiają uzyskanie środków finansowych, które można reinwestować w innych gałęziach gospodarki i które mogą pomóc w przyniesieniu ulgi, znajdującym się pod presją, budżetom publicznym. W przypadku osób fizycznych efektywność energetyczna przekłada się na płacenie mniejszych rachunków za energię. Podejmowanie środków poprawy efektywności energetycznej umożliwia strategiczne przeciwdziałanie ubóstwu energetycznemu. W ustawodawstwie unijnym ważne miejsce zajmuje tzw. zrównoważony rozwój. Zakłada on osiągnięcie maksymalnych korzyści z produkcji oraz zbiorów dla zaspokojenia potrzeb bieżących i przyszłych przy utrzymaniu potencjału biosfery, czyli jej zdolności produkcyjnej.

Zgodnie z założeniami ustawodawcy przy projektowaniu środków poprawy efektywności energetycznej należy uwzględnić korzyści i oszczędności wynikające z efektywności, uzyskane w wyniku powszechnego stosowania opłacalnych ekonomicznie innowacji technologicznych, np. inteligentnych liczników. Aby maksymalnie zwiększyć korzyści płynące z oszczędności dzięki wspomnianym innowacjom, odbiorcy końcowi powinni mieć możliwość wglądu we wskaźniki kosztów i zużycia oraz regularnie otrzymywać indywidualne rachunki wystawiane w oparciu o rzeczywiste zużycie.

Znaczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną połączony z jej wysoką ceną oraz rosnące wymagania odnośnie jakości wytwarzanych produktów, skłaniają do prowadzenia badań w poszukiwaniu nowych, bardziej wydajnych i oszczędnych dla środowiska naturalnego, technologii. Do stosowania energooszczędnych rozwiązań powinna przekonywać użytkowników nie tylko wysokość rachunków, ale przede wszystkim troska o naturę. Ograniczanie zużycia energii należy rozpatrywać w skali makro, czyli gospodarki energetycznej kraju oraz mikro, z poziomu gospodarstw domowych. Warto zainteresować się również coraz popularniejszym rozwiązaniem, jakim jest dom pasywny [14, 48]. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej technologii budowlanej do jego ogrzania potrzeba rocznie średnio 15 kWh/m<sup>2</sup> – to kilka razy mniej niż w tradycyjnych budynkach [14, 41, 49]. Zmniejszenie poboru energii w tym rozwiązaniu jest możliwe przede wszystkim dzięki odpowiedniej konstrukcji domu. Budynek taki ma zazwyczaj kształt sześcianu i prosty dach. Ogranicza to liczbę ścian zewnętrznych, co umożliwia zmniejszenie utraty ciepła. Dodatkowo dom pasywny charakteryzuje się odpowiednim ociepleniem, a także wykorzystaniem szczelnych okien z zewnętrznymi roletami i właściwego systemu wentylacji. Umożliwia to minimalizację strat ciepła, a także zużycia energii w czasie eksploatacji. Koszty ogrzewania można w ten sposób zmniejszyć nawet o 75–90 %.

Pomysł inteligentnego budynku i systemu zarządzania budynkiem sięga korzeniami sektora przemysłowego Stanów Zjednoczonych lat 70. i wywodzi się z systemów kontroli produkcji zautomatyzowanej i optymalizacji środowiska rozwoju roślin. W latach 80. nastąpiła stopniowa automatyzacja systemów kontroli dostępu, przeciwpożarowych oraz sterowania windami; rozpoczęto wówczas próby koordynacji działań pomiędzy elementami poszczególnych systemów. Technologie i rozwiązania, jakie zostały wymyślane w tej dziedzinie do końca 1980 roku, pozwoliły na konstruowanie systemów zarządzania budynkiem do zastosowań prywatnych, a przede wszystkim biurowych. Zmiany w konstrukcji budynków inteligentnych wynikały z elektronicznych udoskonaleń systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji oraz systemów oświetleniowych. Główną przyczyną tych zmian była konieczność ograniczenia zużycia energii oraz usprawnienie obsługi nowo powstających, coraz to większych biurowców. Miniaturyzacja elektroniki i wprowadzenie układów scalonych umożliwiło szybszą i dokładniejszą reakcję na zmienne warunki środowiska.

W dużych zakładach produkujących samoloty w procesach o wysokim stopniu automatyzacji i robotyzacji pojawiły się problemy zarządzania i sterowania halami produkcyjnymi, ich wyposażeniem i zmiennością funkcji. Dostosowanie pomieszczeń fabrycznych i biuro-projektowych do zmieniającej się dynamicznie produkcji wymagało olbrzymiego nakładu sił i środków. Coraz częściej obiekty te posiadały bardzo rozwiniętą infrastrukturę informatyczną i koszty ich eksploatacji zaczęły stanowić poważny udział w kosztach całego przedsięwzięcia produkcyjnego. Pojawiła się, zatem potrzeba szerszego spojrzenia na te zasoby jakimi są hale produkcyjne oraz pomieszczenia biurowo-projektowe. Szybko okazało się, że nie można przenieść wprost doświadczeń z zakresu automatyzacji i robotyzacji produkcji na te obiekty.

Koncepcja inteligentnego domu (smart building) polega na łączeniu w jednej sieci budynkowej wielu różnych urządzeń pracujących w gospodarstwie domowym oraz zapewnieniu możliwości łatwego sterowania nimi.

To bardzo obiecujący pod względem sprzedażowym segment rynku, lecz wciąż pełen wyzwań. Zróżnicowane pod względem technologicznym platformy smart wymagają jeszcze wypracowania standardów oraz współpracy producentów, dostawców, operatorów i kanału sprzedaży. Wówczas pojawiło się pojęcie inteligentnych systemów budynków (Intelligent Building Systems) nie do końca na początku rozumiane jednoznacznie, ale intuicyjnie chodziło o wykorzystanie metod i narzędzi informatycznych do optymalizacji eksploatacji tych obiektów w takim stopniu, aby działanie to wspierało procesy, jakie odbywają się w tych pomieszczeniach.

Możliwości rozwiązania powyższych problemów wydawały się oczywiste z uwagi na fakt niezwykle intensywnego rozwoju informatyki oraz powstałych nowych technologii realizacji budynków.

Systemy automatycznego sterowania budynków powinny posiadać struktury otwarte, które dadzą użytkownikowi końcowemu duże możliwości wyboru spośród wielu dostawców produkujących elementy użytkowanego systemu. Należy

przypuszczać, że nowoczesna technika uwolni użytkowników od wielu uciążliwych czynności, które muszą wykonywać każdego dnia, zapewni komfort, bezpieczeństwo, wygodę oraz w znaczący sposób pozwoli na ograniczenie kosztów związanych z eksploatacją i utrzymaniem budynków.

Monografia dotyczy tematyki związanej z energooszczędnymi instalacjami budynkowymi. Rozdział drugi dotyczy kontrolerów instalacji w budynkach oraz systemów pomiarowych.

Instalacją zautomatyzowanego budynku można zarządzać za pomocą dedykowanej bramki oraz aplikacji wykonanej za pomocą programu LabView przeznaczonego do programowania graficznego, które jest rodzajem programowania z użyciem interfejsów graficznych. Tworzenie podprogramów symulujących działanie urządzeń magistralnych systemu KNX/EIB wymaga oprócz znajomości tego systemu biegłości w posługiwaniu się środowiskiem LabView [50, 52–55].

W rozdziale trzecim opisano zastosowanie programowania graficznego w energooszczędnym budynku. Opisana została koncepcja i modele instalacji KNX/EIB umożliwiające badanie integracji w systemach automatyki budynkowej. Umożliwia to wykorzystanie środowiska LabView do sterowania i symulacji komponentów systemu magistralnego.

Poprawa efektywności energetycznej gospodarki jest jednym z głównych priorytetów UE. Z tematyką tą związane jest również zastosowanie energooszczędnych instalacji budynkowych. Poświęcony został temu rozdział czwarty. Opisano w nim Laboratorium Badawcze Energooszczędnych Systemów Budynkowych, które jest wynikiem wieloletniego zainteresowania Autora technologiami energooszczędnymi. Ważnym elementem każdego współczesnego, zautomatyzowanego budynku jest oprogramowanie będące podstawą działania urządzeń w nim występujących oraz wykorzystywane do wizualizacji instalacji.

Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu integracji instalacji inteligentnej z odnawialnym źródłem energii.

W rozdziale piątym omówiono zastosowanie energii odnawialnych w budownictwie, czynniki ograniczające wykorzystanie ich w budownictwie oraz perspektywy energetyki prosumenckiej.

Rozdział szósty poświęcony jest opracowanym przez Autora przykładom zastosowania energooszczędnych systemów zarządzania energią. Omówiono w nim, m.in. wykorzystanie inteligentnych instalacji w gospodarstwach agroturystycznych. Obecnie wiele uwagi poświęca się przystosowaniu obszarów wiejskich do realiów współczesnej gospodarki. Szczególnie wartościowe są próby integracji systemów fotowoltaicznych z działalnością rolniczą. Analiza roli inteligentnych instalacji w gospodarstwach agroturystycznych dotyczy tego obszaru badań. Na podstawie przeprowadzonych badań i symulacji przedstawiono zastosowanie inteligentnej instalacji i odnawialnych źródeł energii w agroturystyce.

Zaproponowano dwa rozwiązania związane z zastosowaniem instalacji inteligentnych w nawadnianiu przydomowych terenów zielonych, jedno autonomicz-



ne oparte o sterowniki programowalne PLC, drugie natomiast w zintegrowanym inteligentnym systemie KNX/EIB. Szczególnie ważna jest integracja systemu nawadniania z innymi instalacjami. Obiekt o charakterze rekreacyjnym jest kompleksem różnych budynków wyposażonych często w skomplikowane instalacje, które wymagają umiejętnego zarządzania energią, w celu ograniczenia wydatków z tym związanych oraz zapewniają optymalne zużycie wody oraz komfort użytkownika. Ponadto przyczyniają się do racjonalnego używania wody i związanej z tym ochrony środowiska naturalnego człowieka.

Kolejnym oryginalnym rozwiązaniem opracowanym przez Autora w Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych jest zastosowanie systemu magistralnego KNX/EIB w motoryzacji.

Połączenie niskoenergetycznych technologii budowlanych wraz z wykorzystaniem optymalnie źródeł energii odnawialnej pozwala uzyskać bardzo dobre parametry eksploatacyjne. Opracowano modele do badania integracji systemów fotowoltaicznych z napędami silnikowymi w zautomatyzowanym domu.

Prace badawcze związane z realizowaną tematyką przeprowadzono w Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych oraz w budynku Pracowni Usług Technicznych „Power” S.C. w Lublinie, z którą Autor od lat współpracuje.

Monografia posiada dwa cele – poznawczy i aplikacyjny.

Cel poznawczy osiągnięto poprzez udoskonalenie metodyki badania systemów automatyki budynkowej oraz poznanie wzajemnych interakcji między instalacjami wchodzącymi w skład rdzenia systemu zarządzania budynkiem.

Cel aplikacyjny to opracowane modele badawcze, które mogą być stosowane do symulacji działania różnych układów integracji urządzeń w ramach automatyki budynkowej.

Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych (LESB), które jest efektem wieloletniego zainteresowania Autora tematyką oszczędności energii, łączy te dwa cele. Przeprowadzane w nim symulacje przyczyniają się do rozwoju energetyki prosumenckiej i niskoenergetycznych technologii budowlanych.

Autor ma nadzieję, że zagadnienia przedstawione w pracy pozwolą na lepsze poznanie uwarunkowań technicznych i ekonomicznych istotnych w przypadku budynków niezależnych energetycznie.



## 2. Kontrolery instalacji w budynkach. Systemy pomiarowe

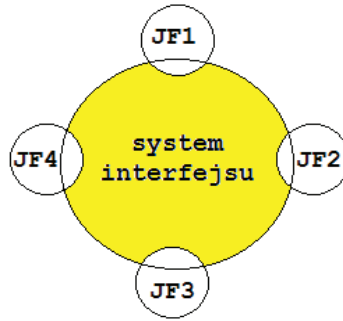
Najważniejszymi elementami systemów zarządzania energią w budynkach są kontrolery i systemy pomiarowe. Dynamiczny rozwój technik komputerowych w ostatnich latach, a w szczególności komputerów osobistych przyczynił się do szybkiego rozwoju budynkowych systemów kontrolno-pomiarowych.

Prace nad rozwojem komputerowych systemów pomiarowych rozpoczęto od prób przeniesienia funkcji kontrolno-sterujących oraz obróbki wyników do wydzielonego urządzenia zwanego kontrolerem. Jednymi z pierwszych kontrolerów systemów pomiarowych były kalkulatory programowalne firmy Hewlett-Packard (HP 9820 i HP 9830), w których wykorzystany został standard interfejsu IEC-625. Wraz z postępem technologii opracowano specjalizowane układy bardzo wielkiej skali integracji VLSI, umożliwiające proste sprzężenie kontrolerów systemów pomiarowych z aparaturą pomiarową (np. NEC7210). Można było już konstruować tak małe układy komunikacji przyrząd-system, że wbudowywano je bezpośrednio w przyrządy pomiarowe (wcześniej stanowiły one odrębne urządzenia). Popularność zaczęły zdobywać komputery osobiste PC. Ze względu na ich uniwersalność, elastyczność, otwartą architekturę, niski koszt, dostępność i duże możliwości (duża i szybka pamięć operacyjna i masowa, urządzenia peryferyjne, łatwa komunikacja z użytkownikiem za pomocą klawiatury i monitora, bogate oprogramowanie użytkowe i systemowe) postanowiono wykorzystać je jako jednostki sterujące, zapewniające prawidłowy obieg informacji w systemie pomiarowym i czasową koordynację pracy poszczególnych jego elementów. W związku z tym opracowano komputerową kartę kontrolera z układem interfejsu i odpowiednie oprogramowanie do niej, dając w ten sposób początek kompleksowym systemom pomiarowym sterowanym komputerowo. W komputerowym systemie pomiarowym poszczególne przyrządy pomiarowe połączone są z kontrolerem za pomocą systemu interfejsu (złożonego z pakietów interfejsu, zestawu połączeń między elementami systemu oraz zbioru procedur komunikacyjnych), organizującego wymianę informacji między elementami tego systemu (transmisja danych programujących, wyników pomiarów oraz instrukcji sterujących). Komputer jest podstawowym blokiem systemu, ale to interfejs jest elementem, wokół którego zbudowany jest system pomiarowy. Interfejs praktycznie przesądza o strukturze systemu oraz w dużym stopniu o jego możliwościach i ograniczeniach technicznych [56–69].

### 2.1. Interfejsy – funkcje, klasyfikacja

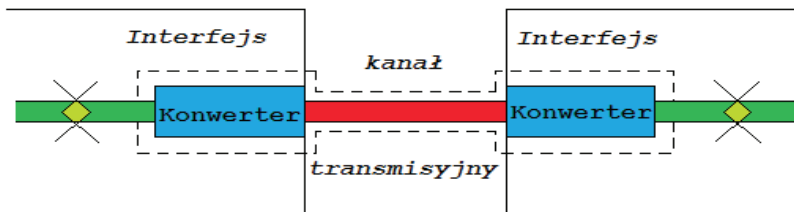
Interfejs można zdefiniować jako połączenie (układ pośredniczący) między rozważanym systemem a innym systemem lub częściami jakiegoś systemu, przez które przepływa informacja. Polska norma PN-83/T-0653 rozróżnia pojęcia **interfejsu** i **systemu interfejsu**.

**System interfejsu** definiowany jest w tej formie jako zbiór niezależnych urządzeń elementów mechanicznych, elektrycznych i funkcjonalnych koniecznych w procesie wymiany informacji między urządzeniami [68, 70, 71, 72].



Rys. 2.1. System interfejsu - JF<sub>1</sub>, JF<sub>2</sub>, JF<sub>3</sub>, JF<sub>4</sub> elementy interfejsu [67, 68, 73]

Typowymi elementami systemu interfejsu są: kable, złącza, nadajniki i odbiorniki linii, funkcje interfejsowe z opisem logicznym, linie sygnałowe, zależności czasowe oraz zasady sterowania. Należy wyraźnie podkreślić, że system interfejsu nie sprowadza się jedynie do fizycznej warstwy (jak np. kable i złącza), ale obejmuje ogół środków zapewniających dopasowanie mechaniczne, elektryczne i informacyjne oraz ustalających funkcjonalne relacje między fizycznie odrębnymi częściami systemu, a także organizujących wymianę informacji między nimi. Wymiana danych między elementami systemu odbywa się przez kanał transmisyjny, którego specyficzne właściwości zależą od fizycznej formy tego kanału (np. przewód, światłowód, fale radiowe). Wymusza to konieczność użycia konwerterów między elementem systemu a kanałem transmisyjnym.



Rys. 2.2. Przykład łączenia interfejsów [67, 68, 73]

Na problem łączenia elementów systemu można spojrzeć nieco szerzej. Strukturę wszystkich interfejsów w systemie można traktować jako pewien system komunikacyjny, służący do wymiany danych między częściami systemu pomiarowego, które w tym układzie są poza systemem komunikacyjnym. Zatem w tym podejściu, interfejs stanowi wydzielony system komunikacyjny, jest (podsystem systemu pomiarowego), zwany wówczas siecią (z ang. network).

Równoległe z rozwojem techniki komputerowej dynamicznie rozwijała się technika pomiarowa. Na rynku zaczęło się pojawiać coraz więcej urządzeń mogących się komunikować z komputerem. Powstał, więc problem zapewnienia możliwości współpracy urządzeń wyprodukowanych przez różnych producentów. Konieczne stało się wprowadzenie standardów połączeń, które pozwoliłyby na budowanie do-

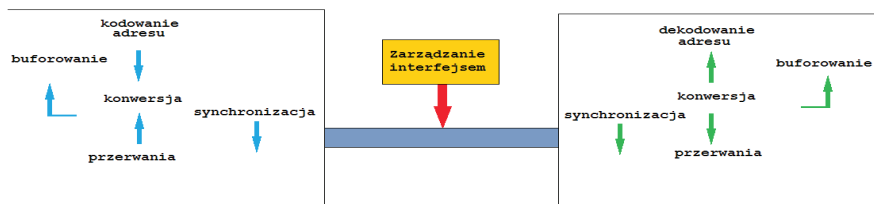
wolnie złożonych systemów pomiarowych. W takich systemach poszczególne przyrządy są połączone z jednostką sterującą (kontrolerem systemu) za pomocą systemu interfejsu (układu organizującego komunikację). Umożliwia on realizację złożonych zadań pomiarowych przez koordynację i sterowanie pracą dołączonych urządzeń oraz zapewnienie wymiany danych między nimi. Powstało kilkanaście standardów interfejsów, które znalazły zastosowanie w systemach pomiarowych, m.in.: RS-232C, RS-422, RS-485, CAMAC, IEC-625 (IEEE-488), a w ostatnich latach również VXI.

Największą popularność zdobył opracowany w 1978 r. interfejs IEEE-488 (europejska wersja tego interfejsu nosi nazwę IEC-625). Główny obszar zastosowań tego standardu stanowią systemy badawcze i laboratoryjne, a także wybrane systemy przemysłowe. Interfejs ten umożliwia łączenie przyrządów pomiarowych, sterujących i pomocniczych z komputerem nadzorującym pracę systemu. Oferta urządzeń z interfejsem IEC-625 jest bardzo szeroka. Obejmuje ona zarówno powszechnie stosowane przyrządy pomiarowe (z wyjątkiem najtańszych, wyposażonych zwykle w interfejs RS-232), jak i specjalizowane urządzenia kontrolno-pomiarowe (np. wysokiej klasy odbiorniki radiokomunikacyjne, sterowniki anten itp.). Każde z tych urządzeń może pracować również jako samodzielne urządzenie obsługiwane z płyty czołowej. Szeroka jest także gama komputerów sterujących systemami IEC-625, poczynając od komputerów osobistych, takich jak: IBM PC czy Macintosh, a kończąc na stacjach roboczych: Sun, NeXT, Apollo, IBM, DEC.

**Interfejsy szeregowe** (np. RS-232, RS-485) stosowane są w prostych systemach pomiarowych składających się z kontrolera i przyrządu, jak również w rozproszonych systemach pomiarowych (szczególnie z czujnikami inteligentnymi), w których istnieje konieczność przesyłania danych na większe odległości. Zaletą systemów z interfejsami szeregowymi jest ich niski koszt, wadą - mała prędkość transmisji danych.

Najbardziej zaawansowanym technicznie jest standard interfejsu VXI. Standard ten (podobnie jak wycofywany z użycia CAMAC) jest przeznaczony do stosowania w modułowych systemach kontrolno-pomiarowych, w których bloki funkcjonalne realizowane są w postaci modułów wsuwanych do standardowej obudowy. Moduły te nie mogą pracować poza systemem. Systemy VXI zapewniają dużą szybkość działania, są jednak bardzo kosztowne. Stąd też zastosowania ich ograniczają się do tych obszarów, w których kluczowym problemem jest bardzo duża szybkość działania całego systemu lub konieczność transmisji i przetwarzania znacznej liczby danych. Obszary takie znajdują się zarówno w badaniach naukowych (np. badania bardzo szybkich przetworników), jak również w przemyśle (np. kontrola działania elektroniki jądrowych, nadzorowanie lotu samolotów wojskowych, nadzór nad złożonymi urządzeniami diagnostyki medycznej).

Prawidłowa realizacja wymiany informacji między elementami systemu za pośrednictwem ich interfejsów wymaga określenia funkcji interfejsu. Im system interfejsu jest bardziej złożony, tym zbiór tych funkcji jest obszerniejszy. Ogólny schemat funkcji interfejsu pokazano symbolicznie na Rys. 2.3, na przykładzie połączeń dwóch jednostek.



Rys. 2.3. Funkcje interfejsu [67, 74]

Przedstawione na rysunku 2.3 funkcje mają na celu:

- Funkcja konwersji dostosowuje typ danych w jednostce do typu danych stosowanego w kanale transmisyjnym, a przede wszystkim dopasowuje poziomy logiczne, kody i formaty wszystkich informacji przesyłanych przez jednostki w systemie poprzez interfejs.
- Funkcja kodowania i dekodowania adresu jest potrzebna w wieloelementowym systemie interfejsu do zapewnienia właściwego adresowania wszystkich sygnałów informacyjnych i organizacyjnych.
- Funkcja synchronizacji zapewnia wymaganą synchronizację transmisji danych (z ang. timing) między jednostkami, uwzględniając ewentualne nieregularne lub przypadkowe opóźnienia w kanale transmisyjnym.
- Funkcja przerwania pozwala na zatrzymanie normalnej komunikacji, aby umożliwić przesłanie specjalnych komunikatów (np. komunikatów zarządzania interfejsem) przez kanał transmisyjny.
- Funkcja buforowania może być konieczna, gdy interfejs nie jest w stanie odbierać danych w sposób ciągły lub, gdy kanał transmisyjny nie jest zawsze zdolny do transmisji danych w momentach, w których oczekuje tego odbiorca danych.
- Funkcja zarządzania interfejsem jest potrzebna w rozbudowanych złożonych systemach interfejsu do zapewnienia właściwego funkcjonowania komunikacji w systemie. Operacje realizowane przez tę funkcję to np.: inicjacja interfejsu, obsługa przerwania, zabezpieczenia przed przeciążeniem kanału transmisyjnego itp.
- Funkcja korekcji błędów pozwala na korekcje błędów danych spowodowanych przez sam kanał transmisyjny.

Opis konkretnego interfejsu zawiera nie tylko opis jego struktury topologicznej (tzn. zespołu cech decydujących o konfiguracji systemu pomiarowego realizowanego przy wykorzystaniu danego interfejsu) *funkcji interfejsu*, ale również opis fizycznej natury (warstwy), właściwości sygnałów oraz protokołu komunikacyjnego.

Łączenie elementów w system może być związane z koniecznością przewyższenia wielu trudności wynikających z różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych przez wytwórców przyrządów czy modułów pomiarowych. Wszystkie urządzenia wybrane do realizacji systemu pomiarowego na dowolnym poziomie złożoności muszą spełniać warunki zgodności metrologicznej, konstrukcyjnej, informacyjnej itp. Dotyczy to zarówno rozbudowanego systemu pomiarowego z komputerem jako kontrolerem, jak i czujnika inteligentnego, będącego również systemem pomiarowym, tyle, że re-

alizowanym inną technologią niż poprzedni i z innym kontrolerem (np. mikrokontrolerem).

Stopień wymaganej kompatybilności zależy od wielu czynników. Podstawowe wymagania dotyczą:

- zgodności mechanicznej i konstrukcyjnej gniazd przyłączeniowych i rozmieszczenia sygnałów w gnieździe,
- zgodności parametrów elektrycznych poszczególnych sygnałów,
- zgodności stosowanych kodów i protokołów komunikacyjnych,
- zgodności metod transmisji danych.

Wiele firm produkujących aparaturę pomiarową i urządzenia komputerowe podejmuje próby standaryzacji interfejsów pomiarowych, oferując jednocześnie bogatą gamę urządzeń wyposażonych w jednolity system interfejsu [185–188]. Niektóre z tych propozycji uzyskują akceptację szerokiej grupy znaczących w świecie producentów sprzętu pomiarowo-kontrolnego, stając się początkowo nieoficjalnym standardem, a po akceptacji międzynarodowych organizacji normalizacyjnych (np. IEC, IEEE) uzyskują rangę standardów światowych. W ten sposób powstał m.in. standard IEC-625. Na podstawie zaleceń międzynarodowych tworzone są normy krajowe przez organizacje narodowe (np. PN-83/T-06536 opisująca standard IEC-625). Przyjęcie standardowego interfejsu zapewnia możliwość szybkiego zestawiania systemu pomiarowego z bloków produkowanych przez różne firmy, co znacznie obniża koszty realizacji systemu. Spowodowało to, że obecnie w zdecydowanej większości projektowanych systemów pomiarowych korzysta się ze standardowych interfejsów. W dalszej części rozważane będą jedynie interfejsy standardowe stosowane w systemach pomiarowych.

Klasyfikacja interfejsów ściśle zależy od przyjętych kryteriów. Brak dominującego kryterium podziału interfejsów. Rozważmy, zatem, najczęściej spotykane [75].

We współczesnych systemach pomiarowych można wyróżnić następujące warstwy:

- A. Warstwa sieci zarządzającej grupą systemów.
- B. Warstwa sterownika (kontrolera) systemu.
- C. Warstwa przyrządów (bloków) pomiarowych.
- D. Warstwa modułów funkcjonalnych.

Poszczególne warstwy współpracują ze sobą zgodnie z zasadami hierarchicznego sterowania, tzn. warstwa wyższa zarządza elementami warstwy niższej.

- Warstwa A jest nadrzędną w stosunku do pojedynczego systemu pomiarowego. Typową funkcją tej warstwy jest - oprócz zarządzania grupą systemów - analiza danych odbieranych z systemów pomiarowych do celów monitorowania i sterowania całym nadzorowanym procesem (np. procesem produkcyjnym). Do sterowania tą warstwą wykorzystywane są zwykle rozbudowane komputery z najnowszymi typami procesorów (np. stacje robocze). Pracują one zwykle w instalacjach sieciowych pod kontrolą wielodostępnych i wielozadaniowych systemów operacyjnych klasy UNIX. Zatem na poziomie warstwy A można mówić o interfejsach sieciowych; problemy tu występujące są typowe dla komunikacji, dlatego też nie będą one omawiane.



- Warstwa B jest najwyższą dla pojedynczego systemu pomiarowego. Sterownik tej warstwy bezpośrednio zarządza urządzeniami miarowymi (przysiędami lub kasetami pomiarowymi) za pośrednictwem interfejsu. Interfejsy na poziomie tej warstwy można nazwać przysiędowymi (np. IEC-625) lub kasetowymi (np. CAMAC).
- Warstwy C i D są obecnie domeną kontrolerów mikroukładowych, jak: mikroprocesory (głównie jednoukładowe) i mikrokontrolery (czyli pojedyncze układy scalone, stanowiące kompletny stałoprogramowy system komputerowy). Mikrokontrolery zorientowane pomiarowo mają ponadto wbudowane przetworniki A/C, C/A, komutatory analogowe i inne typowo pomiarowe bloki funkcjonalne. W interfejsach tej warstwy wykorzystuje się często magistralę mikroprocesorową, dlatego też można mówić o interfejsach mikroprocesorowych.

Drugą grupę stosowanych interfejsów można nazwać mikrointerfejsami. Są to specjalne interfejsy służące do łączenia mikrokontrolera ze scalonymi blokami funkcjonalnymi, traktowanymi jako zewnętrzne mikroukłady pomiarowe. Jednym z takich interfejsów jest szeregowy interfejs synchroniczny określany w skrócie SMI (ang. Serial Micro-Interface). Operowanie pojęciem mikrointerfejsu jest szczególnie istotne na poziomie warstwy D.

Podsumowując, przy przyjęciu jako kryterium podziału interfejsów warstwę organizacyjną systemu można mówić o:

- interfejsach sieciowych,
- interfejsach przysiędowych,
- interfejsach kasetowych,
- interfejsach mikroprocesorowych,
- mikrointerfejsach.

Kryterium zasięgu (czyli dopuszczalna długość połączeń wszystkich bloków systemu) pozwala na wyodrębnienie grupy interfejsów o podobnych właściwościach. Można, bowiem zauważyć wyraźną zależność między zasięgiem interfejsu a szybkością transmisji, odpornością na zakłócenia i złożonością konstrukcyjną interfejsu.

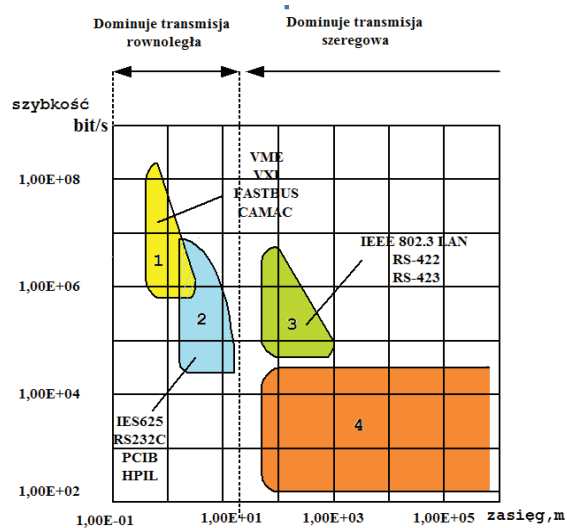
Interfejsy o małym zasięgu są zwykle bardzo rozbudowane. Wykorzystuje się w nich transmisję równoległą długich słów (obejmujących nie tylko dane, ale np. rozkazy), co zapewnia dużą szybkość transmisji informacji (dziesiątki MB/s). W interfejsach o średnim zasięgu przesyłana informacja dzielona jest na 8-bitowe słowa (bajty); bity każdego bajtu przesyłane są równolegle, bajty – kolejno jeden po drugim. Jest to, więc transmisja szeregowo-równoległa, tańsza od poprzedniej, ale odpowiednio wolniejsza (setki kB/s). W interfejsach o dużym zasięgu dominuje transmisja szeregowo realizowana na możliwie prostym kanale transmisyjnym (np. kabel dwużyłowy). Szybkość transmisji informacji jest tu niewielka (dziesiątki kB/s); zależy ona od nośnika fizycznego i odległości między nadajnikiem a odbiornikiem.

Przy bardzo dużych odległościach wykorzystuje się sygnały modulowane oraz specjalne metody kodowania i korekcji błędów transmisji.



Przyjmując zasięg jako kryterium podziału interfejsów, można wyróżnić następujące grupy:

- interfejsy o małym zasięgu (kasetowe) – do 1 m,
- interfejsy o średnim zasięgu (przyrządowe) – do kilkunastu m,
- interfejsy dużego zasięgu (lokalne sieci komputerowe) – do ok. 1000 m,
- interfejsy bardzo dużego zasięgu (łącza telekomunikacyjne).



Rys. 2.4. Położenie różnych systemów interfejsu na płaszczyźnie zasięg-szybkość: 1 – interfejsy kasetowe; 2 – interfejsy przyrządowe; 3 – lokalne sieci komputerowe; 4 – łącza telekomunikacyjne [67, 74]

Wspomniane w poprzednim punkcie mikrointerfejsy można by określić jako interfejsy o bardzo małym zasięgu.

Interfejsy ze względu na rodzaj sygnału w kanale transmisyjnym można podzielić na:

- interfejsy typu „off-line”,
- interfejsy analogowe,
- interfejsy cyfrowe szeregowo,
- interfejsy cyfrowe równoległe,
- interfejsy cyfrowe szeregowo-równoległe.

Najprostszym interfejsem można nazwać **interfejs typu „off-line”**, w którym elementy systemu nie są połączone bezpośrednio kanałem informacyjnym, a informacja umieszczona na nośniku stałym (np. kartka papieru z wynikami pomiaru czy dyskietka) przenoszona jest między elementami systemu przez operatora lub użytkownika.

**Interfejsy analogowe** transmitują sygnały analogowe, w których użyteczna informacja zawarta jest w amplitudzie (napięcia, prądu) lub w czasie (np. czas trwania impulsu czy częstotliwość sygnału). Transmisja najczęściej odbywa się między dwoma elementami systemu (ang. point-to-point). Ponadto, transmisja danych może odbywać się między różnymi elementami systemu z podziałem czasowym lub częstotliwościowym.

Transmisja z podziałem czasowym pozwala każdemu nadawcy zajmować kanał transmisyjny na ściśle określony czas w regularnych sekwencjach czasowych. Analogowe interfejsy niewykorzystujące przedstawionej możliwości przekazywania jednym kanałem informacji od różnych nadawców wymagają na ogół znacznej liczby kabli transmisyjnych (przewodów), np. w instalacjach chemicznych długość przewodów sięga kilometrów, w samolotach waga miedzianych kabli staje się znacząca. W tych przypadkach zwielokrotnienie kanałów transmisyjnych w torze transmisyjnym jest trudne z powodu rozproszonego umiejscowienia wszystkich nadawców informacji. Również koszt dodatkowych modulatorów i demodulatorów, które odpowiednio przetwarzają sygnały pomiarowe, może nie uzasadniać konieczności ich użycia.

Analogowe interfejsy zwykle realizują tylko kilka funkcji interfejsu ze zbioru podstawowego. Funkcja konwersji dostosowuje oryginalny sygnał pomiarowy (np. ciśnienie, temperatura) do postaci standardowej, jaką najczęściej jest sygnał napięciowy lub prądowy. Transmisja z podziałem częstotliwościowym wymaga modulatorów. Przy transmisji z podziałem czasowym konieczna jest synchronizacja między odpowiednimi przełącznikami u nadawców i odbiorców sygnałów [67].

Ze względu na trudności związane z łączeniem analogowych interfejsów w sieci, panuje obecnie tendencja do zamiany sygnału analogowego na cyfrowy przy samym źródle sygnału pomiarowego, tzn. bezpośrednio przy czujniku pomiarowym, aby możliwa była transmisja i sygnału cyfrowego. W interfejsach cyfrowych wykorzystuje się kodowane, binarne sygnały.

**Cyfrowe interfejsy szeregowo** transmitują dane kodowane bit po bicie (jak np. w telegrafach czy teleksach). Powszechnie wykorzystywany jest szeregowy interfejs RS-232 do komunikacji między komputerem a urządzeniami peryferyjnymi. Interfejsy szeregowo stosuje się również w systemach pomiarowych, a szczególnie w systemach rozproszonych. Wymagają one tylko dwóch przewodów do sprzęgania urządzeń w system, co znacznie zmniejsza koszt realizacji takiego systemu Są wyjątkowo odpowiednie do transmisji cyfrowych danych z czujników pomiarowych. Liczba czujników w systemie może być znaczna, a ponadto mogą one być szeroko rozłożone terytorialnie, co pociąga za sobą konieczność prowadzenia długich kabli. W takiej sytuacji im mniej liczna jest magistrala systemu, tym mniejszy jest koszt systemu. Inne wykorzystanie interfejsu szeregowo w mieszanej analogowo-cyfrowej postaci polega na zamianie sygnału napięciowego z czujnika na ekwiwalentną postać częstotliwościową (przetwornik napięciowo-częstotliwościowy i wysłaniu tego binarnego, ale nie kodowanego, sygnału poprzez dwuprzewodowy interfejs. W celu zwiększenia szybkości transmisji danych możliwe jest wykorzystanie współosiowego kabla koncentrycznego. W środowisku narażonym na silne zakłócenia elektryczne wskazane jest użycie kabli światłowodowych. W miejsce przewodów może być zastosowane radiowe połączenie jako forma kanału transmisyjnego, np. w komunikacji przez satelitę.

**Cyfrowe interfejsy równoległe** transmitują bity słowa równoległe, stąd konieczność zwielokrotnienia linii sygnałowych w interfejsie. Wymagana jest oddzielna linia na każdy bit słowa danych, a ponadto dodatkowe linie na synchronizację i specjalne funkcje, jak adresowanie. Wszystkie te informacje transmitowane są jednocześnie (łącznie,

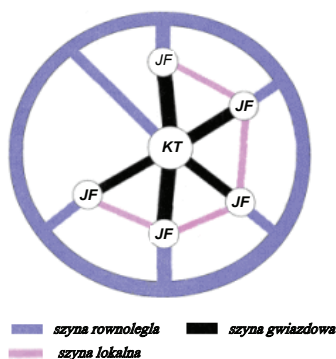
w jednej chwili). Prowadzi to do znacznej rozbudowy magistrali systemowej i w konsekwencji kable interfejsu osiągają sporą grubość. W systemach pomiarowych interfejsy równoległe są najczęściej stosowane w systemach modułowych, gdzie odległości między modułami umieszczonymi w zwartej kasecie są bardzo małe, a łączna długość przewodów magistrali jest niewielka mimo znacznej liczby linii w magistrali. Cyfrowe interfejsy równoległe stosowane są w systemach wymagających znacznej szybkości działania (np. CAMAC, VME).

Pewną odmianą interfejsów równoległych są interfejsy szeregowo-równoległe, w których pojedyncze znaki (np. cyfry, litery, adresy, rozkazy) przesyłane są znak po znaku (czyli szeregowo), a bity danego znaku – równocześnie (czyli równoległe). Przykładem takiego interfejsu jest IEC-625.

Magistrala systemu interfejsu jest to droga komunikacyjna między jednostkami systemu, którą stanowi jedna lub wiele linii sygnałowych systemu interfejsu, służących do przekazywania komunikatów.

Strukturę ogólną magistrali przedstawiono na rysunku 2.5. Magistrala może zawierać następujące typy szyn danych:

- szyny równoległe,
- szyny gwiazdowe,
- szyny lokalne.



Rys. 2.5. Struktura magistrali [67]

Zwykle magistrala składa się ze zbioru szyn. Szyną magistrali można nazwać podzbiór linii magistrali za pomocą, których odbywa się przesyłanie określonego rodzaju informacji (np. danych). W najprostszym przypadku szyna może składać się z jednej linii; wówczas na ogół nazywa się ją linią interfejsu. Czasami szyny zwane są również magistralami. Celowe jest operowanie pojęciem szyny dla zaznaczenia niższego poziomu organizacyjnego szyny w stosunku do magistrali. Szyna może być jednokierunkowa lub dwukierunkowa. Jednokierunkową szyną informacje przesyłane są zawsze w jednym kierunku (np. od kontrolera do jednostki systemu). Szyną dwukierunkową mogą być przesyłane informacje w obu kierunkach, przy czym o aktualnym kierunku transmisji decyduje na ogół kontroler systemu [67].

Szyny można podzielić na:

- niemultiplikowane,
- multiplikowane.

**Szyną niemultiplikowaną** przesyłane są zawsze informacje jednego rodzaju (np. dane). Są wielofunkcyjne, mogą być nimi przesyłane informacje różnego rodzaju (np. dane, adresy, rozkazy). Rodzaj aktualnie przesyłanych danych określony jest za pomocą dodatkowych linii lub zakodowany w samych danych.

**Szyna równoległa** jest to grupa linii sygnałowych w układzie liniowym (inaczej: magistralowym, równoległym). Każda z jednostek systemu połączona jest bezpośrednio ze wszystkimi liniami szyny równoległej.

**Szyna gwiazdowa** jest to grupa linii sygnałowych w układzie gwiazdy z jednostką centralną (np. kontrolerem) jako „jądrem” szyny. Każda jednostka systemu połączona jest z grupą linii (lub z jedną linią) szyny gwiazdowej, przy czym zbiory linii dołączonych do poszczególnych jednostek są rozłączne.

**Szyna lokalna** jest to grupa linii sygnałowych łączących tylko dwie sąsiednie jednostki systemu.

Poszczególne standardy interfejsów mogą być wyposażone we wszystkie wymienione typy szyn lub w ich podzbiór.

W magistrali mogą występować następujące główne grupy szyn:

- szyny danych,
- szyny adresowe,
- szyny rozkazów,
- szyny zarządzania (sterowania),
- szyny zasilania.

**Szyna danych** służy do przesyłania: tekstów programujących pracę jednostek systemu, wyników pomiarów lub słów stanu jednostek (np. bajt statusu urządzenia). Liczba linii w szynie danych wynosi od 1 (przy transmisji szeregowej) do wielokrotności 8 bitów (najczęściej 8, 16, 24, 32, 64 bity).

**Szyna adresowa** wykorzystywana jest przez kontroler systemu do tworzenia konfiguracji jednostek w celu przeprowadzenia transmisji danych. Konfiguracja ta realizowana jest przez adresowanie jednostek do nadawania lub odbioru, inaczej mówiąc – przez wysyłanie adresów. Adresem można nazwać cechę identyfikującą jednostkę funkcjonalną systemu (całe urządzenie lub jego część). Nadajnikiem jest urządzenie lub jego część (jednostka funkcjonalna), które wysyła na magistralę interfejsu komunikaty urządzenia. Odbiorcą jest urządzenie (lub jego część), które odbiera komunikaty urządzeń przesyłane magistralą interfejsową. Szyna adresowa może być typu równoległego lub gwiazdowego. W pierwszym przypadku adresem jednostki jest słowo (czasem dwa słowa) wielolinio-we (dla każdej jednostki inne). Adresowanie polega na wysłaniu adresu na magistralę. Wszystkie jednostki dołączone do magistrali odczytują adres. Do stanu zaadresowania przechodzi ta, która identyfikuje się z tym adresem, tzn. stwierdzi zgodność adresu ustawionego na magistrali z adresem przyporządkowanym jej przez operatora przed uruchomieniem systemu. W drugim przypadku, każda jednostka ma swoją indywidualną

linię adresową dołączoną do kontrolera systemu. Adresowanie polega na ustawieniu przez kontroler stanu aktywnego na linii odpowiadającej danej jednostce.

**Szyna rozkazów** służy do przesyłania komunikatów jedno- lub wieloliniowych (tzw. rozkazów), wykorzystywanych do zarządzania systemem interfejsu (komunikaty interfejsu) lub do wywołania konkretnego zachowania się jednostki, do której komunikat urządzenia został wysłany. Rozkazy można podzielić na uniwersalne (wykonywane przez wszystkie jednostki niezależnie od stanu zaadresowania) i adresowane (wykonywane tylko przez te jednostki, które zostały odpowiednio zaadresowane do odbioru).

**Szyny zarządzania** służą do zapewnienia odpowiedniej koordynacji działania wszystkich jednostek funkcjonalnych systemu. W systemie pomiarowym istnieje wielka różnorodność szyn zarządzania. Mogą być one typu magistratowego (najczęściej) lub gwiazdowego, ponadto jedno- lub wieloliniowe. Wśród nich można wymienić kilka najważniejszych. Są to szyny zerowania, synchronizacji, impulsów zegarowych, wyzwiania sterowania transmisją („handshake”), przerwań, arbitrażu. Liczba linii szyn i sposób ich wykorzystania zależy ściśle od danego standardu interfejsu, dlatego trudno w tym miejscu o jakiegokolwiek ogólne ich omówienie.

**Szyny zasilania** służą do doprowadzenia napięć zasilających podstawowe i pomocnicze jednostki systemu. Szyny te są zwykle stosowane w interfejsach systemów modułowych. Wszystkie przedstawione szyny magistrali interfejsu występują w całości lub w podzbiorach w poszczególnych standardach interfejsów. Ponadto część szyn może być łączona w jedną szynę multiplikowaną.

Współczesny eksperyment fizyczny wykonywany jest najczęściej przy komputerowym wspomaganii. Dotyczy to zarówno eksperymentów wykonywanych w pracowniach naukowych jak też i w laboratoriach studenckich czy nawet szkolnych. Podczas eksperymentu komputer może pełnić dwie główne funkcje: urządzenia do akwizycji danych pomiarowych i/albo sterowania pomiarową aparaturą. Te dwa procesy odbywają się w czasie rzeczywistym, stąd mamy określone wymagania w stosunku do komputera i wykorzystywanego oprogramowania pod względem szybkości działania. Aparatura pomiarowa może być podłączana bezpośrednio do komputera sterującego eksperymentem, lub może znajdować się w dużej odległości od niego. Dobrym przykładem jest sterowanie urządzeń w kosmosie – jak jest to realizowane w przypadku teleskopu Hubble’a, gdzie całe urządzenie pomiarowe znajduje się na orbicie ziemskiej, daleko od centrum sterowania. Ten przypadek zdalnego sterowania przez komputer nabiera coraz większej wagi w miarę rozwoju globalnych sieci komputerowych, takich jak Internet. Istotna jest szybkość działania programu oraz czas, który trzeba poświęcić na oprogramowanie eksperymentu. Te warunki są najczęściej sprzeczne, bo jak wiadomo, najszybszymi są programy napisane w języku assemblera konkretnego procesora (co wymaga dużych nakładów czasowych), a najszybciej pisze się programy w językach wysokiego poziomu, wykorzystujące specjalistyczne biblioteki i funkcje zaawansowanych systemów operacyjnych (z definicji programy te wykonywane są wolniej niż assemblerowe). Z dylematem tym wiąże się występowanie bardzo szerokiej oferty na rynku oprogramowania [66–69].

## 2.2. Systemy pomiarowe

### Klasyfikacja systemów pomiarowych

Istotnym elementem systemu pomiarowego jest jego oprogramowanie. Klasyczny sposób projektowania systemów pomiarowych polega na samodzielnym opracowywaniu od podstaw programu sterującego przy wykorzystaniu do tego języków wysokiego poziomu, np.: C, Pascal, Basic, wzbogaconych o zestaw poleceń do komunikacji z kontrolerem umożliwiających w prosty sposób wysyłanie i odbiór informacji od urządzeń. Stopień trudności i przejrzystość pisanego programu zależą od tego, na jakim poziomie są dostępne dla programisty instrukcje kontrolera i jak są one udokumentowane. Podobnie jest z tekstami programującymi przyrządy pomiarowe. Konkretna realizacja zależy, zatem od użytego kontrolera i przyrządów.

Dużym krokiem w kierunku ujednoczenia i uproszczenia procesu projektowania oraz uruchamiania systemów pomiarowych było ustalenie przez największych światowych producentów aparatury pomiarowej przemysłowego standardu, określającego metody programowania przyrządów pomiarowych. W ten sposób powstał standard instrukcji programujących pracę przyrządów pomiarowych o nazwie SCPI (ang. Standard Commands for Programmable Instruments). Definiuje on zestaw instrukcji, które niezależnie od rodzaju, czy modelu przyrządu, pozwalają na pełne zaprogramowanie jego pracy, uzależniając sposób programowania jedynie od realizowanego zadania pomiarowego. Ze względu na to, że SCPI stanowi standard instrukcji uniwersalnych, może być używany w pracy nie tylko z systemem interfejsu w standardzie IEEE-488, ale także innymi, jak: RS-232C czy VXI.

Kolejnym krokiem ułatwiającym projektowanie oprogramowania systemów pomiarowych było powstanie tzw. zintegrowanych środowisk programowych, zawierających rozbudowane mechanizmy wspomagania projektowania, z wykorzystaniem komputerów CAD [66–69].

### Komputer jako narzędzie wspomagania projektowania systemów pomiarowych

Typowe środki komputerowego wspomagania działań inżynierskich związanych z projektowaniem aparatury pomiarowej dotyczą głównie projektowania i analizy układów, projektowania płytek drukowanych oraz projektowania układów specjalizowanych (np. typu ASIC) [70, 76, 77].

Znaczna moc obliczeniowa powszechnie dostępnych i stosunkowo tanich komputerów typu IBM PC umożliwiła w ostatnich latach opracowanie bardzo rozbudowanych środowisk programowych do komputerowego wspomagania projektowania systemów pomiarowych (np. LabView, LabWindows, HP-VEE, TestPoint, LabTech), radykalnie zmieniających podejście do procesu projektowania systemów. Środowiska te mają bardzo silne mechanizmy wspomagania projektowania z wykorzystaniem potężnie rozbudowanego graficznego interfejsu z użytkownikiem (grafika „pomiarowa”).



Podstawowe cechy tych środowisk są następujące:

- interakcyjność procesu tworzenia oprogramowania użytkowego,
- możliwość tworzenia na ekranie i wkomponowywania w oprogramowanie paneli sterujących sprzętem pomiarowym (łącznie z panelami przyrządów „wirtualnych”),
- możliwość generowania programu przez wywoływanie paneli funkcyjnych (np. LabWindows) lub przez rysowanie schematu blokowego kodującego algorytm działania systemu pomiarowego w postaci graficznej (np. LabTech, HP-VEE),
- bogate biblioteki (m.in. sterowników przyrządów, dostępu do interfejsów pomiarowych, analiz sygnałów pomiarowych).

Przedstawione właściwości środowisk programowych wyznaczają kierunek rozwoju komputerowego wspomagania działań projektowych w zakresie automatyzacji pomiarów. Struktura i organizacja systemów pomiarowych zależne są od przeznaczenia, sposobu i szybkości przetwarzania informacji pomiarowej, sposobu oddziaływania systemu na obiekt lub proces itp. Przybliżenie problemów struktury i organizacji systemów pomiarowych przedstawione będzie po dokonaniu podziału systemów, z uwzględnieniem różnych kryteriów klasyfikacji.

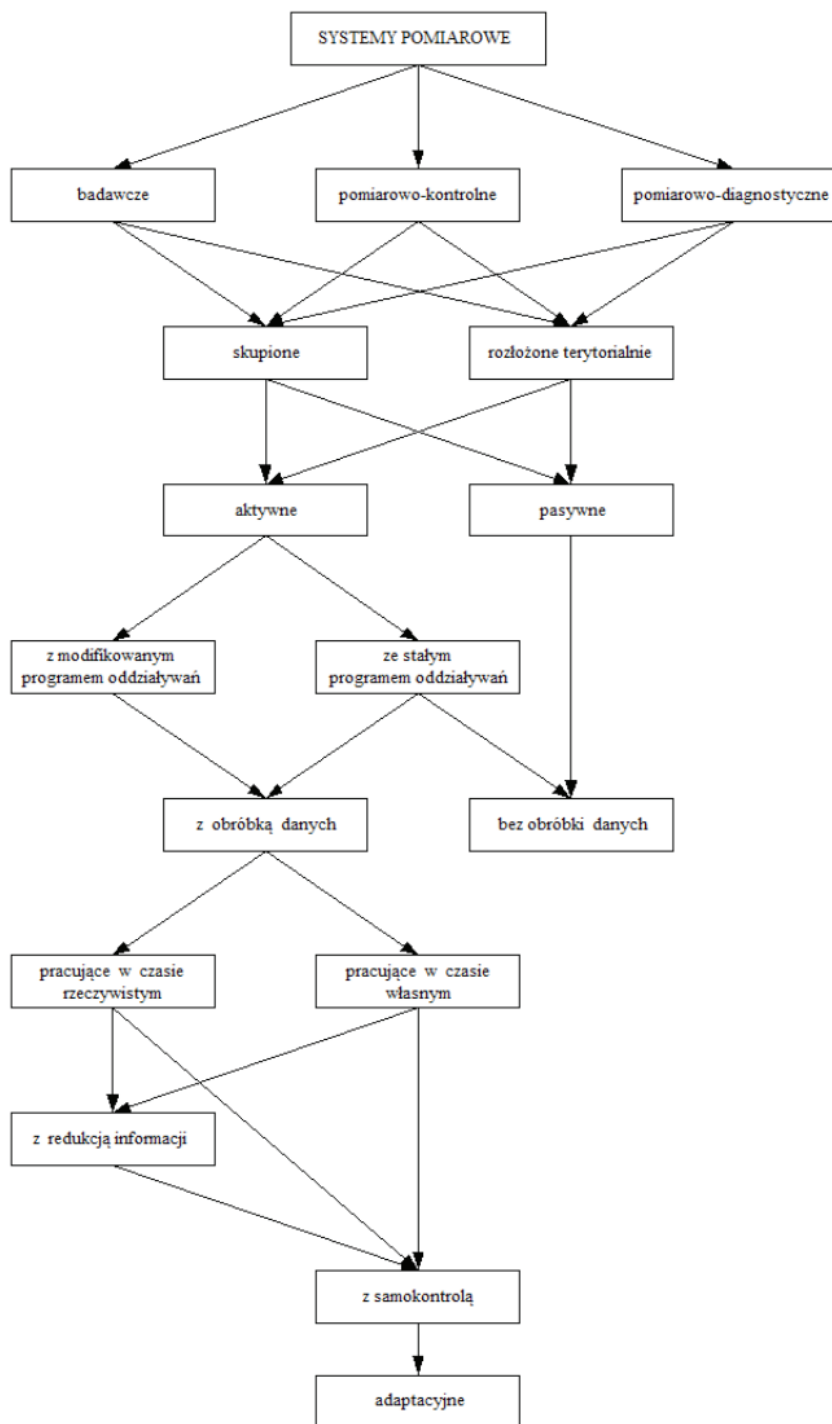
W zależności od przeznaczenia rozróżnia się trzy klasy systemów pomiarowych: badawcze, pomiarowo-kontrolne i pomiarowo-diagnostyczne [67, 68].

Systemy pomiarowe badawcze (czysto poznawcze) stosowane są głównie w pomiarach naukowych, których celem jest empiryczna weryfikacja hipotez naukowych. Systemy te wykorzystywane są w wielu dziedzinach nauki, jak: elektronika, fizyka, chemia, mechanika, biologia, medycyna.

Systemy pomiarowo-kontrolne stanowią obecnie integralną część każdego procesu technologicznego. Procesy te kontrolowane są zwykle przez pomiary parametrów obiektów wytwarzanych w trakcie procesu, jak i parametrów urządzeń technologicznych służących do ich wyrobu. Kontrola ta polegała dawniej na odczycie wskazań odpowiedniego zestawu przyrządów. Gdy liczba kontrolowanych parametrów była znaczna, panowanie nad prawidłowością całego procesu stało się bardzo kłopotliwe. Automatyzacja procesów technologicznych przyczyniła się do automatyzacji pomiarów, czyli wprowadzenia systemów pomiarowo-kontrolnych. W systemach takich stosuje się zwykle znaczne liczby czujników rozmieszczonych terytorialnie na całym kontrolowanym obiekcie i przetworników formujących sygnały wykorzystywane dalej przez regulatory sterujące procesem technologicznym. Głównym użytkownikiem tych systemów jest przemysł.

Systemy pomiarowo-diagnostyczne służą detekcji, lokalizacji, identyfikacji lub predykcji uszkodzeń obiektu na podstawie objawów charakterystycznych dla poszczególnych jego stanów niezawodnościowych. Do podstawowych problemów diagnostyki należą metody wyznaczania różnego rodzaju testów i procedur diagnostycznych, (czyli sposobów posługiwania się testami w trakcie diagnozowania obiektu). Zależnie od charakteru obiektu wyróżnia się określone rodzaje diagnostyki, jak np. diagnostykę techniczną czy diagnostykę medyczną. Celem diagnozowania jest nie tylko stwierdzenie stanu obiektu, ale często również wskazanie niezdatnego elementu, co z reguły wymaga testowania kontrolnego odpowiednio utworzonych fragmentów systemu.





Rys. 2.6. Podział systemów pomiarowych [67, 68]

Każdy z tych trzech systemów może być zrealizowany jako skupiony lub rozłożony terytorialnie. System może oddziaływać na badany obiekt w celu stworzenia odpowiednich warunków do wykonania doświadczenia. Wynika stąd podział na systemy aktywne (mogące oddziaływać na obiekt) oraz pasywne, pozbawione tej możliwości. Oddziaływanie na obiekt może się odbywać wg stałego programu (systemy aktywne z programem stałym) lub może być uzależnione od aktualnie uzyskiwanych informacji (systemy aktywne ze sprzężeniem zwrotnym, czyli z modyfikowanym programem oddziaływań, uzależnionym od bieżących wyników pomiaru).

Potrzeba obróbki zbieranych danych pomiarowych decyduje o obecności komputera w wielu systemach pomiarowych. Stąd rozróżnia się systemy z obróbką danych oraz bez obróbki danych. W systemach z obróbką danych przetwarzanie danych może odbywać się w czasie rzeczywistym, czyli równolegle ze zbieraniem danych, lub z opóźnieniem, czyli w czasie własnym. Systemy pracujące w czasie rzeczywistym wymagają szybkich algorytmów przetwarzania danych, szybkich komputerów, procesorów sygnałowych oraz układów sprzęgających (interfejsów o dużej szybkości transmisji). Obróbka wszystkich danych, w tym pomiarowych, wydłuża czas wykonania pomiarów. Dlatego w wielu systemach zachodzi potrzeba redukcji nadmiaru informacji. Może się odbywać w torze pomiarowym lub podczas obróbki danych. Zmniejszenie prawdopodobieństwa powstania błędów oraz zwiększenie wiarygodności informacji wyjściowej występuje w systemach z samokontrolą. Polega ona na testowaniu systemu lub jego części pod względem zachowania właściwości metrologicznych, a także poprawności wykonywań obliczeń. Pozytywny wynik testu, wykonanego na rozkaz operatora i zgodnie z założonym algorytmem działania, jest równoznaczny z przyjęciem wyników pomiaru za wiarygodne. Dalszym etapem rozwoju systemów z samokontrolą są systemy adaptacyjne, a zwłaszcza systemy mające możliwość automatycznej korekcji swoich charakterystyk. Wykorzystuje się w nich wyniki samokontroli do automatycznej modyfikacji charakterystyk systemu, zgodnie ze zmieniającymi się właściwościami sygnałów pomiarowych lub warunkami eksploatacji systemu.

Organizacja przesyłania informacji w systemach pomiarowych wymaga rozwiązania trzech zagadnień [67, 68, 73, 78–83]:

- wyboru konfiguracji systemu,
- wyboru rodzaju transmisji,
- zapewnienia poprawności transmisji.

Zagadnienia te można rozważać niezależnie od siebie, chociaż spotykane w praktyce rozwiązania systemów interfejsu wskazują, że są one ze sobą ściśle powiązane. Konfiguracja systemu jest uzależniona od stopnia złożoności algorytmu pomiarowego, od charakterystyk systemowych sprzętu pomiarowego i informatycznego itd. Najwygodniejszy, umożliwiający łatwą rozbudowę i zmianę zestawu bloków funkcjonalnych, jest system o konfiguracji liniowej, tzn. z magistralowym przepływem informacji.

Wybór rodzaju transmisji zależy głównie od odległości, na jakie ma się ona odbywać oraz od wymagań szybkości przesyłania informacji. Informacja może być transmitowana równoległe, szeregowo lub szeregowo-równoległe. Przy małych odległościach zdecydowanie wygodniejsza jest transmisja równoległa, zapewniająca największą prędkość przesyłania danych. Transmisja szeregowo pozwala na budowę systemów pomiarowych rozłożonych na dużej przestrzeni (możliwość stosowania kabla o 2-3 przewodach), lecz prędkość transmisji danych jest niewielka. Często stosowana jest transmisja szeregowo-równoległa, będąca pewnym kompromisem prędkościowo-kosztowym w porównaniu z poprzednimi rodzajami transmisji.

Zapewnienie poprawności transmisji polega na czasowej koordynacji przesyłania informacji. Stosuje się dwie podstawowe metody koordynacji transmisji informacji:

- transmisję synchroniczną – polegającą na nadawaniu i odbieraniu poszczególnych znaków słowa jednobitowego lub wielobitowego w określonych przedziałach czasu, np. synchronicznie z taktom zegara,
- transmisję asynchroniczną – polegającą na sygnalizowaniu początku i końca transmisji słowa, która może odbywać się metodą start-stop bądź z potwierdzeniem. W pierwszej metodzie transmisja realizowana jest przez uzupełnienie przesłanego słowa bitem startu i bitem stopu, zaś w drugiej przez przesłanie na dodatkowych liniach kontrolnych informacji o początku transmisji słowa i potwierdzeniu jego odbioru.

Zaletą **transmisji synchronicznej** jest jej prostota, wadami: konieczność jednakowej i stałej szybkości nadawania i odbioru informacji przez jednostki funkcjonalne systemu oraz brak pewności, czy nadana informacja została odebrana przez odbiorcę.

Zaletą **transmisji asynchronicznej** jest dostosowanie szybkości transmisji do możliwości współpracujących bloków funkcjonalnych, przy czym w przypadku transmisji bez potwierdzenia odbioru następuje dopasowanie szybkości odbioru do szybkości nadawania, a w przypadku transmisji z potwierdzeniem – również szybkości nadawania do możliwości odbiorcy. Ponadto zaletą transmisji z potwierdzeniem jest, jak sugeruje nazwa, potwierdzenie dla nadawcy przez odbiorcę faktu odbioru każdego wysyłanego słowa, co znacznie zwiększa poprawność transmisji.

Zatem, właściwie zaprogramowany interfejs zapewnia poprawność przepływu informacji w systemie pomiarowym oraz niezawodność systemu zarządzania energią w budynku.

Niemniej ważne zadania spełniają interfejsy graficzne, które są przedmiotem rozważań w następnym rozdziale.

### 3. Programowanie graficzne w energooszczędnym budynku

Programowanie z użyciem interfejsów graficznych nazywane jest programowaniem graficznym. Graficzne interfejsy zawierają specjalną siatkę, na której umieszcza się elementy wybrane przez projektanta. Po utworzeniu graficznej reprezentacji programu, diagram może być przetłumaczony lub skompilowany w wykonywalny program lub uruchomiony bezpośrednio. Program składa się z połączonych ze sobą węzłów operacyjnych a wykonywanie programu określa przepływ danych pomiędzy nimi.

Każdy węzeł (w postaci odpowiedniej ikony) posiada wejścia odpowiadające za wprowadzanie danych wejściowych do węzła-funkcji oraz wyjścia, którymi są wyprowadzane dane wyjściowe z funkcji. Dzięki temu rozwiązaniu użytkownicy, preferujący programowanie za pomocą symboli graficznych służących do tworzenia przyrządów wirtualnych (VI), mogą tworzyć własne aplikacje w środowisku graficznym. Kolejność wykonania operacji przez węzły diagramu jest określona przepływem danych. Panel czołowy jest interfejsem użytkownika. Programista może umieścić na nim elementy wejściowe – służące do wprowadzania danych, parametrów pracy aplikacji, jak np. wejścia numeryczne, pokrętła, suwaki, przyciski oraz elementy wyjściowe – służące do prezentacji wyników działania aplikacji, jak np. wyjścia liczbowe, wskaźniki wzorowane na miernikach analogowych, lampki.

Tworzenie podprogramów symulujących działanie urządzeń magistralnych systemu KNX/EIB wymaga, oprócz znajomości tego systemu, biegłości w posługiwaniu się środowiskiem LabView.

#### 3.1. Tekstowe i graficzne języki programowania

Tradycyjne języki programowania opierają się na tekście programów zawartych w plikach tekstowych. Programista jest w tym przypadku wspomagany przez edytory tekstu, które oprócz standardowej funkcji mogą posiadać dodatkowe możliwości, ułatwiające napisanie programu, np. sprawdzanie składni konkretnego języka, zaznaczenie na kolorowo słów kluczowych itp. Często język programowania występuje w postaci zintegrowanego środowiska łączącego: edytor, kompilator, linker i debugger. Jednym naciśnięciem klawisza można, natychmiast po napisaniu tekstu programu, wywołać go (oczywiście w przypadku bezbłędnego jego napisania). Wykonując program krok po kroku można śledzić jego przebieg i – kontrolując pośrednie wartości zmiennych – starać się usunąć ewentualne błędy. Gorzej jest z napisaniem dużych programów, wykorzystujących szerokie możliwości sprzętowe i programowe współczesnych komputerów (np. grafikę, dźwięk, wielozadaniowość). Wtedy program rozrasta się od jednego pliku do projektu zawierającego zbiór plików z powiązaniem do różnych bibliotek. W takim przypadku, poprawny plik programu może zawierać błędy logiczne lub błędy związane z niepoprawnym wykorzystaniem funkcji bibliotecznych lub przekazywania danych. W sumie, czas umiejscawiania i usuwania usterek może znacznie przekraczać czas napisania programu, jako systemu plików tekstowych.

Rozwój technik komputerowych daje nam możliwość korzystania z coraz to większych zasobów sprzętowych. W wyniku tego rozwoju (i znacznego spadku cen sprzętu) powstały bardzo popularne graficzne systemy operacyjne, służące jako platformy dla programów aplikacyjnych. Środowisko graficzne jest bardziej intuicyjne dla przeciętnego użytkownika, co znacznie skraca czas uczenia się. Duża liczba parametrów jest ustalana domyślnie, a użycie myszy w interfejsie graficznym zwiększa wydajność pracy.

Graficzny język programowania jest podobny do rysowania schematów elektronicznych. Poszczególne funkcje są przedstawione w postaci elementów funkcyjnych (prostokąty). Liczba i typ pinów wejścia/wyjścia, odpowiada liczbie i typowi otrzymywanych/przesyłanych danych. Elementy te łączone są pomiędzy sobą w programie (schemacie) „przewodami”, których kolor odpowiada typowi przekazywanych danych, a grubość – wymiarowi przekazywanej tablicy. Bezpośrednio można łączyć pomiędzy sobą tylko piny tego samego typu. Są pewne elementy, które dopuszczają polimorfizm, tzn., że np. ten sam element może być użyty zarówno do dodawania liczb całkowitych, jak i liczb rzeczywistych. Wykonywanie programu odpowiada przepływowi strumienia danych; funkcja jest wykonywana tylko wtedy, gdy posiada ona wszystkie niezbędne argumenty. Prócz tego istnieje możliwość ręcznego ustawienia warunków synchronizacji poszczególnych części w programie.

Programowanie graficzne istotnie zmienia sposób pisania programów przeznaczonych do sterowania urządzeń pomiarowych. Przede wszystkim chodzi tu o prędkość napisania poprawnie działającego programu.

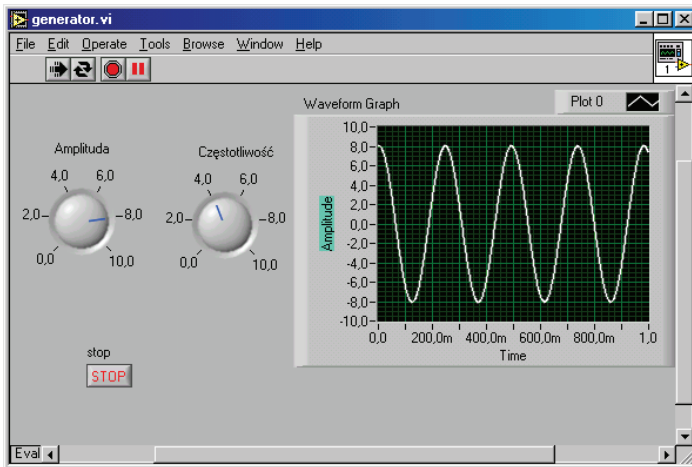
Obecnie głównymi producentami graficznych języków programowania dla sterowania eksperymentem fizycznym są dwie firmy: Hewlett Packard – program HPVIE [186] i National Instruments – program LabVIEW [187]. Według szacowań, przeprowadzonych w roku 1998 przez czasopismo „Personal Engineering & Instrumentation News”, najczęściej wykorzystywany do programowania układów obsługujących akwizycje i analizę danych był program LabVIEW. Obecnie istnieją wersje LabVIEW na systemy operacyjne Windows, Unix, Linux, oraz Mac OS. Począwszy od LabVIEW 2009 są także wersje z architekturą 32 i 64-bitową. Program umożliwia akwizycję, analizę i prezentację danych. Posiada dużą bibliotekę sterowników różnego typu zewnętrznych urządzeń pomiarowych wraz z przykładami, może być stosowany do wszystkich kart pomiarowych, produkowanych przez National Instruments i większości popularnych urządzeń pomiarowych. Jest to program ciągle rozwijany i udoskonalany [52, 53, 55, 84].

Zgodnie z koncepcją National Instruments, program ten jest wirtualnym instrumentem (skąd pochodzi rozszerzenie roboczych plików \*.vi), wykonującym odpowiednie funkcje. Każdy program w LabVIEW składa się z dwóch części, umieszczonych w jednym pliku: panelu programu (urządzenia), który jest widoczny na ekranie komputera podczas pracy; schematu (diagramu) programu, składającego się z poszczególnych funkcji i połączeń, wykorzystanych w danym programie [52].

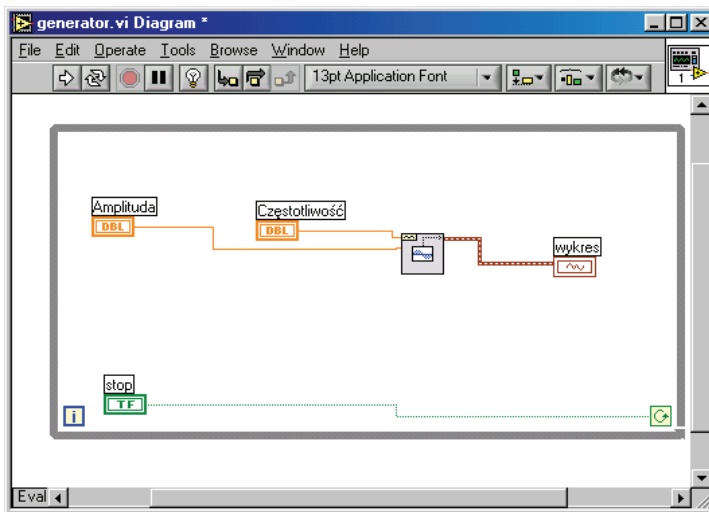
### 3.2. Tworzenie aplikacji programowych w energooszczędnym budynku

Przygotowując aplikację przy użyciu LabVIEW mamy do dyspozycji dwa główne okna: panel i diagram (Rys. 3.1 a, 3.1 b).

a)



b)



Rys. 3.1. Okna systemu LabVIEW: a). panel, b). diagram



Rys. 3.2. Ikona i zaciski przyrządu wirtualnego

Panel stanowi interfejs z użytkownikiem. Symuluje on płytę czołową rzeczywistego przyrządu. Umieszczone są na nim elementy służące do wprowadzania danych do programu (*Controls*), np. przełączniki, pokrętki, służące do wprowadzania danych z programu użytkownika (*Indicators*), np. wskaźniki, wyświetlacze. Do obsługi elementów na panelu wykorzystywana jest mysz lub klawiatura. Diagram zawiera program źródłowy aplikacji w języku graficznym. Z przyrządem wirtualnym związane są też: ikona (*Ikon*) i zaciski (*Connector*) (Rys. 3.2) umożliwiające umieszczenie danego przyrządu w innej aplikacji jako programu.

Jeżeli aktywne jest okno panelu, to w każdej chwili możemy przejść do diagramu, wybierając z opcji *Windows* menu polecenie *Show Diagram* lub naciskając klawisze Ctrl-E. Podobnie z panelu przechodzimy do diagramu, wybierając z opcji *Windows* menu polecenie *Show Diagram* lub naciskając klawisze Ctrl-E.

W górnej części okna panelu znajduje się linijka przycisków narzędziowych (Rys. 3.3). Podobna linijka, rozbudowana o obsługę debuger'a, znajduje się w górnej części okna diagramu.



Rys. 3.3. Linijka przycisków narzędziowych LabVIEW

Znaczenie poszczególnych przycisków jest następujące:

1 – przycisk do uruchamiania przyrządów wirtualnych, po uruchomieniu strzałka zmienia kolor na czarny,

2 – przycisk do uruchamiania przyrządu wirtualnego w sposób ciągły, po wykonaniu programu rozpoczyna się jego wykonywanie od początku (przycisk używany do przy testowaniu programu),

3 – przycisk do przerwania wykonywania programu,

4 – przycisk do zatrzymania lub wznowienia wykonywania programu,

5 – wybór rodzaju czcionki, jej wielkości, koloru i sposobu justowania,

6 – wyrównanie położenia elementów,

7 – wyrównanie odległości między elementami,

8 – zmiana kolejności nakładania się wybranych elementów.

Wybierając z opcji *Windows* menu LabVIEW polecenie *Show Tools Palette*, uzyskuje się dostęp do narzędzi służących do edycji i uruchamiania przyrządów wirtualnych. Jeżeli chcemy umieścić obiekt na panelu, należy otworzyć okno *Controls*, wybierając z opcji *Windows* menu polecenie *Show Controls Palette* lub przesuwając kursor na okno panelu i naciskając prawy przycisk myszy.

Gdy chcemy umieścić ikonę w oknie diagramu, należy otworzyć okno *Functions*, wybierając z opcji *Windows* menu polecenie *Show Functions Palette* lub przesuwając kursor na okno panelu i naciskając prawy przycisk myszy.

Szczególne znaczenie ma pięć struktur umieszczonych w grupie *Structures*. Umożliwiają one programowanie strukturalne, podobnie jak w klasycznych językach programowania.



Poszczególne struktury w tej grupie mają następujące zadanie:

- a) *Sequence* – Umożliwia dokładne określenie kolejności wykonywanych poszczególnych operacji (np. przy wykonywaniu przyrządu pomiarowego w pierwszej kolejności należy zaprogramować jego funkcje, a dopiero potem czytać wynik). Najpierw wykonywane są operacje z okna 0, następnie okna 1, itd. Dodanie nowego okna jest realizowane przez ustawienie kursora na ramce sekwencji, naciśnięcie prawego przycisku myszy i wybraniu menu *Add Frame After* (dodanie ramki bieżącej) lub *Add Frame Before* (dodanie ramki przed bieżącą),
- b) *Case* – W zależności od wartości zmiennej dołączonej do zacisku w postaci znaku zapytania na ramce wykonywane są fragmenty programu umieszczone w poszczególnych ramkach. Struktura ta odpowiada instrukcji *if...then...else... lub instrukcji Case...of... z języka Turbo Pascal*,
- c) *For Loop* – Umieszczona w tej ramce część programu jest wykonywana tyle razy, ile wynosi liczba dołączona do zacisku z literą „N” w lewym górnym rogu ramki. Sygnał dołączony do zacisku z literą „i” informuje o numerze aktualnie wykonywanej iteracji. Struktura ta odpowiada instrukcji *For i=0 to N do* Z języka Turbo Pascal,
- d) *While Loop* – Umieszczona w tej ramce część programu jest wykonywana tak długo, aż zmienna dołączona do zacisku w postaci zakrzywionej strzałki przybierze postać *False*. Znaczenie zacisku „i” jest takie same jak w pętli *For Loop*. Struktura ta odpowiada instrukcji *While ...do ... z języka Turbo Pascal*. Ustawienie kursora na ramce i naciśnięcie prawego przycisku myszy rozwija menu, w którym zamiast *Continue if True* można wybrać *Stop If True*. W tym przypadku część programu w ramce jest wykonywana tak długo aż zmienna dołączona do zacisku w postaci czerwonego kółka przybierze wartość *True*,
- e) *Formula Node* – Blok służy do wprowadzania wzorów matematycznych, w przypadku, gdy nie chcemy do tego używać ikon z okna *Functions*. W celu wprowadzenia zmiennych wejściowych i wyjściowych na ramce należy umieścić zaciski przez ustawienie na niej kursora, naciśnięcie prawego przycisku myszy i wybranie z menu pozycji *Add Input* lub *Add Output*. Do utworzonego w ten sposób zacisku należy wpisać nazwę zmiennej, używaną we wzorach umieszczonych wewnątrz ramki.

Szczegółowe informacje o narzędziach w oknach Labview można znaleźć w podręczniku użytkownika programu, dlatego zrezygnowano z opisywania znaczenia tych przycisków, których funkcje są w większości domyślne – określone piktogramem, a tylko zwrócono uwagę na najważniejsze funkcje do tworzenia aplikacji programowych w energooszczędnym budynku.

Graficzne języki programowania znacznie zmniejszają czas pisania programu, umiejscowienia i usuwania usterek. Program (schemat) jest bardziej czytelny, łatwiej do niego wносить zmiany nawet po długim czasie od momentu napisania. Użytkownik ma możliwość dopisania własnych funkcji w językach tekstowych, które umożliwiają obsługę niestandardowych urządzeń, czasochłonne obliczenia, niestandardowe metody numeryczne i dołączyć je do głównego programu [50, 53].



## 4. Energooszczędne systemy budynkowe

Zapewnienie energooszczędności urządzeń i instalacji budynkowych jest od lat jednym z najważniejszych priorytetów gospodarek państw na całym świecie. Technologie informacyjno-komunikacyjne dotychczas stosowane w komputerach oraz urządzeniach mobilnych typu smartfon odgrywają ważną rolę w zmniejszaniu energochłonności oraz w poprawie efektywności energetycznej gospodarki, czyli w obniżeniu emisji i przyczynieniu się do zrównoważonego wzrostu. Postęp w dziedzinie informatyki i miniaturyzacja elektroniki sprzyja przeniesieniu rozwiązań do zastosowań w automatyce budynkowej. Praca ich jest często związana z zastosowaniem odpowiednich procedur uruchamiania i właściwych aplikacji.

Instalacje elektryczne muszą spełniać trzy podstawowe wymagania [8, 13, 14, 23, 73, 85–102]:

- zapewniać ciągłą dostawę energii elektrycznej o parametrach właściwych dla potrzeb użytkownika,
- zabezpieczać użytkowników oraz instalację przed porażeniem elektrycznym, wybuchem, pożarem, przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi,
- chronić środowisko i ludzi przed emisją pola elektromagnetycznego, hałasem, drganiami o wartościach większych, niż dopuszczalne oraz przed skażeniem.

Aby instalacje spełniały te wymagania powinny być zaprojektowane i wykonane z zastosowaniem określonych rozwiązań technicznych, sformułowanych w odpowiednich normach, między innymi:

- przewody neutralne N i ochronne PE mają być stosowane, jako osobne,
- żyły miedziane powinny zawierać przewody o przekroju do 10 mm<sup>2</sup>,
- należy stosować zabezpieczenia w obwodach odbiorczych w postaci wyłączników instalacyjnych oraz wyłączników różnicowoprądowych,
- mają być wykonane połączenia wyrównawcze,
- przewody powinny być ułożone w liniach prostych równoległych do krawędzi ścian i stropów.

Poza spełnieniem podstawowych wymagań [10, 36, 102, 103, 104], największym wyzwaniem dla współczesnego przemysłu budowlanego jest jednak energooszczędność. Możliwości oszczędzania energii poszukuje się we wszystkich stadiach powstawania i istnienia budynku. Budynek inteligentny, dzięki zastosowaniu automatyki, pozwala na stałe monitorowanie pracy urządzeń i zarządzanie zużyciem energii w trakcie eksploatacji.

Optymalizacja zużycia energii w budynkach powinna opierać się na [8, 11, 37, 42, 44, 105–110]:

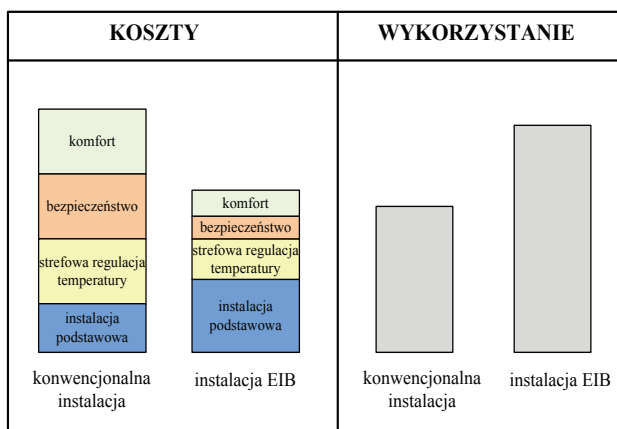
- korzystaniu z energii tylko wtedy, gdy jest to konieczne,
- utrzymaniu ilości energii potrzebnej do użytkowania na racjonalnie niskim poziomie,
- korzystaniu z energii przy jak największej wydajności.

Świadome zużywanie energii zapewnia zabezpieczenie na przyszłość oraz prowadzi do tego, że dom staje się bardziej ekonomiczny. Nie można jednak jednoznacznie określić, na jakim poziomie możliwe są oszczędności energii. Zależy to od wielu czynników. Rzeczywiste oszczędzanie energii rozpoczyna się już na etapie projektowania budynku.

Budynek inteligentny, czyli m.in. taki, w którym został wprowadzony system KNX/EIB, umożliwia świadome oszczędzanie energii. Systemy monitorowania budynków, m.in. instalacje HVAC umożliwią prowadzenie działań zmierzających do oszczędności energii i wody w budynkach, a także ograniczenie szkodliwej emisji CO<sub>2</sub> z paliw kopalnych do środowiska.

Wykonanie instalacji inteligentnej wiąże się oczywiście z większymi kosztami niż w przypadku tradycyjnych instalacji. Jednak, tak jak w przypadku oszczędności energii, tak i tu nie można jednoznacznie określić, o ile koszty te są większe, niż instalacji konwencjonalnej. Porównanie obu tych instalacji jest rzeczą względną. Wszystko zależy od indywidualnych potrzeb inwestora. Jeżeli system KNX/EIB będzie zastosowany tylko do sterowania oświetleniem, to będzie on droższy od tradycyjnej instalacji. Jeśli jednak istnieje potrzeba zastosowania takich systemów, jak: sterowanie roletami, ogrzewaniem, zarządzanie energią i centralnego sterowania, wtedy system KNX/EIB oferuje prostą i niedrogą możliwość połączenia ich w jeden system. Efekt będzie podobny, jak w przypadku zastosowania tradycyjnej instalacji, jednak komfort użytkownika obiektu będzie zdecydowania większy. Wiąże się to z tym, że system KNX/EIB integruje wszystkie instalacje w budynku, np. jeśli zostanie załączona czujka dymu, to informacja ta zostanie wysłana nie tylko do systemu alarmowego, ale również do systemu wentylacji. Budynek mieszkalny, w którym zastosowano system KNX/EIB, pozwala zredukować koszty ponoszone na prace instalacyjno-montażowe. Wynika to z faktu, że okablowanie KNX/EIB jest prostsze i tańsze oraz umożliwia koordynację współdziałania różnego rodzaju instalacji. Usprawnia ponadto uruchomienie, eksploatację i utrzymanie oraz modernizację systemu.

Przykładowy podział kosztów inwestycyjnych oraz późniejsze wykorzystanie systemu KNX/EIB przedstawia rysunek 4.1.



Rys. 4.1. Przykładowy podział kosztów oraz wykorzystania systemu KNX/EIB

Choć nie można jasno określić, na jakim poziomie kształtują się oszczędności energii wynikające z tego, że w budynku wykorzystany został system KNX/EIB, to z pewnością, taki budynek ma więcej możliwości do racjonalnego wykorzystywania energii.

Dla procesów eksploatacji ważne są następujące drogi zmierzające do oszczędzania energii:

- monitoring i automatyczna kontrola zużycia energii (wyłączanie światła i ogrzewania, uwzględnienie w bilansie cieplnym ciepła emitowanego przez urządzenia i ludzi),
- stosowanie nowoczesnych technologii energooszczędnych ogrzewania, chłodzenia, klimatyzacji i wentylacji budynków (np. wykorzystanie pomp ciepłych),
- stosowanie aktywnych systemów fotowoltaicznych, wykorzystywania energii słonecznej,
- wykorzystywanie alternatywnych źródeł energii, jak: słońce, wiatr, fale morskie, ciepło ziemi i wód gorących,
- stosowanie rozwiązań hybrydowych w zakresie wentylacji, chłodzenia i ogrzewania.

W budynkach inteligentnych wykorzystuje się wszelkie możliwe sposoby oszczędzania energii. Oferuje się wysoki poziom jakości komfortu mikroklimatu środowiska, zbudowanego przy maksymalnie niskim zużyciu energii na ten cel [7, 8, 37, 84, 90, 109, 113–115].

Wielu Autorów [8, 36, 81, 86, 103, 117, 118] wskazuje na istotne możliwości optymalizacji dotyczące zmniejszenia zużycia energii, dzięki wykorzystaniu nowoczesnych instalacji elektrycznych (tabela 4.1).

Tabela 4.1. Średnie wartości oszczędności energii dotyczące poszczególnych systemów [112]

Sterowanie ogrzewaniem pokoju	14–25 %
Automatyzacja ogrzewania	7–17 %
Sterowanie żaluzjami	9–32 %
Sterowanie oświetleniem	25–58 %
Sterowanie wentylacją	20–45 %

Wyniki przedstawione w tabeli 4.1 pokazują, że średnie oszczędności wynikające z zarządzania energią wynoszą od 11 % do 31 %.

W budynku, w którym wykonany został system KNX/EIB, możliwe jest racjonalne zarządzanie energią, a to może prowadzić do pewnej oszczędności. Dzieje się to dzięki zastosowaniu zintegrowanego systemu automatyki budynkowej, polegającej na monitorowaniu i sterowaniu wszystkimi urządzeniami w systemie.

Nowoczesne budynki są skonstruowane z wykorzystaniem najnowszych rozwiązań, które mają na celu usprawnienie ich funkcji. W tradycyjnych budynkach zadaniem instalacji budowlanych i elektrycznych, będących ich wyposażeniem technicznym, jest spełnianie wymagań bytowych mieszkańców. Są one związane głównie z komfortem cieplnym, wygodą użytkowania urządzeń, bezpieczeństwem, właściwym oświetleniem oraz zapewnieniem interakcji z otoczeniem. Instalacje te charakteryzują się swoją specyfiką i przede wszystkim działają niezależnie od innych.

Podstawowym parametrem powietrza mającym wpływ na ludzi przebywających wewnątrz jest temperatura. Utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej szczególnie w warunkach, kiedy temperatura zewnętrzna jest znacznie niższa niż wewnętrzna w pomieszczeniach, czyli w sezonie grzewczym wymaga dostarczenia odpowiedniej ilości energii.

Tendencja, która kształtuje się w budownictwie od ostatnich lat XX wieku i trwa do chwili obecnej, zmierza do projektowania budynków energooszczędnych, wyposażonych w zautomatyzowane instalacje oraz nieoddziałujących destrukcyjnie na środowisko naturalne. Współczesny dom musi być „przyjazny dla środowiska” i zapewniający komfortowe warunki pracy i wypoczynku mieszkańcom. Powstają nowoczesne rozwiązania pozwalające na ograniczenie zużycia energii, umożliwiające wykonanie budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię. Zapotrzebowanie na energię charakteryzuje się wskaźnikiem energochłonności, który wyraża stosunek sezonowego zapotrzebowania ciepła potrzebnego na ogrzanie budynku w ciągu roku do powierzchni użytkowej tego budynku w kWh/(m<sup>2</sup>rok). Wskaźnik energochłonności budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię kształtuje się na poziomie 25–60 kWh/(m<sup>2</sup>rok).

Zaprojektowanie budynku o niskim zapotrzebowaniu na energię wymaga rozpatrzenia następujących elementów:

- formy budynku,
- poziomu izolacji cieplnej,
- wentylacji budynku.

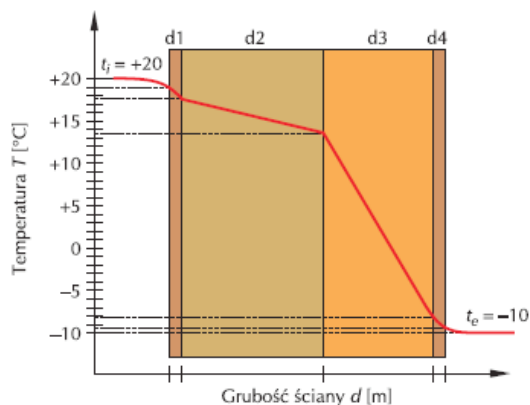
Energooszczędność budynku można uzyskać wykorzystując rozbudowany układ automatyki. Pełna automatyzacja domu wiąże się z połączeniem urządzeń sterowania z układami sterującymi.

System informatyczny pełni istotną rolę we współczesnych, nowoczesnych budynkach. Jest ważnym elementem zintegrowanych instalacji. Takie rozwiązanie pozwala na zapewnienie komunikacji między elementami, będącymi składnikami systemów zarządzania budynkiem. Przestrzeganie odpowiednich zasad już w trakcie jego budowy jest ważne dla prawidłowego funkcjonowania systemu informacyjnego.

#### **4.1. Koszty eksploatacji budynku**

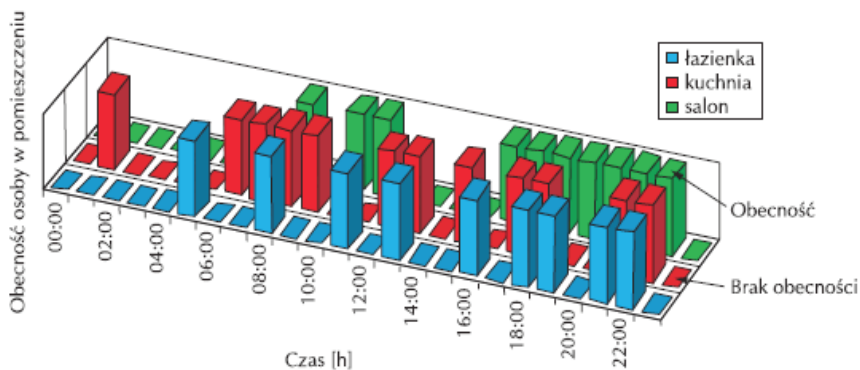
W obiektach zawsze mamy do czynienia ze stratami energetycznymi i zużyciem się zasobów. Z punktu widzenia zużycia zasobów straty w obiekcie możemy podzielić na dwie kategorie:

- straty statyczne (stałe) – które nie zależą od intensywności użytkowania obiektu, np. straty w przegrodach (Rys. 4.2). Mamy na nie wpływ na etapie powstawania obiektu, poprzez zastosowanie odpowiednich technologii do jego budowy. Po oddaniu obiektu do użytku nie mamy na nie większego wpływu. Straty stałe także zmieniają się w czasie, ale są zależne wyłącznie od zewnętrznych warunków środowiskowych;



Rys. 4.2. Rozkład temperatury w przegrodzie [2]

- straty dynamiczne (zmiennie) – zależne od stopnia intensywności użytkowania obiektu, czyli straty zależne od tzw. współczynnika jednoczesności użytkownika powierzchni.



Rys. 4.3. Wykorzystanie powierzchni budynku w czasie (cykl dobowy) [2]

Poziom zużycia różnych mediów będzie zależny od liczby osób przebywających w obiekcie, ich zwyczajów, rodzaju i intensywności aktywności, jaką będą przejawiać w tym obiekcie. Można zauważyć, że straty statyczne i dynamiczne zależą od użytkownika powierzchni i zmieniają swój poziom w czasie. Aby łatwiej je ograniczać lub kompensować ich wpływ na całość układu należy zdać sobie sprawę z ich różnorodności [2].

Klasa energetyczna budynku to określenie związane z jego energochłonnością. Tak samo jak w przypadku sprzętu AGD, informacja o klasie energetycznej daje możliwość oszacowania przyszłych kosztów eksploatacji. W Polsce został wprowadzony podział na siedem klas (od A do G), określony przez tzw. współczynnik zintegrowanej charakterystyki energetycznej budynku. Wartość odniesienia ( $EP = 1$ ) został ustalony na podstawie przepisów, określających minimalne dopuszczalne wymagania energetyczne dla budynków. Klasa A to klasa najwyższa. Oznacza, że budynek/lokal jest wysoko energooszczędny i rachunki za energię

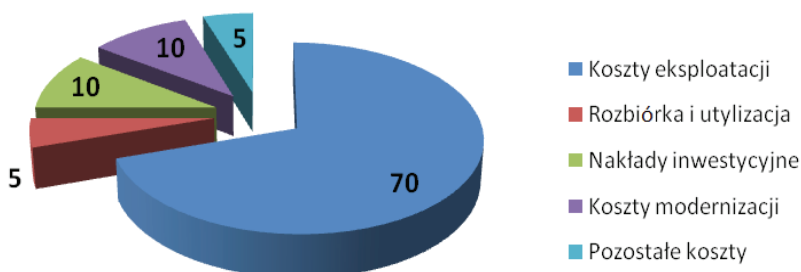


będą w nim bardzo niskie. Klasa G natomiast oznacza, że budynek jest mało energooszczędny i dla zaspokojenia podstawowych potrzeb mieszkańców (odpowiednia temperatura wewnątrz, ciepła woda) potrzebuje on bardzo dużo energii. W praktyce oznacza to nieocieplone ściany, nieszczelne okna, nieefektywną i źle izolowaną instalację, urządzenia grzewcze starego typu itp. Ocena energetyczna budynku przynosi korzyści zarówno nabywcom nowych domów i mieszkań, którzy w sposób świadomy mogą podjąć decyzję o zakupie znając przewidywany koszt ogrzewania i jakość techniczną budynku, jak i przedsiębiorcom budowlanym oraz deweloperom, motywując ich do projektowania budynków lepszej jakości. Świadectwo energetyczne jest jednocześnie dokumentem potwierdzającym obiektywną ocenę jakości budynku pod względem zapewnienia niskiego zużycia energii, a tym samym zmniejszonego niekorzystnego oddziaływania na środowisko, w tym obniżonej emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

Tabela 4.2. Klasy energetyczne budynków [2]

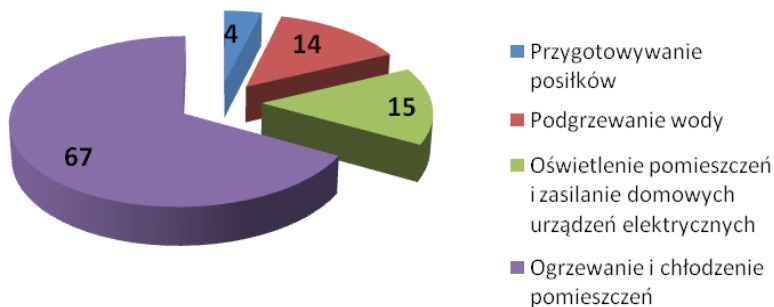
Klasa	Budynek mieszkalny	Zintegrowany wskaźnik charakterystyki energetycznej EP
A	Niskoenergetyczny	$EP \leq 0,25$
B	Energooszczędny	$0,26 < EP \leq 0,50$
C	Średnioenergooszczędny	$0,51 < EP \leq 0,75$
D	Średnioenergochłonny	$0,76 < EP \leq 1,00$
E	Energochłonny	$1,01 < EP \leq 1,25$
F	Bardzo energochłonny	$1,26 < EP \leq 1,50$
G	–	$EP \geq 1,51$

Przez wiele lat koncentrowano się na obniżeniu nakładów inwestycyjnych dotyczących obiektu, czyli na budowaniu jak najtańszym kosztem. Z czasem jednak oczywiste stało się, że nakłady inwestycyjne stanowią tylko niewielką część całkowitych kosztów związanych z cyklem życia obiektu. Największą część kosztów życia obiektu ok. 70% (Rys. 4.4) stanowią obecnie koszty eksploatacyjne, dlatego też inwestorzy i użytkownicy przywiązują coraz większą wagę do energooszczędnych i niezawodnych systemów obsługujących obiekt [2, 112].



Rys. 4.4. Procentowy udział kosztów w cyklu życia obiektu [2]

Na rysunku 4.5 przedstawiono strukturę zużycia energii w budynku. Przedstawione dane są uśrednione, należy zdawać sobie sprawę z różnorodności budynków, okresów ich budowy oraz zastosowanych w nich technologii. Okazuje się, że w domach prywatnych największy udział przeciętnego zużycia energii przypada na ogrzewanie pomieszczeń. Ogrzewanie domu wiąże się bezpośrednio z utrzymaniem odpowiednich warunków komfortu życia lub pracy człowieka. Odczuwanie ciepła, będącego głównym składnikiem komfortu, jest bardzo subiektywne. Współcześnie człowiek większość czasu swojego życia spędza w budynku, dlatego też dobre samopoczucie jest bardzo istotne zarówno w prywatnym domu czy mieszkaniu, jak i w miejscu pracy, zarówno ze względów zdrowotnych, jak i bytowych. Ogrzewanie, podobnie jak oświetlenie musi być odpowiednio sterowane. Wynika to nie tylko z potrzeby utrzymania optymalnych warunków komfortu życia, ale głównie z konieczności zarządzania energią zużywaną przez systemy ogrzewania.



Rys. 4.5. Rozkład zużycia energii w budynkach mieszkalnych [2]

W budynkach usługowych udział zużycia energii w celu ogrzania i chłodzenia pomieszczeń jest zbliżony do przedstawionego na Rys. 4.5, przy większym udziale energii do zapewnienia oświetlenia i pracy urządzeń elektrycznych. Koszt ogrzewania zależy od cen energii i paliw na rynku światowym. Szczególny wzrost cen w ostatnich latach zanotowano w odniesieniu do ropy i gazu, które w znacznym stopniu wahają się w zależności od bieżącej sytuacji politycznej na świecie. Widoczny jest również ogólny trend wzrostu cen energii wynikający z nieustannego rozwoju globalnej gospodarki, który pomimo zwiększonej efektywności wykorzystania przekłada się na rosnące potrzeby dostaw energii. Koszt ogrzewania budynku o określonej jakości energetycznej jest różny w zależności od warunków klimatycznych w odniesieniu do jego lokalizacji, a w konkretnym sezonie grzewczym wynika z jego długości i surowości. Ocenia się, że w starszych budynkach, które nie spełniają współcześnie stawianych wymagań, koszt ogrzania jednego metra kwadratowego może być do około 2,5 razy wyższy. Aby utrzymać miesięczne koszty ogrzewania takiego budynku na racjonalnym poziomie część właścicieli nieruchomości decyduje się na niedogrzewanie pomieszczeń, a więc na ich użytkowanie w warunkach dyskomfortu cieplnego. Oprócz kosztów eksploatacyjnych związanych z ogrzewaniem i chłodzeniem pomieszczeń nie wolno również zapominać o zasobach obiektowych zużywanych na oświetlenie, zasilanie urządzeń elektrycznych, podgrzewanie wody i przygotowanie posiłków. Koszty przeznaczane na te zasoby

w krótkim okresie czasu mogą wydawać się niewielkie w zestawieniu z kosztami na ogrzewanie. Jednak w skali kilku lub kilkunastu lat racjonalne zarządzanie tymi zasobami może przynieść duże oszczędności [32, 35, 36, 118–121].

## **4.2. Laboratorium badawcze energooszczędnych systemów budynkowych**

Prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad energooszczędnymi systemami zarządzania pracą urządzeń w budynkach wymaga eksperymentalnych stanowisk, które z jednej strony wspomagają proces projektowania inteligentnych instalacji w budynkach oraz służą do zbierania danych, a z drugiej strony demonstrują potencjalnym inwestorom nowoczesne, innowacyjne rozwiązania.

Autor, zaprojektował i zrealizował laboratorium energooszczędnych systemów budynkowych.

Laboratorium składa się z następujących stanowisk badawczych:

- integracji instalacji budynkowych,
- sterowania oświetleniem,
- sterowania ogrzewaniem,
- sterowania roletami i napędami bramowymi,
- powiadamiania i nadzoru,
- systemu informatycznego,
- komputerowej stabilizacji parametrów klimatu,
- komory klimatyzacyjnej.

Aktywności realizowane w laboratorium obejmują zakres:

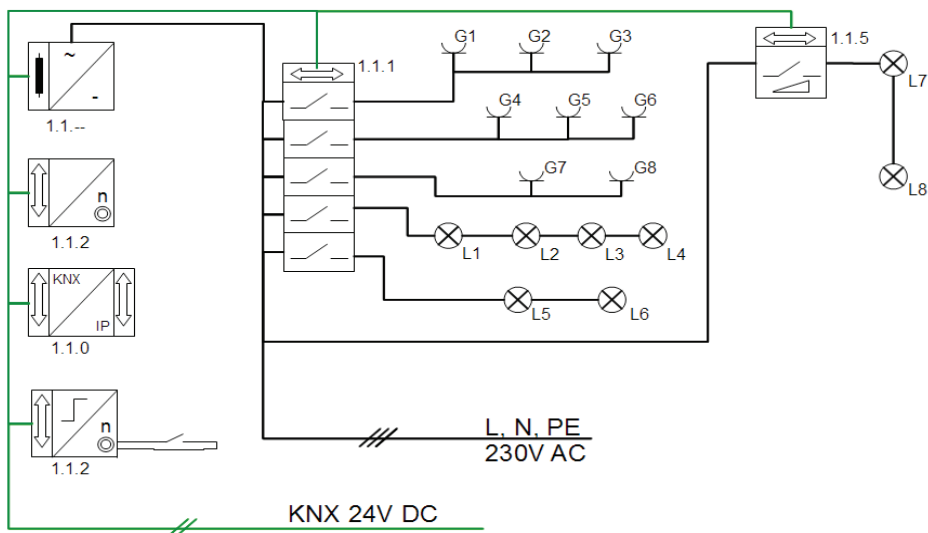
- projektowania i testowania systemów sterowania instalacją oświetleniową,
- opracowania i testowania rozwiązań projektowych instalacji sterujących zapewniających obniżenie zużycia energii elektrycznej i ciepłej,
- badania możliwości podłączenia i sterowania urządzeniami odbiorczymi w instalacji KNX/EIB oraz instalacji LCN, Tebis TS/TX i polskiego systemu Domito,
- badanie zagrożeń urządzeń i instalacji inteligentnych oraz opracowania skutecznych zabezpieczeń przed tymi zagrożeniami. Obecnie dotyczy to wiodącego systemu otwartego KNX/EIB oraz instalacji LCN, Tebis TS/TX i systemu Domito,
- opracowanie technologii oprogramowania i testowania nowych i eksploatowanych instalacji,
- badania nad nowymi zastosowaniami inteligentnych systemów budynkowych. Opracowywanie i testowanie układów integracji instalacji budynku z urządzeniami i systemami bezpieczeństwa,
- symulacja działania automatyki budynku energooszczędnego.

W celu realizacji założeń projektowych wykorzystano moduły magistralne firmy ABB [122 – 128]:

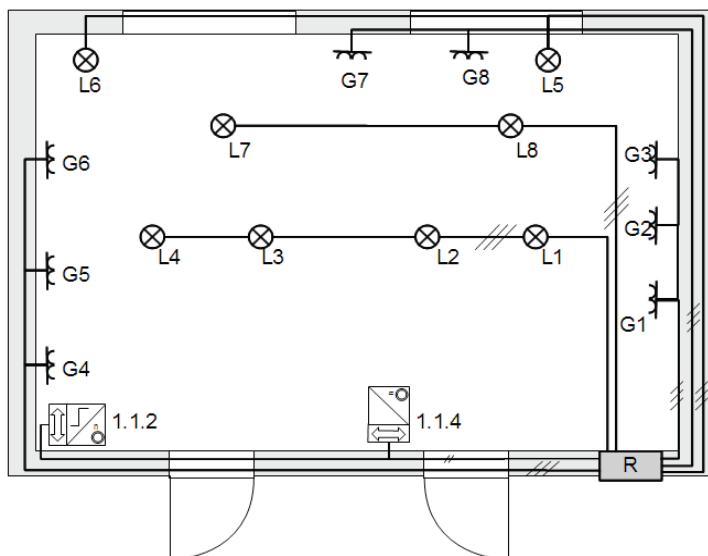
- zasilacz magistralny: ABB SV/S 30.320.5,
- łącze szeregowo: ABB EA/S 232.5,
- moduł ośmiokrotnego wyjścia binarnego: ABB AT/S 8.16.5,

- moduł dwukrotnego sterownika ściemniającego: ABB SB/S 2.2 6197/11 – 101 – 500, wraz z ABB STD – 500 MA 6593 – 102 – 500,
- moduł czterokrotnego wejścia binarnego: ABB US/U 4.2,
- moduł z pięciokrotnym przyciskiem ABB Triton z termostatem 6327,
- interfejs IP: ABB IG/S 1.1.

Schemat elektryczny połączeń poszczególnych modułów wykorzystanych w projekcie przedstawiono na rysunkach 4.6 i 4.7.



Rys. 4.6. Schemat blokowy połączeń urządzeń KNX/EIB i obwodów odbiorczych



Rys. 4.7. Rozmieszczenie odbiorników i urządzeń KNX/EIB znajdujących się poza rozdzielnicą w laboratorium. Literą R oznaczono położenie rozdzielnic

Istotną zaletą laboratorium badawczego jest możliwość realizowania różnych konfiguracji połączeń urządzeń magistralnych, ponieważ stanowisko nie posiada stałych połączeń pomiędzy modułami. W związku z tym powstała również koncepcja komory klimatyzacyjnej, jako miejsca do symulacji działania automatyki budynku. Wykonano projekt modyfikacji istniejącej komory.

Komora jest wyposażona w układ symulacji promieniowania słonecznego w postaci tzw. „sztucznego słońca” oraz możliwości pomiaru napromieniowania powierzchni modelu za pomocą pirometru. Należało także zainstalować miernik prędkości powietrza podawanego z istniejącego układu zawierającego wentylator z regulatorem. Wykorzystano istniejący układ zadawania wymuszeń i pomiaru wilgotności w zakresie zbliżonym do zakresu kondensacji pary. Układ akwizycji danych uzupełniono dodatkową kartą pomiarową firmy National Instruments oraz czujnikami do pomiaru temperatury i wilgotności. Przewidziano również zastosowanie komputera przenośnego typu notebook do gromadzenia danych, w przypadku wykonywania pomiarów w różnych warunkach rzeczywistych na zewnątrz budynku. (Parametry i wyposażenie zmodyfikowanej komory klimatyzacyjnej przedstawiono w załączniku nr 1).

Uniwersalny system zarządzania inteligentnym budynkiem zrealizowano w Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych wykorzystując środowisko programistyczne LabView.

Laboratorium wnosi duży wkład w rozwój wiedzy na temat energooszczędnych, zautomatyzowanych systemów budynkowych. Z uwagi na liczne zainteresowanie tą tematyką zespołów badawczych w kraju i za granicą, pozwala to na prowadzenie dalszych badań z zakresu inteligentnych instalacji elektrycznych. Istotne w przyszłości jest doskonałe integracji tych instalacji z odnawialnymi źródłami energii elektrycznej oraz prace nad zagadnieniem domów plus energetycznych.

### **4.3. Magistrala systemu KNX/EIB**

Alternatywą dla tradycyjnych instalacji elektrycznych [161], są tzw. instalacje inteligentne [76, 100, 162]. Główną ideą, jaka przyświecała autorom systemów nazywanych inteligentnymi było wprowadzenie jednego standardu do komunikacji urządzeń pierwotnie będących składnikami odrębnych systemów. Dotyczy to na przykład instalacji oświetleniowej i ogrzewania. Standard KNX/EIB jest niezależny od producenta. System ten zapewnia wiele rozwiązań sterowania urządzeniami elektrycznymi w ramach nowoczesnej instalacji elektrycznej, alarmowej oraz sprzętu AGD. System automatyki KNX/EIB jest stosowany głównie w domach i rezydencjach, jest ogólnosięciowym standardem. Ponadto w tym systemie wykonywane są instalacje obiektów użyteczności publicznej, np. banków, szkół, szpitali, itp.

KNX/EIB umożliwia stworzenie inteligentnego budynku poprzez integrację sterowania i nadzoru urządzeń z takich kategorii, jak: zarządzanie energią, ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja, oświetlenie oraz żaluzje i markizy. W systemie KNX/EIB następuje rozdzielanie sygnałów sterujących i kontrolnych przesyłanych za pomocą skrętki dwuparowej (magistrali) obwodów zasilania poszczególnych odbiorników.

Urządzenia występujące w systemie KNX/EIB dzielą się na trzy grupy:

- urządzenia systemowe – zasilacze napięciowe, cewki sprzęgające, łączniki szyn danych, przewody magistralne i magistralne szyny danych,
- urządzenia systemowe – sprzęgła liniowe, sprzęgła obszarowe, wzmacniacze liniowe oraz bramki (urządzenia sprzęgające) do innych systemów,
- urządzenia użytkowe – sensory (urządzenia zadające polecenia), aktorzy (urządzenia wykonawcze).

Każdy element magistralny posiada własny układ, który odpowiada za wymianę informacji między nim a magistralą instalacyjną, do której jest przyłączony. Wymiana informacji między elementami magistralnymi (sensorami i aktorami) odbywa się za pomocą specjalnych pakietów informacyjnych, zwanych telegramami. Medium transmisyjnym jest przewód magistralny lub magistralna szyna danych, które służą do zasilania elementów magistralnych. Komunikacja w magistrali KNX/EIB odbywa się za pośrednictwem skrętki – kabla miedzianego typu PYCYM 2 x 2 x 0,8 mm. Konstrukcja kabla zapewnia wysoką ochronę przed zakłóceniami elektromagnetycznymi.

Jako rozwiązanie alternatywne przewidziano zastosowanie instalacji mieszanej z urządzeniami bezprzewodowymi. Ponadto z uwagi na zapewnienie pewności zasilania w terenach, gdzie jest utrudniony dostęp do sieci elektrycznej zaplanowano wykorzystanie paneli fotowoltaicznych.

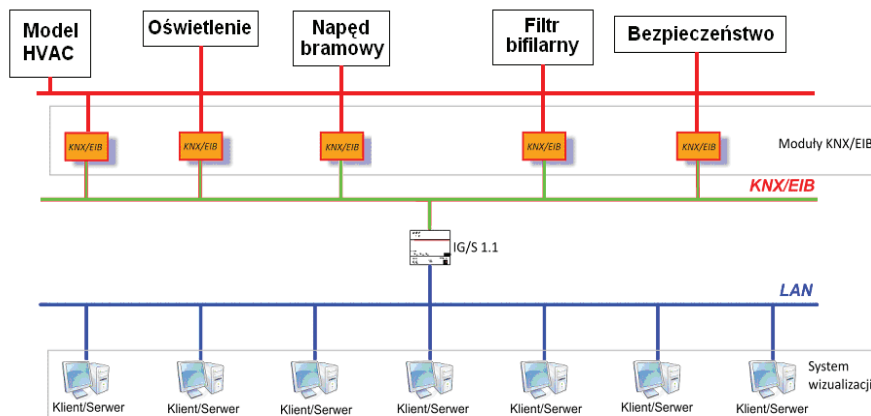
W systemie KNX/EIB obwody mocy (zasilania elektroenergetycznego) są oddzielone od obwodu sterowania magistralnego, zasilanego napięciem stałym o wartości 30 V. Magistrala składa się z jednej lub dwóch par przewodów o średnicy 0,8 mm, które należy umieścić w budynku w tych miejscach, gdzie planuje się instalację elementów magistralnych. Zawierają one mikroprocesory i są zdolne do przyjmowania zakodowanych poleceń od urządzeń sterujących ręcznych oraz czujników (sensorów) mierzących wartości różnych wielkości fizycznych. Mogą także przetwarzać je na sygnał elektryczny realizujący określone czynności łączeniowe. Elementy magistralne mogą również same generować różne zakodowane połączenia (telegramy) do innych urządzeń magistralnych (aktorów) wykorzystujących te polecenia. Element magistralny składa się z portu magistralnego, elementu końcowego oraz łącza adaptacyjnego dziesięciopinowego.

Element końcowy może być wymienny, odpowiednio do pełnionej funkcji. Port magistralny odbiera telegramy z magistrali, dekoduje je i steruje elementem końcowym oraz odwrotnie – element końcowy przesyła informacje do portu magistralnego, który tę informację koduje i wysyła do magistrali w postaci telegramu adresowego do innych elementów magistralnych.

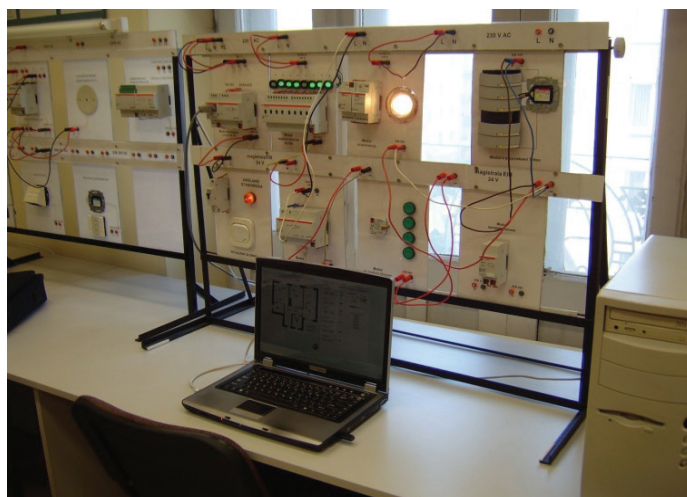
#### **4.4. Współpraca systemu wizualizacji z magistralą systemu KNX/EIB**

Systemy inteligentnych budynków często są integrowane z siecią internetową. W wielu przypadkach służy ona jako element pośredniczący w wymianie informacji na drodze użytkownik urządzenia inteligentne. Współcześnie często stosuje się wizualizację, która pozwala obserwować stan wybranych przez projektanta systemu urządzeń w czasie rzeczywistym. Dzięki wizualizacji można też zdalnie zarządzać domem.

Dla potrzeb badań komunikacji w systemach automatyki budynku zintegrowanych z siecią internetową stanowiska badawcze połączono z siecią Ethernet laboratorium (Rys. 4.8, 4.9).



Rys. 4.8. Struktura stanowiska do badania integracji instalacji budynkowych



Rys. 4.9. Stanowisko badawcze – moduł sterowania oświetleniem

Komunikacja pomiędzy oprogramowaniem, umożliwiającym zarządzanie instalacją w systemie KNX/EIB, wymaga zastosowania interfejsów sprzętowych w postaci odpowiednich modułów, takich jak łącza szeregowo, bądź specjalnie do tego przystosowane bramy. Wykorzystując standardowe układy wejścia/wyjścia jednostki, na której implementowane jest oprogramowanie, zapewniające możliwość kontroli oraz wizualizacji stanu instalacji systemu KNX/EIB (zazwyczaj komputer klasy PC), możliwe jest zapewnienie komunikacji, a więc wymiany danych pomiędzy tą jednostką, a elementami wchodzącymi w skład instalacji.

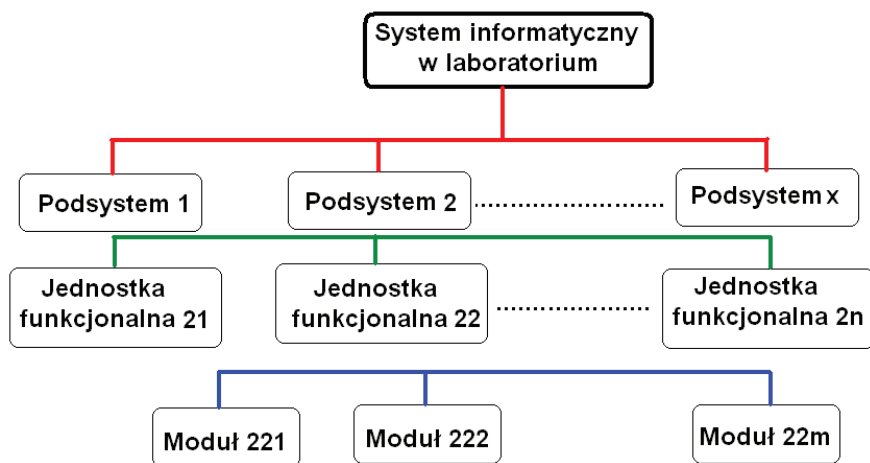


W systemie KNX/EIB wykorzystywane są trzy główne typy modułów interfejsów komunikacyjnych [36, 101, 123, 125, 130, 131]:

- łącza szeregowe, np. RS232/KNX, USB/KNX,
- bramy telefoniczne i internetowe, np. ISDN/KNX, Ethernet/KNX, specjalizowane serwery, np. GiraHomeSerwer, Signum Home Controller.

Dzięki wyposażeniu stanowiska w bramę internetową ABB TG/S 3.1 możliwe jest sterowanie elementami instalacji magistralnej KNX/EIB za pomocą telefonu. Dodatkowe możliwości zarządzania modelem inteligentnego budynku stwarza brama IP, która pozwala na połączenie systemu magistralnego z siecią Ethernet (Rys. 4.9).

System informatyczny spełnia znaczącą rolę we współczesnych, nowoczesnych budynkach. Jest ważnym elementem zautomatyzowanych systemów. Takie rozwiązanie pozwala na zapewnienie komunikacji między elementami, będącymi składnikami systemów zarządzania budynkiem. Przestrzeganie odpowiednich zasad już w trakcie jego budowy jest ważne ze względu na prawidłowe funkcjonowanie systemu informacyjnego. Najczęściej występują cztery stopnie (etapy) w strukturze tego systemu (Rys. 4.10).



Rys. 4.10. Schemat struktury systemu informacyjnego

System obejmuje kilka podsystemów (co najmniej dwa) i stanowi zespół połączonych ze sobą części tworzących całość. Każdy system pełni rolę podsystemu w systemie wyższego rzędu, np. system kontroli ogrzewania w budynku może pełnić rolę podsystemu w BMS. Celem systemu informatycznego jest umożliwienie pozyskiwania i przetwarzania informacji niezbędnych do prawidłowego zarządzania. Konstrukcja stanowiska jest odwzorowaniem rzeczywistej instalacji magistralnej w budynku. Ponadto jego modułowa budowa pozwala na zmianę lub dodanie komponentów systemu KNX/EIB. Dzięki temu możliwa jest analiza pracy różnych instalacji wchodzących w skład budynku inteligentnego, np. oświetleniowej, grzewczej, sterowania roletami/zaluzjami, powiadamiania i nadzoru. Możliwa jest również rozbudowa stanowiska o nowe urządzenia magistralne oraz integracja z innymi systemami. Taka uniwersalność sprzyja również możliwości integracji tych instalacji w ramach systemu BMS.

Zaprojektowane stanowisko laboratoryjne umożliwia badanie systemu KNX/EIB pod kątem oszczędności energii i analizy możliwości prosumenckich. Istotną cechą tego rozwiązania jest dwufunkcyjność, tzn. badanie systemów autonomicznie oraz po zintegrowaniu z innymi.

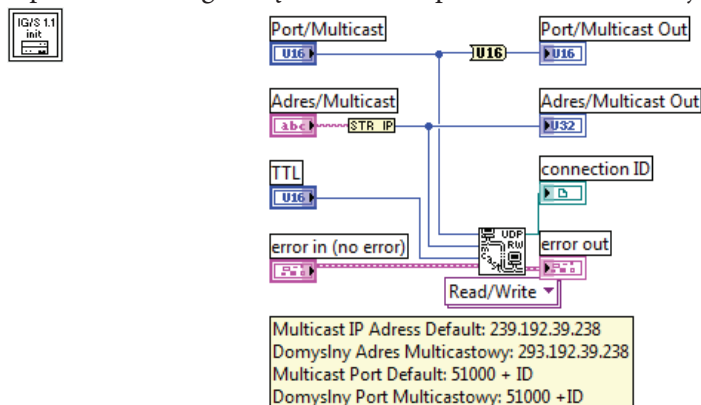
Połączenie, pomiędzy systemem wizualizacji zainstalowanym na komputerze PC a magistralą KNX/EIB, odbywa się za pośrednictwem interfejsu IP (bramy internetowej), na przykład IG/S 1.1 firmy ABB.

Podstawowym problemem podczas projektowania podprogramu, umożliwiającego wymianę danych pomiędzy komputerem PC a magistralą KNX/EIB, jest brak pełnych informacji dotyczących sposobu przekazywania danych za pośrednictwem interfejsu IG/S 1.1.

W dokumentacji technicznej [123] producent określa jedynie domyślny adres multicastowy, za pośrednictwem, którego dokonywana jest wymiana danych, pomiędzy innymi urządzeniami tego samego typu, jak również domyślny port skorelowany z adresem multicastowym oraz numerem ID (nadawanym na etapie konfiguracji w programie ETS) urządzenia. Jednakże, dokument ten nie dostarcza żadnych informacji dotyczących wersji protokołu IP wykorzystywanej do komunikacji.

W celu ustalenia wersji protokołu internetowego, można wykorzystać bezpłatną wersję programu CommView. Analiza otrzymywanych pakietów przy zastosowaniu ww. środowiska pozwala w sposób jednoznaczny określić, iż interfejs IG/S 1.1 wykorzystuje do komunikacji bezpołączeniową wersję protokołu IP – UDP.

Informacje umożliwiają zaprojektowanie podprogramu (Rys. 4.11), do komunikacji komputera PC z magistralą KNX/EIB za pośrednictwem interfejsu IG/S 1.1.



Rys. 4.11. Diagram podprogramu realizującego połączenie z interfejsem IG/S 1.1

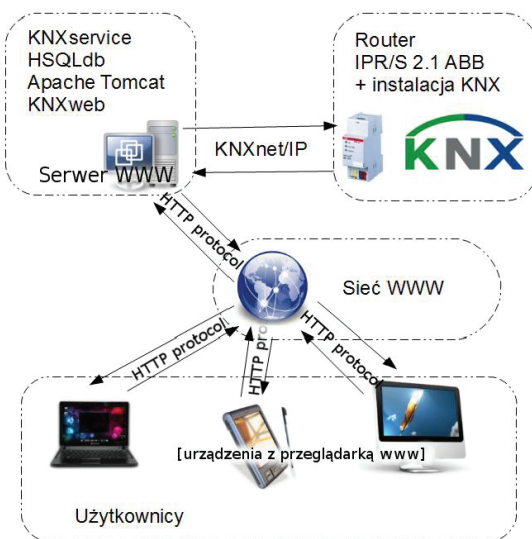
Zmiana stanu urządzeń (grup adresowych) możliwa jest za pośrednictwem wirtualnych przycisków, umieszczonych na panelu głównym programu. Każdy z przycisków służących kontroli zwraca określoną i przypisaną do niego jednoznacznie wartość, w przypadku, gdy został wciśnięty „W” – wartość „1”, bądź w przypadku, gdy nie dokonano zmian w jego stanie „R” – wartość „0”. Podczas prawidłowej pracy programu nie jest możliwe ustawienie w stan „W” więcej aniżeli jednego przycisku kontrolnego. Wartościami przypisanymi przyciskom są ko-

lejne liczby pierwsze. Głównym powodem zastosowania tego typu wartości jest chęć zapobieżenia ewentualnym błędom podczas pracy programu. Przykładowo, jeśli program znacząco spowolniłby swoje działanie, dopuszczając tym samym ustawienie w stan „W” więcej aniżeli jednego przycisku, wartość zwracana, stanowiąca iloczyn arytmetyczny stanów „W” i „R”, będzie nieprawidłowa, co skutkować będzie brakiem jej interpretacji ze strony systemu wizualizacji.

Oprócz wartości arytmetycznych każdy z przycisków zwraca wartość binarną, odpowiadającą stanowi, w którym się znajduje – stan „W” interpretowany jest jako „1” logiczna, stan „R” natomiast jako „0” logiczne. Wartości logiczne podlegają operacji sumy logicznej, dając tym samym informację dla systemu wizualizacji czy którykolwiek z grupy przycisków znajduje się w stanie „W” i należy w danej chwili dokonać operacji zapisu (wysłania telegramu na magistralę).

Oprócz eksperymentów w laboratorium, prowadzono badania w rzeczywistym budynku wyposażonym w system KNX/EIB i w źródło energii odnawialnej.

W opisanym w rozdziale 4.2 stanowisku badawczym dla potrzeb projektu systemu wizualizacji wykorzystano model inteligentnej instalacji elektrycznej w systemie KNX/EIB, który przedstawia rysunek 4.12.

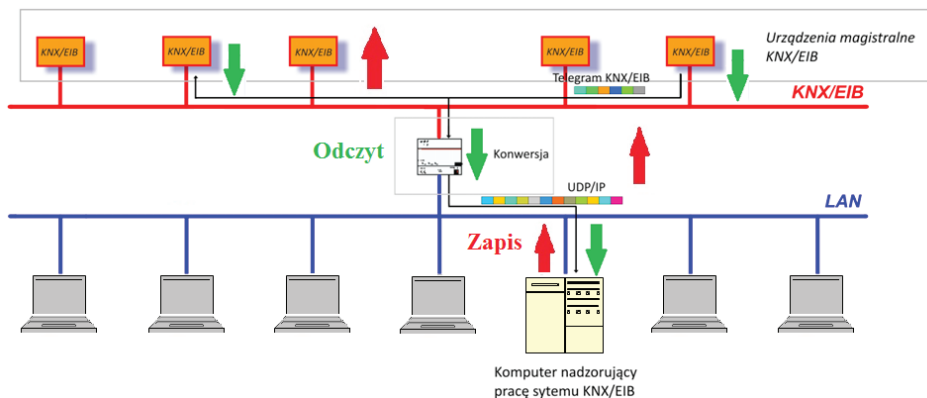


Rys. 4.12. Stanowisko badawcze wykorzystane dla potrzeb projektu systemu wizualizacji – schemat połączeń z Internetem

W sieci laboratorium wykorzystano metodę multicast, która dotyczy przekazywania pakietów telekomunikacyjnych IP do grupy zainteresowanych odbiorców.

Multicast określa sposób przekazywania informacji w sieciach komputerowych, w którym nadawca, wykorzystując odpowiedni adres IP z przedziału od 224.0.0.0 do 239.255.255.255, wysyła w tym samym czasie określone dane do grupy odbiorców widzianych przez nadawcę jako jednostkowy odbiorca grupowy.

Odczyt magistrali odbywa się poprzez kopiowanie informacji przesyłanych magistralą KNX/EIB do pamięci podręcznej interfejsu IP, który przekształca otrzymane dane do wykorzystywanego w sieci protokołu IP (Rys. 4.13).



Rys. 4.13. Uproszczony schemat nasłuchu (odczytu) i zapisu na magistralę KNX/EIB

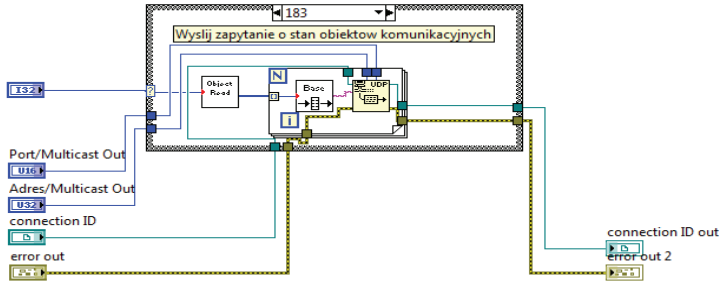
Następuje wtedy zapis na magistralę, w którym komputer PC, nadzorujący pracę systemu KNX/EIB, wysyła określone pakiety IP zawierające dane, pozwalające na parametryzację urządzeń magistralnych (Rys. 4.13).

Wizualizacja stanu urządzeń magistralnych (grup adresowych) odbywa się za pośrednictwem wskaźników binarnych oraz wskaźników graficznych, powiązanych ze wskaźnikami liczbowymi, reprezentującymi określoną wartość grupy adresowej rzeczywistego urządzenia.

W systemie wizualizacji wyróżnia się zwykle dwie główne metody zmiany stanu obiektów systemu:

- odczyt grup adresowych,
- interpretacja otrzymanych telegramów w trakcie nasłuchu magistrali KNX/EIB.

Pierwsza z nich – odczyt grup adresowych – uruchamiana automatycznie po prawidłowej weryfikacji użytkownika, powoduje wysłanie telegramów zapytań, skierowanych do wszystkich grup adresowych, utworzonych na etapie projektowania instalacji w programie ETS. Podprogram, umożliwiający odczyt stanu grup adresowych („Object Read”), stanowi, w głównej mierze, tablicę odpowiednio przyporządkowanych danej grupie liczb pierwszych. Przy starcie systemu wizualizacji lub po wciśnięciu przycisku „Odczyt”, program główny uzyskuje informacje poprzez odpowiedni stan logiczny oraz odpowiednią wartość (analogicznie jak w przypadku przycisków kontrolnych), że ma dokonać odczytu (a więc zapisu informacji na magistralę) wszystkich grup adresowych reprezentowanych przez wartości w tablicy (Rys. 4.14).



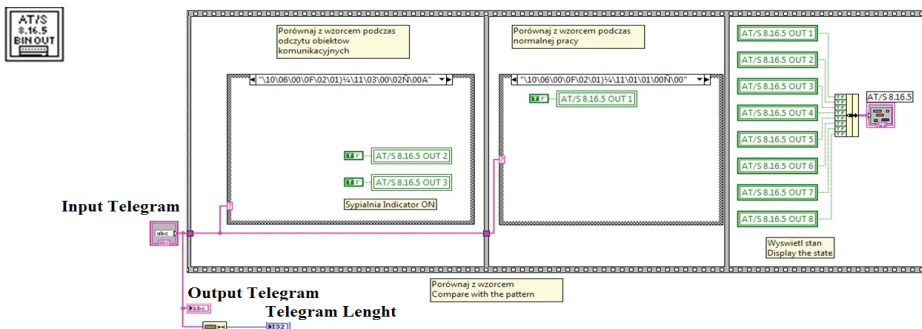
Main  
Base  
Send

Rys. 4.14. Diagram podprogramu realizującego odczyt stanu grup adresowych

Otrzymywane informacje, w ramach odpowiedzi na kierowane zapytania, interpretowane są poprzez struktury wyboru, umieszczone w podprogramach, stanowiących zbiór wskaźników, reprezentujących grupy adresowe, zapisane w pamięci urządzeń rzeczywistych.

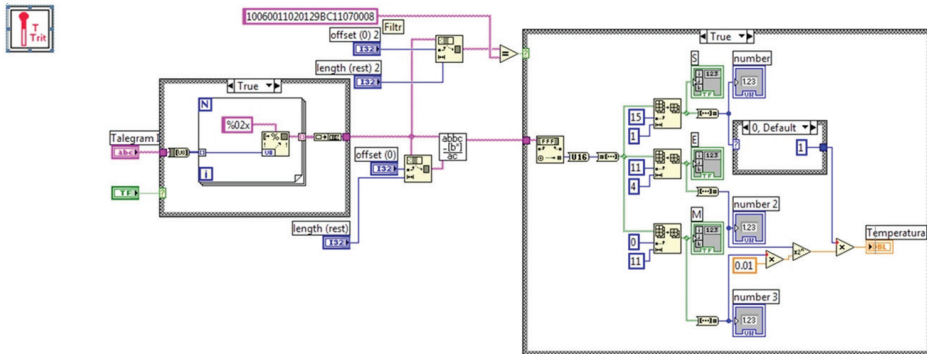
Druga metoda zmiany stanu obiektów systemu wizualizacji polega na monitorowaniu telegramów przesyłanych magistralą systemową przez cały czas pracy programu. Zawartość telegramu interpretowana jest, podobnie jak w przypadku metody poprzedniej, poprzez podprogramy, stanowiące zestaw wskaźników odwzorowujących grupy adresowe urządzeń rzeczywistych.

Przykładowy podprogram „AT/S 8.16.5” łączący obydwie wymienione metody zawarty w podprogramie „Outputs”, pozwalający na prezentację stanu kanałów wyjścia binarnego AT/S 8.16.5, przedstawiony został na rysunku 4.15.



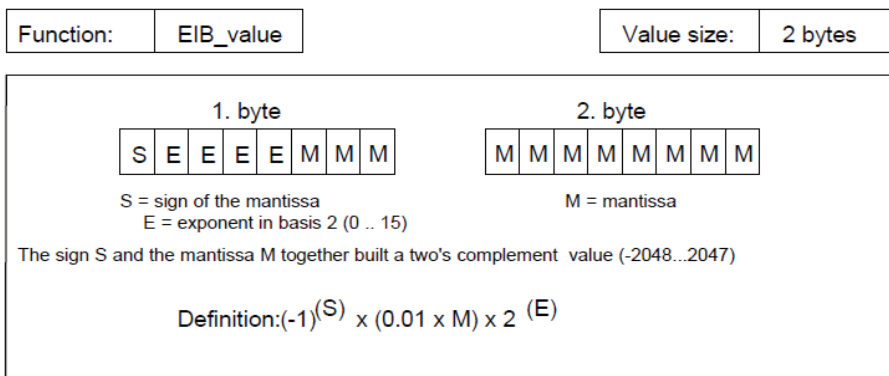
Rys. 4.15. Diagram podprogramu umożliwiającego prezentację stanu wyjścia binarnego AT/S 8.16.5

W celu wyznaczenia wartości temperatury otrzymywanej z czujnika można zastosować zależność przedstawioną na rysunku 4.16.



Rys. 4.16. Diagram podprogramu realizującego odczyt temperatury z czujnika w module Triton

System wizualizacji pozwala również na prezentację wartości wielobajtowych, otrzymywanych z magistrali. Przykładowy podprogram, pozwalający na prezentację wartości temperatury, otrzymywanej z czujnika w module Triton jako wartość 2 – bajtowa (EIS 5) przedstawiony został na rysunku 4.17.



Rys. 4.17. Sposób wyznaczania temperatury z czujnika modułu Triton [62, 63]

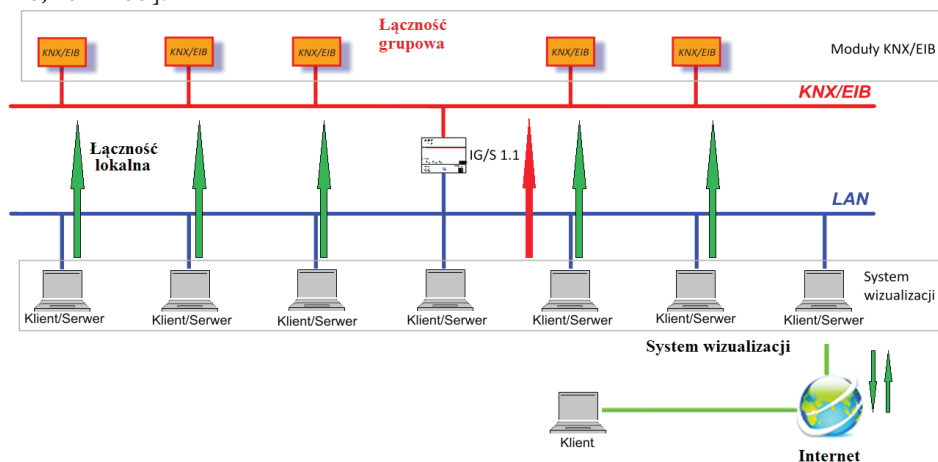
System wizualizacji powinien umożliwiać monitoring stanu urządzeń magistralnych systemu KNX/EIB, stanowiących element wyposażenia domu jednorodzinne: moduł ośmiokrotnego wyjścia binarnego oraz moduł ściemniacza, jak również intuicyjną kontrolę stanu tych urządzeń.

W systemie wizualizacji można zaimplementować wiele funkcji dodatkowych, na przykład:

- weryfikację użytkownika, powiązaną z poziomami uprawnień dostępu do funkcji systemu,
- automatyczną oraz manualną generację raportów o stanie urządzeń magistralnych w formie pliku na dysku twardym oraz treści wiadomości elektronicznej,
- odczyt temperatury z modułu ABB Triton 6327,
- proste funkcje diagnostyczne.

Kontrola oraz wizualizacja pracy instalacji inteligentnej w systemie KNX/EIB możliwa jest w sposób jednoczesny na wielu komputerach przyłączonych do sieci lokalnej.

Liczba, pracujących jednocześnie jednostek z zainstalowanym oprogramowaniem wizualizacyjnym, jest ograniczona jedynie rozległością sieci lokalnej, jednakże, w przypadku kontroli urządzeń magistralnych zaleca się w danej chwili wykorzystywanie tylko jednej jednostki. Dzięki zaimplementowanemu w środowisku LabView Web Serwerowi możliwe jest również zdalne zarządzanie (LAN, Internet) instalacją KNX/EIB z poziomu przeglądarki internetowej (Rys. 4.18) [9, 44–45, 84, 120, 131–133].



Rys. 4.18. Kontrola magistrali KNX/EIB za pośrednictwem wielu jednostek w sieci lokalnej oraz zdalnie z poziomu przeglądarki internetowej [36]

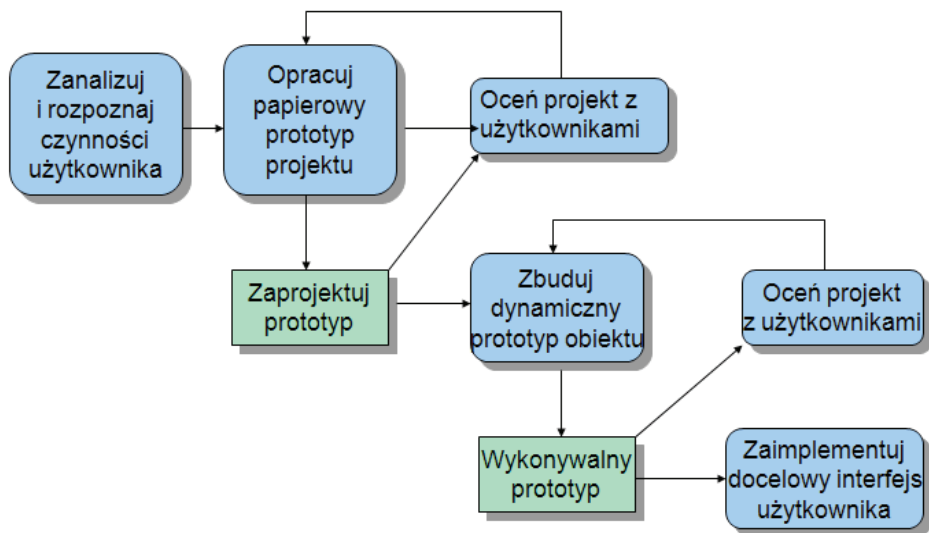
Problem zdalnego sterowania eksperymentem sprowadza się najczęściej do współpracy dwóch komputerów: klienta, na którym pracuje eksperymentator, i serwera, obsługującego zestaw pomiarowy. Połączenie komputerów nie daje możliwości klientowi bezpośredniego dostępu (zapisywania/odczytywania) do portów serwera. Przyczyna tego kryje się w niekontrolowanych opóźnieniach, które mogą ewentualnie zaistnieć przy zdalnej komunikacji. Operacje zapisywania/odczytywania z portów powinny być ściśle zsynchronizowane.

Połączenie klient-serwer realizowane jest zazwyczaj poprzez wykorzystanie typowej sieci komputerowej (np. Ethernet) i standardowych protokołów przesyłania danych (np. TCP/IP). Na tej bazie powstało wiele programów obsługujących zdalny dostęp do urządzeń, także poprzez Internet z wykorzystaniem języka HTML. Przykładem systemu ze zdalnym dostępem do urządzeń przez Internet jest układ do badań ciekłych kryształów na uniwersytecie w Kent [134].

Podczas projektowania interfejsu webowego, który w sposób intuicyjny umożliwiałby zdalne sterowanie urządzeniami KNX/EIB oraz monitorował ich stan, ważne są cztery aspekty: użyteczność, wizualizacja, funkcjonalność i dostępność [50, 61, 84, 135, 136].



Proces projektowania interfejsu przedstawia rysunek 4.19. Pierwszym krokiem w celu jego wykonania jest analiza i rozpoznanie czynności, które będą możliwe do wykonania przez użytkownika. Kolejnym użytecznym krokiem jest opracowanie papierowego prototypu interfejsu przed wykonaniem go w programie oraz ocena projektu przez obiektywnego użytkownika. Następnie dodane zostają funkcje dynamiczne, umożliwiające sterowanie i kontrolę. Ostatnim krokiem jest prototyp wykonywalny oraz jego implementacja.



Rys. 4.19. Schemat przedstawiający proces projektowania interfejsu [36, 50, 132]

Aby zaprojektować funkcjonalny interfejs należy przede wszystkim zastanowić się, kto będzie jego użytkownikiem. Jako, że projekt wykonanego interfejsu zakłada sterowanie instalacją inteligentną w domu jednorodzinnym, powinien on być wykonany w jak najbardziej przejrzystej i przyjaznej formie, w celu zapewnienia wygody korzystania dla wszystkich domowników. Interfejs powinien pokierować użytkownikiem tak, aby osiągnął zamierzony cel a zarazem czuł się spełniony. Ważnym elementem jest zaplanowanie szkieletu strony, tak, aby możliwe było jednym rzutem oka znalezienie interesującej użytkownika funkcji.

Istotnym elementem interfejsu jest wizualizacja. W jej skład wchodzi elementy graficzne, takie jak ikony oraz poglądowy schemat domu. Głównym celem umieszczania grafiki, jest pomoc użytkownikowi w przyswajaniu i przetwarzaniu skutecznej informacji. Ikony nie powinny rozpraszać użytkownika od zawartości tekstowej, ale argumentować go, a przez to pomagać w szybkim dotarciu do szukanych funkcji. Jednakże zbyt duża liczba elementów graficznych powoduje zamazanie czytelności oraz zmniejszenie funkcjonalności.



Rys. 4.20. Diagram przedstawiający metodykę postępowania przy tworzeniu aplikacji webowej

Rysunek 4.20 przedstawia metodykę postępowania przy tworzeniu aplikacji webowej przeznaczonej dla systemu KNX/EIB. Pierwszym krokiem jest uzyskanie plików programu ETS z zaprogramowanymi urządzeniami, które później posłużą do programowania elementów aplikacji webowej odpowiedzialnych za zarządzanie oraz monitoring instalacji inteligentnej. Na podstawie tych plików możliwe jest zaprojektowanie interfejsu, który zaoferuje możliwość zdalnego sterowania wszystkimi funkcjami zaimplementowanymi w już istniejącej instalacji KNX/EIB. W dalszej kolejności elementy interfejsu odpowiedzialne za monitoring i nadzór (przyciski, wskaźniki, itd.) zostają zaprogramowane poprzez nadanie im adresów fizycznych urządzeń znajdujących się w instalacji. Dzięki temu elementy te odwzorowują stan instalacji oraz umożliwiają jej zarządzanie w czasie rzeczywistym. Przed wykonaniem ostatniego kroku, jakim jest implementacja gotowego interfejsu webowego do instalacji KNX/EIB, powinien on zostać sprawdzony pod kątem ewentualnych błędów.

W celu uzyskania dostępu do systemu wizualizacji, użytkownik podlega weryfikacji w oparciu o przydzieloną nazwę użytkownika oraz hasło. W zależności od wprowadzonych informacji uzyskuje on określony poziom uprawnień (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Poziomy uprawnień dostępu do systemu wizualizacji pracy magistrali KNX/EIB [54]

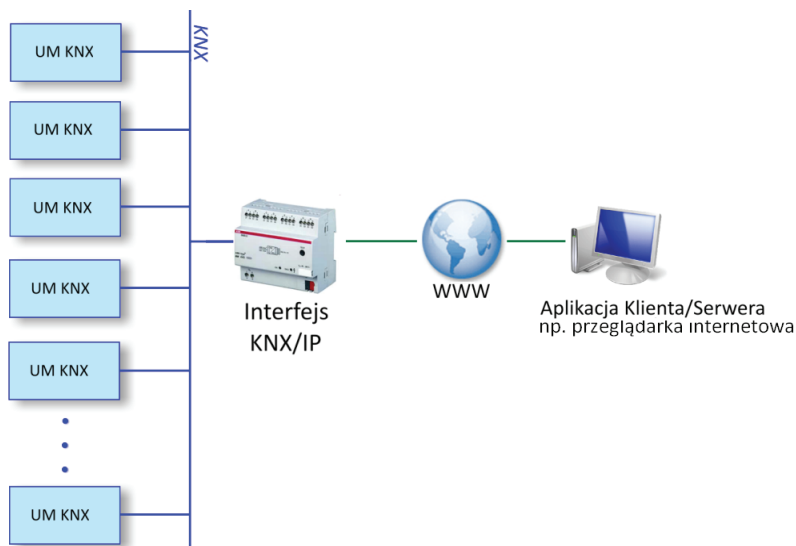
Poziom uprawnień	Wizualizacja	Kontrola	Generacja raportów	Konfiguracja	Diagnostyka
0 – Pełne	+	+	+	+	+
1 – Ograniczone	+	+	+	–	–
2 – Minimalne	+	–	–	–	–

Ważnym podsystemem w każdym budynku jest instalacja HVAC. Jest ona elementem, który może stanowić szkielet automatyki budynkowej i być łącznikiem między innymi systemami. Kolejny rozdział dotyczy programowania urządzeń stosowanych w instalacjach HVAC oraz zdalnego sterowania nimi w systemie KNX/EIB.

## 4.5. Urządzenia stosowane w instalacjach HVAC w zautomatyzowanym budynku

Obecnie, w budynkach o wysokim standardzie coraz częściej stosuje się magistralne instalacje elektryczne. Na rynku europejskim przeważa system Europejskiej Magistrali Instalacyjnej EIB. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość łatwej integracji wszystkich instalacji występujących w budynku, wśród nich również HVAC [23, 44, 80, 84, 102, 137].

Ogrzewanie za pomocą instalacji KNX/EIB obejmuje lokalną regulację temperatury w pomieszczeniach budynku. Wykorzystane do tego celu są pokojowe regulatory temperatury. Ponadto zastosowana automatyka pozwala na ograniczenie grzania w przypadku otwarcia okna w pomieszczeniu. Zdalne sterowanie i sygnalizacja stanów urządzeń grzewczych jest możliwa dzięki zastosowaniu bramki internetowej, która umożliwia zdalny dostęp do instalacji elektrycznej (Rys. 4.21). Bramka internetowa może mieć zastosowanie zarówno w aplikacjach komercyjnych, np. instalacjach elektrotechnicznych, ogrzewaniu, wentylacji, klimatyzacji, jak i dla domów mieszkalnych, np.: zapewnia rozszerzenie możliwości już istniejących instalacji, zdalny dostęp do systemów bezpieczeństwa, zdalny nadzór domów letniskowych i całorocznych.



Rys. 4.21. Zdalne sterowanie i sygnalizacja stanów urządzeń grzewczych

Bramka internetowa automatycznie informuje o zdarzeniach i alarmach poprzez wysłanie e-maila.

Z bramką internetową możliwe jest połączenie w następujący sposób:

- poprzez LAN za pomocą przeglądarki i znanego jej adresu IP,
- połączenie przez [www.domoport.de](http://www.domoport.de) – (przeglądarka).

Przy stosowaniu zdalnego sterowania inteligentną instalacją elektryczną stosowane są procedury bezpieczeństwa podobne jak przy bankowości internetowej. Wszystkie strony są kodowane (protokół SSL) oraz występuje trzypoziomowa autoryzacja.

Zastosowanie w systemach HVAC nowoczesnych rozwiązań automatyki budynkowej podnosi warunki przebywania na wyższy poziom oraz zapewnia znacznie bardziej sprawną pracę instalacji grzewczej oraz minimalizuje koszty eksploatacji obiektu. Coraz częściej w systemach grzewczych wykorzystywane są podgrzewacze elektryczne. Chłodzenie oraz ciągle kontrolowanie temperatury jest czynnością męczącą i uciążliwą. Ograniczenie zużycia energii jest istotnym elementem prawidłowej polityki ogrzewania domu. Zużycie energii powinno się ograniczać ze względu na negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne oraz zbędne nakłady finansowe. Można to osiągnąć stosując metody aktywne, bezpośrednio reagujące na zmieniające się warunki (np. regulacja) oraz pasywne lub stałe (np. izolacja termiczna).

Naprzeciw temu wychodzą nowoczesne systemy inteligentne. Pozwalają one na szeroką automatyzację sterowania temperaturą w budynkach oraz zaoszczędzenie energii np. poprzez wyłączenie ogrzewania przy otwartym oknie. Systemy te umożliwiają również sterowanie bezprzewodowe. Zaletą ich jest możliwość kontroli sterowanych obiektów z dowolnego miejsca, prosta i przyjazna obsługa, łatwa instalacja, pewność w działaniu i bezpieczeństwo. Ogrzewanie takie zapewnia indywidualne temperatury w różnych pomieszczeniach, obniżanie temperatury w nocy i podczas nieobecności domowników.

W celu generowania oszczędności instalowane w budynkach systemy powinny współdziałać ze sobą, jest to tzw. integracja systemów. Osiąga się to przez połączenie wszystkich oddzielnych systemów przy pomocy systemu nadrzędnego, zarządzającego budynkiem – BMS.

Wyżej wymienione systemy są typu otwartego. Główną ich zasadą jest umożliwienie wykorzystania w instalacji urządzeń zgodnych ze standardem systemu pochodzących od różnych producentów.

#### **4.5.1 Sterowanie ogrzewania**

Zastosowanie odpowiedniej automatyki w układzie centralnego ogrzewania ma duży wpływ na kształtowanie zużycia paliwa a tym samym na obniżenie wydatków na ogrzewanie. Zadaniem automatyki jest dostosowanie temperatury pomieszczeń do wymagań użytkowników. Regulatory temperatury i urządzenia do sterowania ogrzewaniem pozwalają na zarządzanie temperaturą pomieszczeń oraz pracą grzejników. Ze względu na oszczędności energetyczne, na jakie pozwala regulacja temperatury, oraz znaczną poprawę komfortu mieszkańców, układy sterowania systemów grzejnych stały się wymogiem nowoczesnego budownictwa.

#### **Wybrane algorytmy sterowania ogrzewaniem**

Wszystkie działania zmierzające do zapewnienia komfortu i uzyskania możliwie największych oszczędności zużycia energii związane są z regulacją temperatury. Opisuje to bilans cieplny, który uwzględnia czynniki wpływające na parametry klimatu wewnętrznego w pomieszczeniach. Najczęściej stosowane są dwa algorytmy, sterowanie lokalne i sterowanie czasowe.

Z uwagi na doświadczenie, które wskazuje, że pomimo zachowania ogólnych zasad realizacji algorytmów sterowania ogrzewaniem, następują jednak przypadki przegrza-

nia, bądź niedogrzaną pomieszczeń, w laboratorium badawczym opracowano modele systemów automatyki budynkowej predestynowanych do prowadzenia analizy ich zachowania w budynku.

Modele te pozwalają na badanie wzajemnych zależności między tymi algorytmami w konkretnych systemach budynkowych.

Opracowano i wykonano stanowisko badawcze do realizacji regulacji ogrzewania według algorytmów:

- sterowania czasowego,
- sterowania strefowego,
- sterowania ogrzewaniem zintegrowanego z sygnalizacją otwarcia okien,
- sterowanie ogrzewaniem zintegrowane z żaluzjami.

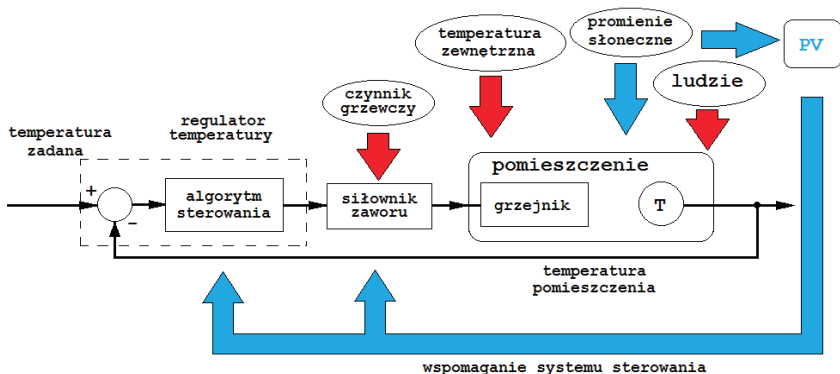
Ponadto konstrukcja tego stanowiska umożliwia rozszerzenie badań o integrację z systemem alarmowym.

Przy projektowaniu instalacji KNX/EIB należy zwrócić uwagę na odpowiedni dobór sposobu regulacji do przewidzianego do realizacji rodzaju instalacji grzewczej oraz potrzeb użytkownika. Zasadniczym elementem każdego modelu jest regulator, który musi przede wszystkim zapewniać realizację algorytmów sterowania lokalnego i czasowego. Odbiera on informacje od czujnika temperatury znajdującego się w pomieszczeniu. Następnie porównuje ją z wartością zadaną i dopasowuje sposób sterowania zaworem grzewczym. Regulator ten może być elementem odrębnym bądź zintegrowanym z sensorem, np. sterującym oświetleniem w pomieszczeniu. Algorytmy grzewcze mogą realizować sterowanie dwupołożeniowe lub PWM. W przypadku sterowania dwupołożeniowego element sterujący przełącza położenia zamknij – otwórz w zależności od przejścia temperatury pomieszczenia przez określone nastawy. Sterowanie typu PWM również polega na zamykaniu lub otwieraniu zaworu, ale w tym przypadku czas otwarcia zależy od różnicy między temperaturą zadaną i zmierzoną. Najnowsze regulatory określają czas otwarcia na podstawie zmiany temperatury w kilku cyklach grzewczych. Stanowisko jest dostosowane również do badania algorytmu proporcjonalno-całkowego, ale wymaga uzupełnienia o inny rodzaj zaworów, z ciągłą regulacją położenia.

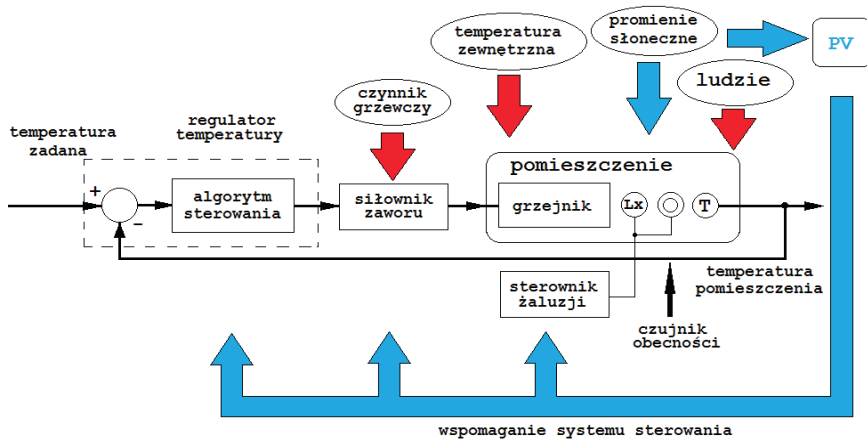
Schemat funkcyjny sterowania temperaturą w laboratorium z wykorzystaniem wspomaganie zasilania urządzeń sterujących za pomocą ogniwa fotowoltaicznego, został przedstawiony na Rys. 4.22. Dzięki wprowadzeniu takiego rozwiązania, energię z odnawialnego źródła energii można wprowadzić do bilansu cieplnego jako element wspomaganie ogrzewania (np. za pomocą cieczowego kolektora słonecznego) oraz do zasilania magistrali KNX/EIB lub innych urządzeń sterujących.

Możliwa jest również analiza działania integracji instalacji grzewczej z układem sterowania żaluzjami i odnawialnym źródłem energii (Rys. 4.23).

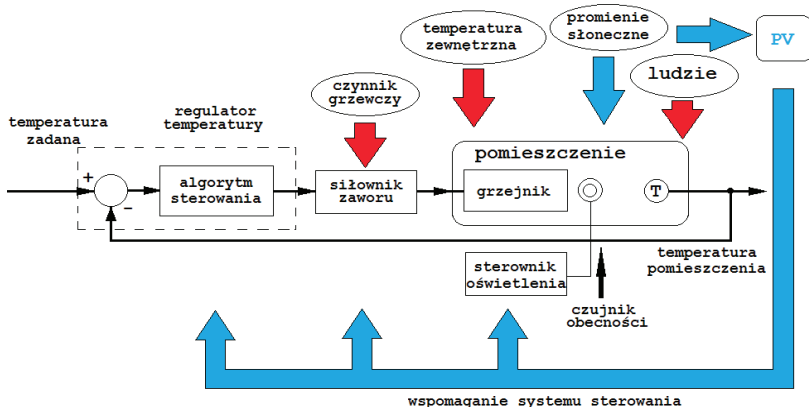
Analiza działania integracji instalacji grzewczej i oświetleniowej z odnawialnym źródłem energii może być prowadzona w oparciu o schemat funkcjonalny przedstawiony na Rys. 4.24.



Rys. 4.22. Sterowanie temperaturą wspomaganą poprzez zasilanie z ogniwa fotowoltaicznego



Rys. 4.23. Integracja sterowania temperaturą i żaluzjami w systemie ogrzewania budynku wspomaganym poprzez zasilanie z ogniwem fotowoltaicznym



Rys. 4.24. Integracja sterowania temperaturą i oświetleniem w budynku z ogniwem fotowoltaicznym

#### 4.5.2. Sterowanie oświetleniem

Systemy inteligentnego zarządzania domem mają wiele funkcji i dają ogromne możliwości. Jedną z nich jest system sterowania oświetleniem w domu, który pozwala na dostosowywanie ustawień z dowolnego miejsca. Właściwe sterowanie obwodami oświetleniowymi jest jednym z podstawowych czynników zapewniających zachowanie wysokiego komfortu użytkowania obiektów budownictwa mieszkaniowego i komercyjnego. Nie mniej ważnym czynnikiem jest dążenie do jak największej energooszczędności zastosowanych rozwiązań. W celu prawidłowego doboru oświetlenia należy go dostosować do konkretnych zapotrzebowań. Projekt oświetlenia jest ważnym elementem projektowania instalacji budynkowych, ponieważ decyduje o późniejszych kosztach montażu i eksploatacji.

Projektując oświetlenie należy uwzględniać szereg aspektów, dzięki którym będzie możliwe zaspokojenie złożonych potrzeb ludzkich odnośnie oświetlenia. Poprawnie zaprojektowane i wykonane oświetlenie ma za zadanie zaspokoić takie potrzeby ludzi jak:

- wydolność wzrokową,
- komfort widzenia,
- bezpieczeństwo.

Do zrealizowania tych potrzeb niezbędne jest spełnienie podstawowych wymagań oświetleniowych zawartych w normach oświetleniowych. Dzięki spełnieniu tych wymagań praca wykonywana w pomieszczeniu będzie przeprowadzona dokładnie, w warunkach komfortu, w odpowiednim czasie i bez nadmiernego zmęczenia z zachowaniem bezpieczeństwa. Podstawowym wymogiem jest stworzenie odpowiedniego otoczenia świetlnego, na które składa się:

- natężenie oświetlenia,
- olśnienie,
- rozkład luminancji,
- oddawanie barw,
- barwa światła,
- tętnienie światła,
- kierunkowość światła,
- światło dzienne.

Natężenie oświetlenia i jego rozkład na polu pracy i jego bezpośrednim otoczeniu decydują w głównej mierze o wykonaniu pracy wzrokowej i wpływają na ogólną ocenę wnętrza. Gdy w polu widzenia użytkownika wnętrza pojawią się nadmierne jasne obiekty dochodzi wtedy do olśnienia, które może prowadzić do uczucia dyskomfortu i pogorszyć wygodę widzenia. Ważny jest rozkład luminancji, czyli wrażenie, jakie odbiera oko od świecącej powierzchni. Rozkład luminancji wpływa na stan adaptacji wzroku i decyduje o sprawnym wykonywaniu pracy wzrokowej, a także może wpływać na zachowanie i odczucia ludzi. Do stworzenia prawidłowego otoczenia świetlnego niezbędne jest zapewnienie właściwej barwy światła i odpowiedniego kierunku światła. Wymienione tutaj parametry zostaną odniesione do pomieszczenia w biurze i szczegółowo przedstawione w dalszej części pracy.



W celu właściwego doboru oświetlenia, należy postępować według metodyki, która zaleca określenie w pierwszej kolejności jego rolę, to znaczy, czy będzie to oświetlenie ogólne, czy też miejscowe. Dzięki sprecyzowaniu roli można następnie uzyskać informacje na temat wymaganego natężenia światła i z niego wynikającej ilości opraw.

Należy również określić:

- przewidywany roczny czas pracy oświetlenia,
- wymaganą wysokość zawieszenia opraw (nie zawsze oświetlenie musi być zawieszane wysoko, w halach gdzie nie ma suwnic, można obniżyć wysokość opraw, dzięki czemu do uzyskania wymaganego natężenia światła wystarczy mniejsza liczba lamp),
- strefy pracy – umożliwia to wyłączenie tej części oświetlenia, która nie jest potrzebna,
- strefy z wystarczającym oświetleniem przy pomocy światła dziennego.

#### Energooszczędne oświetlenie domu

Wprowadzone kilkanaście lat temu zintegrowane świetlówki kompaktowe („żarówki energooszczędne”) dają znacznie więcej światła z mniejszej mocy w stosunku do tradycyjnych żarówek. Z energii elektrycznej pobranej przez świetlówkę kompaktową uzyskuje się od 20% do 25% energii w postaci światła. Poniżej w tabeli zostały przedstawione orientacyjne moce zamienników żarówek tradycyjnych na energooszczędne.

Tabela 4.4. Moc zamienników tradycyjnych żarówek na energooszczędne

Moc żarówki [W]	Orientacyjna moc zamiennika w postaci świetlówki kompaktowej [W]
100	20–23
75	15–16
60	11–12
40	8–9
25	5–6

Zamiana żarówki na świetlówkę kompaktową pozwala na uzyskanie 80% oszczędności energii elektrycznej. Jest to bardzo duża oszczędność. Nie wszędzie można jednak stosować te źródła światła. Świetlówki, ze względu na swoją konstrukcję, posiadają dużą powierzchnię świecąca. Nie jest wskazane ich zastosowanie w żyrandolach kryształowych, w których żarówki wywołują „skrzące” światło i różne refleksy świetlne, zaś zastosowanie świetlówek pozbawi nas tego efektu. W takiej sytuacji można zastosować żarówki halogenowe. Dzięki nim uzyskuje się około 50% oszczędności. Jest to mniej niż przy zastosowaniu świetlówek, ale zapewnia efektowne oświetlenie. Mogą one pracować również w obwodach ze ściemniaczami czy czujnikami ruchu.

Bardzo znaczące efekty w oszczędzaniu energii elektrycznej uzyskuje się dzięki zastosowaniu technologii LED. Źródłami diodowymi można już zastąpić, mniejszej mocy tradycyjne żarówki na gwint E27, E14 oraz halogeny na 12 i 230 V. Zakres ich zastosowań będzie i jest dużo szerszy niż świetlówek kompaktowych. Dają one oszczędność kilkudziesięciu procent energii. Technologia ta jednak w dalszym ciągu jest rozwijana i, w najbliższych latach, można się spodziewać lepszych rezultatów.

Przy źródłach diodowych należy jednak zwrócić szczególną uwagę na ich parametry związane z barwą wytwarzanego światła oraz ze wskaźnikiem oddawania barw. Mogą się one różnić znacząco w zależności od producenta i rodzaju zastosowanych diod.

Tabela 4.5. Parametry najpopularniejszych obecnie źródeł światła

Parametr	Żarówka	Żarówka halogenowa	Zintegrowana świetlówka kompaktowa	LED
Trwałość	1000 h	2000–5000 h	6000–15000 h	30000–50000 h
Temperatura barwowa	2856 K	3000–4000 K	2800–4000 K	Różne temperatury i barwy światła
Dostępne moce	Od kilku do kilkuset watów	Od kilku do kilkuset watów	Od kilku do kilkudziesięciu watów	
Oszczędność w porównaniu z żarówką	–	Dla najnowocześniejszych do 50 %	Ok. 80 %	Ok. 80 %

Omawiając zagadnienie energooszczędnego oświetlenia w domu, przeważnie mówi się o wymianie żarówek na wydajniejsze zamienniki. Wymiana żarówek nie wyczerpuje wszystkich działań zmierzających do uzyskania energooszczędnego oświetlenia. Niemniej ważne jest sterowanie oświetleniem, obejmujące włączanie i wyłączanie, kontrolę obecności, zmiany poziomu natężenia oświetlenia, zarówno centralnie jak i lokalnie. Istotnym elementem jest również wykorzystanie sterowania czasowego.

Sterowanie oświetleniem wykonuje się:

- ręcznie, bezpośrednio przez użytkowników z wykorzystaniem urządzeń wchodzących w skład instalacji elektrycznej, przycisków, ściemniaczy lub pilotów podczerwieni,
- automatycznie, poprzez system czujników zmieniających funkcje oświetlenia w zależności od zmian parametrów zadanych,
- półautomatyczne, będące połączeniem trybu ręcznego i automatycznego,
- z wykorzystaniem zegarów do ustawiania harmonogramów pracy instalacji oświetleniowej.

Energooszczędne sterowanie oświetleniem w budynku opiera się na parametrach stosowanego systemu zarządzania oświetleniem.

Ważną funkcjonalnością oprócz włączania/wyłączania jest umożliwienie użytkownikom zmiany poziomu oświetlenia dla różnych źródeł światła, począwszy od wychodzących już z użycia tradycyjnych żarówek, poprzez świetlówki fluorescencyjne, halogeny, HID czy LED. Coraz większe znaczenie ma również ustawianie tzw. scen świetlnych, które polegają na wysterowaniu różnych rodzajów źródeł światła w celu wytworzenia zaprojektowanego układu oświetlenia.

Istotną jego cechą jest elastyczne zastosowanie odpowiedniego poziomu światła dziennego w celu zapewnienia mieszkańcom/użytkownikom komfortu przebywania w danym pomieszczeniu, np. podczas prezentacji z użyciem projektora w trakcie konferencji, czy też wykładu. Należy również zabezpieczyć ich przed negatywnymi efektami działania światła dziennego jak rażenie/oślepienie, refleksy.

System zarządzania oświetleniem w budynku powinien być parametryzowany, czyli zapewniający zdefiniowanie maksymalnych/minimalnych poziomów oświetlenia dla danych stref i scen świetlnych, zapewniając optymalny poziom oświetlenia oraz efektywne i produktywne wykorzystanie zużywanej na oświetlenie energii.

Biorąc pod uwagę komfort użytkowników należy umożliwić indywidualizację poziomu oświetlenia. Oznacza to dostosowanie poziomów oświetlenia w każdej strefie czy scenie do indywidualnych ich potrzeb. Regulacja powinna być możliwa w zakresie maksymalnych i minimalnych poziomów światła sparametryzowanych w funkcji istniejących standardów dla użytkownika, norm oraz charakterystyki wykonywanych zadań.

Zarządzanie scenami i strefami oświetleniowymi powinno umożliwiać zaprogramowanie (predefiniowanie) aranżacji światła w poszczególnych strefach.

W systemie sterowania oświetleniem należy przewidzieć również zarządzanie oświetleniem centralne i lokalne. Dzięki zarządzaniu centralnemu użytkownicy mają zdolność do szybkiej implementacji i zmiany polityki oświetleniowej i jej zasad. Zapewnia to możliwość lokalnej zmiany oświetlenia w strefach za pomocą ściemniaczy, włączników naściennych, pilotów na podczerwień.

Kolejnym ważnym elementem systemów zarządzania oświetleniem jest kontrola zajętości i obecności w strefie. Zarządzanie oświetleniem w tym przypadku opiera się na wykorzystaniu czujników ruchu, ciepła i podczerwieni.

Ważnymi elementami systemów zarządzania oświetleniem są inteligentna kompensacja, czyli możliwość zapewnienia wymaganego poziomu oświetlenia z wykorzystaniem kompensacji sztucznych źródeł światła oraz adaptowalność tzn. szybkie dostosowywanie poziomów oświetlenia do zmian w rekonfiguracji pomieszczeń.

Prawidłowo zaprojektowany system zarządzania oświetleniem powinien również pozwalać na prognozowanie obciążenia instalacji oświetleniowej oraz planowanie działań mających na celu redukcję obciążenia systemu w godzinach szczytu cenowego.

Niezwykle ważnym aspektem **budowania energooszczędnego budynku** jest rozbudowany system opomiarowania. Pomiary powinny dotyczyć wszelkich mediów. Pozwala to na zdobycie wiedzy na temat ilości i rodzaju energii zużywanej. Bez zaawansowanego systemu monitoringu użytkownicy i zarządcy obiektów nie są w stanie wskazać, gdzie i w jakim celu zużywa się najwięcej energii oraz nie potrafią dostrzec stanów anormalnych. Brak tych systemów uniemożliwia poprawę bilansu energetycznego w budynku. Pozytywnym zjawiskiem jest coraz częstsze poszerzanie funkcjonalności systemów BMS o monitoring elektroenergetyczny.

### Działania oszczędnościowe

Niskie nasycenie rynku inteligentnym oświetleniem stanowi bardzo duży potencjał energooszczędności – porównywalny do przypadku wymiany w świetłówkach stateczników magnetycznych na elektroniczne. Wymiana tradycyjnych żarówek na zintegrowane świetlówki kompaktowe, żarówki halogenowe, czy LED'y, jest podstawową i najprostszą do realizacji metodą uzyskania energooszczędnego oświetlenia.

W związku z wprowadzeniem dyrektywy EPBD powinno się przeprowadzić następujące działania oszczędnościowe:

- wymiana tradycyjnych źródeł światła (żarówki, świetlówki) na energooszczędne (świetlówki kompaktowe, lampy sodowe),
- dobór właściwych do zastosowania źródeł światła,
- montaż właściwych opraw oświetleniowych,
- zachowanie czystości opraw,
- montaż urządzeń do regulacji natężenia oświetlenia,
- montaż urządzeń automatycznego włączania i wyłączenia oświetlenia,
- zastąpienie oświetlenia ogólnego oświetleniem ogólnym zlokalizowanym,
- właściwe wykorzystanie światła dziennego.

## 5. Zastosowanie energii odnawialnych w budownictwie

Zgodnie z prognozami Komisji Europejskiej w sektorze budownictwa krajów Unii Europejskiej około 40% całkowitej energii zużywanej w UE pochłaniają budynki. W związku z tym redukcja zużycia energii w tej dziedzinie stała się priorytetem w ramach celów „20-20-20” w zakresie efektywności energetycznej. Cele te opisane zostały w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. (Dz. U. L 153 z 18.6.2010, str. 13-35). Zgodnie z tą dyrektywą od 31.12.2020 wszystkie nowe budynki muszą cechować się niemal zerowym zużyciem energii [41, 138, 139].

Dyrektywa ta wprowadza również pojęcie tzw. charakterystyki energetycznej budynków, która wyznacza ilość energii niezbędną do zaspokojenia zapotrzebowania na energię związanego z typowym użytkowaniem budynku. Obejmuje ona energię na potrzeby ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody i oświetlenia. Państwa członkowskie są zobowiązane przyjąć, na szczeblu krajowym lub regionalnym, metodologię obliczania charakterystyki energetycznej budynków, która uwzględni następujące elementy:

- właściwości cieplne budynku (charakterystyka cieplna, izolacja itp.),
- wyposażenie grzewcze oraz zaopatrzenie w ciepłą wodę,
- instalacje klimatyzacyjne,
- zintegrowaną instalację oświetleniową,
- wewnętrzne warunki klimatyczne.

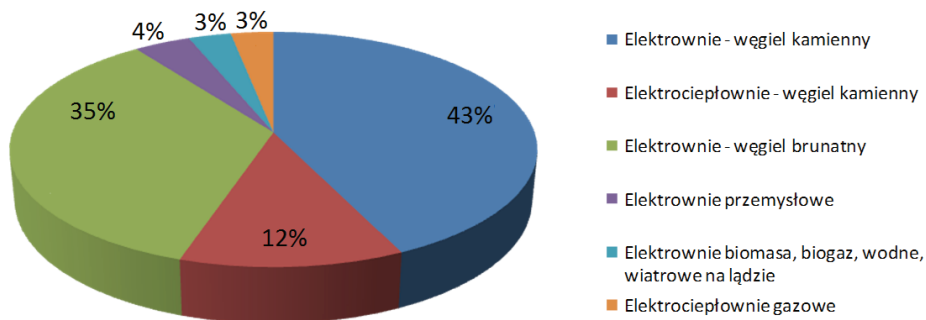
Pod uwagę jest brane także pozytywne oddziaływanie innych elementów: lokalnych warunków nasłonecznienia, naturalnego oświetlenia, wykorzystania kogeneracji do wytwarzania energii elektrycznej oraz miejskich lub zbiorowych systemów grzewczych i chłodniczych.

Przepisy te skłaniają do wprowadzania nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie energooszczędnego budownictwa. Ponadto pełnią one rolę edukacyjną, poszerzając wiedzę na temat oszczędzania energii i wyboru produktów, i urządzeń cechujących się zmniejszonym zapotrzebowaniem energetycznym. Można się spodziewać, że wraz z rozwojem nowych technologii wzrośnie znaczenie energooszczędnych instalacji budynkowych, np. opartych na integracji urządzeń za pomocą magistrali instalacyjnych.

Obecnie znaczna część energii w Polsce wytwarzana jest w elektrowniach wykorzystujących węgiel. Podział wytwarzanej energii ze względu na wykorzystany surowiec przedstawia Rys. 5.1.

Zgodnie z ustawą Prawo energetyczne z 10. 04. 1997 r. odnawialne źródło energii (OZE) to „źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu pozyskiwanego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych” [2, 27, 32].

### Produkcja energii elektrycznej w podziale na technologie



Rys. 5.1. Produkcja energii elektrycznej w Polsce z podziałem na technologie

Podobnie (OZE) jest zdefiniowane, w zmieniającej ją, Ustawie z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii: „odnawialne źródło energii – odnawialne, niekopalne źródła energii obejmujące energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerotermalną, energię geotermalną, energię hydrotermalną, hydroenergię, energię fal, prądów i pływów morskich, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z biopłynów” [139].

Według G. Jastrzębskiej termin odnawialne źródła energii „obejmuje szeroki zakres samo odnawiających się źródeł energii, takich jak: promieniowanie słoneczne, wiatr, przepływ wody, wewnętrzne ciepło Ziemi biomasa, itp., które mogą być wykorzystane przede wszystkim do wytwarzania energii elektrycznej, jak również ciepła oraz magazynowania energii”. Pierwotne źródła energii odnawialnych wykazują pewną cykliczność, jednak w dostępnej nam skali czasowej nie ulegają wyczerpaniu. Odnawialne źródła energii mają tę szczególną właściwość, że nie zużywają się w procesie użytkowania, a ich wykorzystanie nie zubaża przyszłych pokoleń w zasoby energetyczne i walory środowiska naturalnego [47, 49, 99, 139–142, 144–146]. Źródła pierwotne, w wyniku naturalnych przemian zachodzących w przyrodzie, powodują powstawanie innych form energii np.: wody, wiatru, biomasy itd.

Istotne jest również to, że odnawialne źródła energii elektrycznej nie są w żaden sposób uciążliwe dla środowiska naturalnego.

Bardziej „zielone” są domy, w których część energii pozyskuje się z alternatywnych źródeł. Do najpopularniejszych sposobów należy wykorzystanie energii pochodzącej z promieni słonecznych dzięki kolektorom oraz korzystanie z turbin wiatrowych, ogniw fotowoltaicznych, pomp ciepła, mat i paneli grzewczych.

Zgodnie z informacją na stronie internetowej Prezydent.pl Pan Prezydent Bronisław Komorowski podpisał w dniu 11 marca 2015 r. ustawę z dnia 20 lutego tegoż roku o odnawialnych źródłach energii. Ustawa wejdzie w życie po upływie 30 dni od dnia ogłoszenia. Część przepisów, m.in. dotyczących nowych form wsparcia wytwórców z odnawialnych źródeł energii (rozdział 4) wejdzie w życie z dniem 1 stycznia 2016 r. Oznacza to, że w ustawie pozostał zapis tzw. prosumencki, który gwarantuje posiada-

czom przydomowych mikroinstalacji, np. fotowoltaicznych o mocy do 10 kW odkup od nich zielonej energii po cenie gwarantowanej i wyższej niż rynkowa. Zmiana, jaką niesie za sobą ustawa, będzie miała szerokie konsekwencje. Do tej pory nie istniały mechanizmy, który zachęcałby małych producentów energii do sprzedaży zakładom energetycznym. Prosumentom zależało przede wszystkim na tym, żeby instalacje produkowały energię na potrzeby ich gospodarstwa domowego.

Obecnie w Polsce tylko ok. 2,8 proc. energii pochodzi z odnawialnych źródeł. Spośród wszystkich rodzajów źródeł energii odnawialnej największe oczekiwania budzi energetyka słoneczna. Wynika to z wielkiej dostępności tej formy energii oraz z niewyobraźalnych wręcz jej zasobów. Energia słoneczna należy do tzw. czystej technologii nieprodukującej groźnych dla środowiska zanieczyszczeń. Technika solarna, która do niedawna nie była konkurencyjna w stosunku do konwencjonalnych technik pozyskiwania energii, w ostatnich latach zanotowała ogromny postęp, zarówno w obszarze technologicznym, jak ekonomicznym [2]. Dotyczy on zwłaszcza technologii fotowoltaicznych, które obecnie stają się już konkurencyjne dla konwencjonalnych technik pozyskiwania energii. W związku z dużym postępem dokonującym się w technologiach wytwarzania ogniw fotowoltaicznych i związaną z tym rosnącą wydajnością, tradycyjna architektura modułu PV staje się ograniczeniem dla zwiększenia jego wydajności, a nawet powiększa koszt jego produkcji w wyniku braku kompatybilności pomiędzy dotychczasowymi technologiami produkcji, a innowacyjnymi ogniwami nowej generacji.

Energia promieniowania słonecznego może ulegać przemianie w energię użytkową na drodze: konwersji fototermicznej, w której zachodzi przemiana energii promieniowania słonecznego w ciepło (przy pomocy kolektorów słonecznych), konwersji fotowoltaicznej, w której zachodzi przemiana energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną (przy pomocy ogniw fotowoltaicznych), konwersji fotochemicznej, w której zachodzi przemiana energii promieniowania słonecznego w energię chemiczną lub inne formy energii związane z procesami chemicznymi, np. energię biochemiczną.

Obecnie na rynku najpopularniejsze są panele fotowoltaiczne wykonane z wykorzystaniem ogniw krzemowych, które można podzielić na trzy grupy:

- ogniwa monokrystaliczne, charakteryzujące się ciemną barwą, wykonane z jednego monolitycznego kryształu krzemu. Ich sprawność wynosi zazwyczaj od 18 do 22 %,
- ogniwa polikrystaliczne, posiadają one niebieską barwę oraz wyraźnie zarysowane kryształy krzemu; ich sprawność wynosi zazwyczaj od 14 do 18 %,
- ogniwa amorficzne, o lekko bordowym kolorze, wykonane z amorficznego, bezpostaciowego, niewykryształowanego krzemu; ich sprawność wynosi zazwyczaj od 6 do 10%.
- ogniwa cienkowarstwowe na bazie tellurku kadmu (CdTe) i siarczku kadmu (CdS), stają się coraz bardziej popularne, gdyż znajdują one szerokie zastosowanie – zwłaszcza w budownictwie jako elementy konstrukcyjne dachów oraz elementy architektoniczne.



Przykładem nowatorskiego rozwiązania jest technologia FreeVolt™ Extreme Efficiency Solar Module „EESM”, w której wprowadzono matrycę ogniw fotowoltaicznych nowej generacji, zespolonych za pomocą zewnętrznej sieci miedzianych mikrowłókien nie wymagającej lutowania ogniw i wstążek wykonanych ze stopu srebra, miedzi i aluminium. Nowa technologia pozwala na uzyskanie o ponad 10% więcej kWh z każdego kWp dzięki lepszej reakcji na światło rozproszone oraz znikomej wrażliwości tejże matrycy na cień na nią padający. Duże możliwości daje również opracowana w Stanach Zjednoczonych technologia trójwymiarowych ogniw fotowoltaicznych trzeciej generacji. Według szacunków producenta trójwymiarowe ogniwa fotowoltaiczne mogą produkować 200 % mocy konwencjonalnych ogniw słonecznych. Można przewidywać, że w najbliższej przyszłości staną się jeszcze bardziej konkurencyjne.

Potencjalnie duże możliwości może dać wprowadzenie do produkcji ogniw fotowoltaicznych nowego materiału – perowskitów, grupy związków nieorganicznych. Ocenia się, że mogą one z powodzeniem zastąpić w ogniwach fotowoltaicznych najczęściej wykorzystywany do ich budowy krzem.

Badania nad perowskitami prowadzi m.in. polska uczona Olga Malinkiewicz, która za opracowanie innowacyjnej metody pozyskiwania perowskitów otrzymała nagrodę w prestiżowym konkursie Photonics21.

Ograniczeniem w zastosowaniu energetyki słonecznej w Polsce jest nierównomierne rozłożenie w roku okresów dobrego nasłonecznienia. Pomimo tego, w ostatnich latach, obserwuje się dynamiczny rozwój produkcji i zastosowania kolektorów płaskich. W Polsce stosowanie systemów wykorzystujących odnawialne źródła energii, dotychczas było prowadzone w wielu przypadkach bez bezpośredniego uzasadnienia ekonomicznego. Użytkownicy kierowali się modą na ekologiczne rozwiązania, niekiedy instalacje te były np. objęte programami wsparcia w gminach lub preferencyjnymi kredytami w bankach. Polska położona jest w strefie klimatu umiarkowanego (Tabela 5.1). Okres dzienny stanowi 51% z 8767 godzin w roku. Natężenie promieniowania słonecznego waha się średnio dla całego roku od 900 do 1200 kWh/m<sup>2</sup>.

Tabela 5.1. Roczne sumy promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą poza atmosferą (na półkuli północnej, MJ/m<sup>2</sup>) [147]

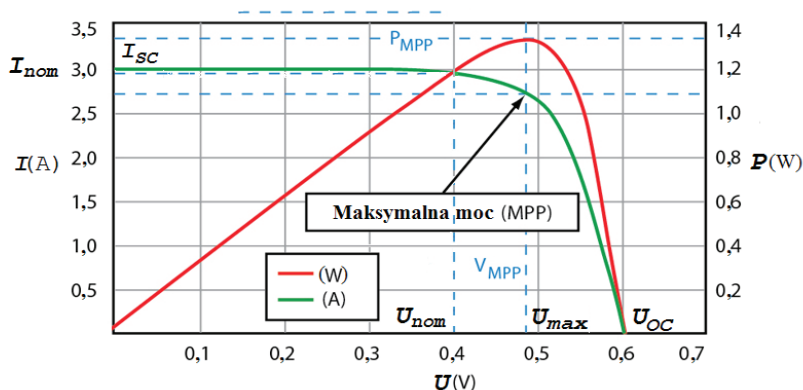
$\varphi$ °	$Q_0$	$\varphi$ °	$Q_0$
5	13 193,3	50	9021,2
10	13 011,0	55	8256,6
15	12 784,6	56	7504,3
20	12 470,8	65	6785,8
25	12 072,8	70	6250,1
30	11 595,0	75	5894,4
35	11 043,0	80	5656,5
40	10 423,7	85	5518,7
45	9145,9	90	5473,5

Najbardziej uprzywilejowane pod względem nasłonecznienia są regiony Lubelszczyzny i Zamojszczyzny ( $1200 \text{ kWh/m}^2$ ). Na okres wiosenno-letni, od początku kwietnia do końca września, przypada 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia. W okresach zimowych słońce świeci osiem godzin dziennie, natomiast w okresach letnich szesnaście. Warunki klimatyczne Polski nie odbiegają znacznym stopniem od warunków panujących w innych krajach, w których energetyka solarna jest już rozpowszechniona.

## 5.1. Instalacje wykorzystujące energię słoneczną

Charakterystyczne punkty, które odpowiadają wyjściowym parametrom elektrycznym ogniwa fotowoltaicznego można otrzymać posługując się charakterystyką prądowo-napięciową  $I = f(U)$  oraz mocy  $P = f(U)$  (Rys. 5.2):

- wartość prądu zwarcia  $I_{SC}$ ,
- wartość siły elektromotorycznej  $U_{OC}$ ,
- punkt mocy nominalnej  $P_{nom}$ ,
- punkt mocy maksymalnej  $P_{max}$ .



Rys. 5.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa i charakterystyka obciążenia dla typowego oświetlonego ogniwa fotowoltaicznego

Na wartość i znajomość mocy oraz energii elektrycznej wytwarzanej przez generator fotowoltaiczny wpływają czynniki zależne od wielu parametrów wejściowych, m.in.:

- położenia geograficznego miejsca instalacji generatora, z którym związany jest kąt pochylenia paneli i azymut,
- warunków klimatycznych: lokalnego zachmurzenia, zaśnieżenia, temperatury, prędkości wiatru oraz zapylenia,
- topografii terenu: wpływu obiektów przesłaniających instalację fotowoltaiczną oraz ewentualnego zwiększenia energii na skutek efektu albedo),
- technicznych: sprawności konwersji ogniw tworzących moduły.

Na pracę generatora wpływ mają również czynniki wyjściowe, które zależą od jego zewnętrznego obciążenia elektrycznego i decydują o położeniu punktu pracy na charakterystyce prądowo-napięciowej. Generator pracuje w punkcie mocy

maksymalnej MPP wtedy, gdy obciążenie powoduje oddawanie przez generator maksymalnej mocy możliwej do uzyskania w danej chwili. Niezbędne jest stosowanie rozwiązań maksymalizujących efektywność konwersji energii słonecznej na elektryczną. Z rozwiązań tych przeważnie rezygnuje się w systemach bardzo małej mocy (do ok. 100 Wp).

### 5.1.1. Systemy fotowoltaiczne

Wyróżnia się trzy podstawowe konfiguracje systemów fotowoltaicznych: wolnostojące, hybrydowe i dołączone do sieci.

#### Systemy wolnostojące

Systemy wolnostojące korzystają jedynie z energii produkowanej w ogniwach fotowoltaicznych.

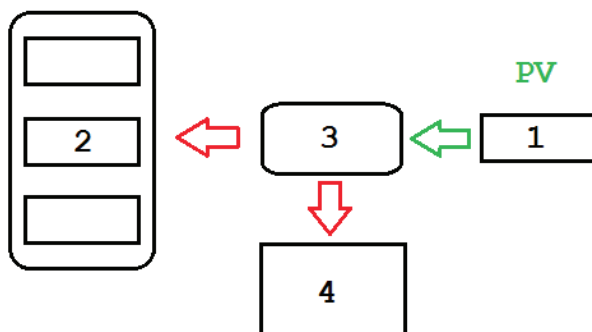
#### Systemy hybrydowe

Systemy hybrydowe są kombinacją panelu fotowoltaicznego i innego systemu wytwarzania energii takiego, jak np. generator spalinowy, gazowy lub wiatrowy. Dzięki zastosowaniu dodatkowego źródła energii panel fotowoltaiczny w systemie hybrydowym może być mniejszy niż w analogicznych systemie wolnostojącym.

#### Systemy dołączone do sieci

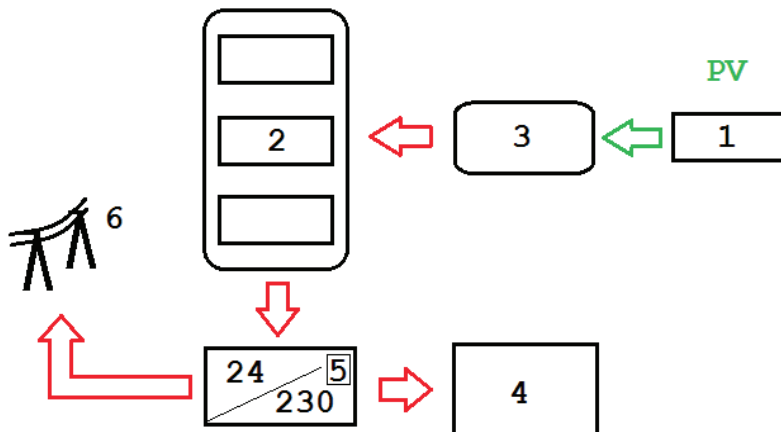
Systemy dołączone do sieci mogą mieć postać elektrowni z dużą ilością paneli fotowoltaicznych oddających energię do sieci elektroenergetycznej. Innym wykorzystaniem takich systemów może być zasilanie budynków dołączonych do sieci, gdzie energię z sieci pobiera się tylko wtedy, gdy zapotrzebowanie na nią przewyższa jej produkcję w ogniwach fotowoltaicznych. Systemy te dołączone są do sieci poprzez falownik. Akumulatory w tym typie systemu nie są potrzebne, ponieważ sieć jest w stanie przyjąć całą energię wyprodukowaną przez system fotowoltaiczny.

System autonomiczny na prąd stały przedstawiono na rysunku 5.3. Energia dostarczana z ogniwa (1) zostaje, przy pomocy regulatora ładowania (3) magazynowana w akumulatorze lub baterii akumulatorów (2). Napięcie stałe pochodzące z akumulatorów przekazywane jest do urządzeń (4) również za pomocą regulatora. Regulator spełnia także funkcje ochronne akumulatorów, chroni je przed przeładowaniem oraz przed zbyt dużym rozładowaniem.



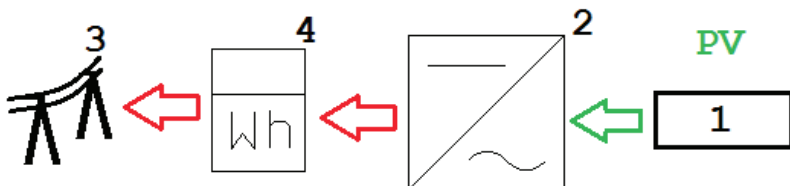
Rys. 5.3. System autonomiczny – zasilanie urządzeń na prąd stały

System autonomiczny z zasilaniem instalacji na prąd sinusoidalny (Rys. 5.4) jest podobny do poprzedniego. Elementy oznaczone numerami 1, 2 oraz 3 są takie same, natomiast pojawia się przetwornica napięcia (5). Element ten pozwala na zasilanie urządzeń (4) pracujących na prąd przemienny o napięciu 230V. Ogniwa fotowoltaiczne nie są zwykle jedynym źródłem zasilania. W przypadku niedoboru energii możliwe jest zasilanie odbiorników również z sieci (6), ewentualnie agregatu prądotwórczego.



Rys. 5.4. System autonomiczny z zasilaniem na napięcie sinusoidalne

Ostatnim z omawianych układów jest system podłączony do sieci (Rys. 5.5). W tym przypadku prąd o stałym napięciu wytwarzany przez ogniwa fotowoltaiczne (1) przetwarzany jest przy pomocy falownika (2) na prąd przemienny. Falownik umożliwia synchronizację z siecią elektroenergetyczną oraz monitoruje pracę sieci tak, aby w przypadku awarii nastąpiło odcięcie układu PV od sieci. W systemie podłączonym do sieci występuje także układ pomiarowy (4), który zlicza energię przesłaną do sieci (3) i na tej podstawie dokonywane jest rozliczenie z zakładem energetycznym (Rys. 5.5).



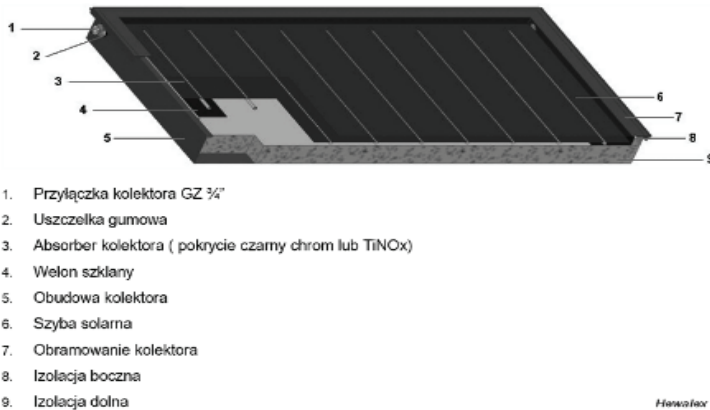
Rys. 5.5. System podłączony do sieci

Bezpośrednie wykorzystanie promieniowania słonecznego do produkcji energii elektrycznej na większą skalę odbywa się przez zastosowanie innych technologii, w tzw. elektrowniach solarnych. Stosowane są tu systemy luster skupiających energię słoneczną z dużych powierzchni na „kotle słonecznym”, wytwarzającym parę wodną do zasilania turbiny parowej napędzającej generator prądu elektrycznego.

### 5.1.2. Solarna instalacja grzewcza

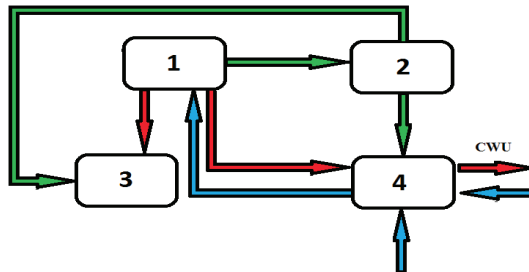
Słoneczna instalacja grzewcza, zwana instalacją solarną, służy do zmiany (konwersji) energii promieniowania słonecznego w ciepło użytkowe. Instalacja taka najczęściej składa się z czterech podstawowych elementów:

- kolektora lub baterii kolektorów słonecznych (Rys. 5.6),



Rys. 5.6. Przekrój płaskiego cieczowego kolektora słonecznego: 1. Przyłącza kolektora GZ 3/4"; 2. Uszczelka gumowa, 3. Absorber kolektora (pokrycie czarny chrom lub TiNOx); 4. Welon szklany; 5. Obudowa kolektora; 6. Szyba solarna; 7. Obramowanie kolektora; 8. Izolacja boczna; 9. Izolacja dolna [140]

- zbiornika solarnego C.W.U lub zewnętrznych przepływowych wymienników ciepła,
- układu sterującego,
- zespołu pompowego (przyłączeniowo-zabezpieczającego) (Rys. 5.7).



Rys. 5.7. Solarna instalacja grzewcza: 1. kolektory słoneczne, 2. regulator systemu solarnego, 3. zespół pompowy, 4. pompa ciepła ze zbiornikiem C.W.U

Dzięki absorberowi umieszczonemu w kolektorze promieniowanie słoneczne zamieniane jest w ciepło i transportowane za pomocą czynnika roboczego (płynu solarnego) do wymiennika. Transport czynnika zapewnia zespół pompowy. Układ sterujący włącza zespół pompowy, gdy temperatura cieczy solarnej w kolektorze jest wyższa niż temperatura wody w zbiorniku. Energia słoneczna jest oddawana wodzie

użytkowej poprzez wymiennik znajdujący się wewnątrz zbiornika. Ogrzana woda jest transportowana poprzez armaturę hydrauliczną do miejsc poboru. Jeżeli ciepło wytworzone przez kolektory przekroczy zdolności akumulacyjne zbiornika, to regulator temperatury wyłącza pompę obiegową a odpowiednie urządzenia zabezpieczające, zamontowane w zespole pompowym, nie dopuszczają do uszkodzenia instalacji.

## 5.2. Energetyka prosumencka

Przy okazji rozwoju energetyki odnawialnej mówi się w Polsce o energetyce prosumenckiej. Energetyka prosumencka jest uważana za element decydujący o nowym kształcie systemu energetycznego, w którym odbiorca będzie nie tylko użytkownikiem, ale także aktywnym uczestnikiem rynku energii. Energetyka prosumencka ma być głównym składnikiem gospodarki niskoemisyjnej, przede wszystkim dzięki wspieraniu efektywności energetycznej. W systemie konwencjonalnym, opartym na wielkoskalowych źródłach, w przybliżeniu 1 na 10 źródeł pracuje wyłącznie na straty sieciowe. Zadaniem energetyki jest wyeliminowanie tego problemu, ponieważ energia jest produkowana w tym samym miejscu, w którym jest użytkowana. Urząd Regulacji Energetyki deklarował gotowość do wdrożenia w roku 2015 modelu regulacji sieciowych tak, by sieci dystrybucyjne otworzyły się na energetykę rozproszoną, w tym energetykę prosumencką. Niezmiernie ważna jest także liberalizacja rynku energii, zwłaszcza w segmencie gospodarstw domowych.

Interesujący wkład do dyskusji na temat roli prosumentów w energetyce wnosi artykuł P. Kacejki i innych [142]. Autorzy przedstawili swoje opinie, poparte obliczeniami wykonanymi za pomocą oryginalnego, całorocznego modelu źródła PV. Stworzony przez nich program umożliwi odwzorowanie obciążenia odbiorcy o dowolnym profilu i mocy generowanej przez instalację fotowoltaiczną o dowolnej mocy, dla każdej godziny, przez okres roku.

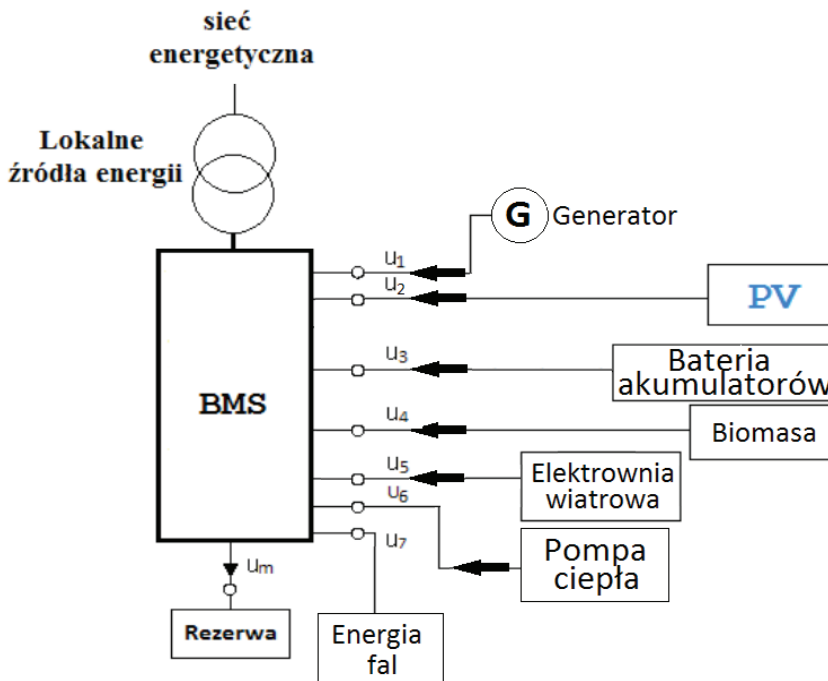
Z przeprowadzonych obliczeń i symulacji wynika, że prosument jest w stanie zużyć na potrzeby własne tylko część wyprodukowanej energii, jest to w dużym stopniu niezależne od mocy znamionowej instalacji. W badaniach przeanalizowano wpływ ceny energii odkupywanej przez sprzedawcę zobowiązanego na efektywność inwestycji. Stwierdzono, że należy w przyszłości się spodziewać instalacji prosumenckich projektowanych z rozwagą i Polsce nie grozi eksplozja przewymiarowanych instalacji PV. Uchwalona wkrótce po ukazaniu się tej publikacji ustawa o odnawialnych źródłach energii jest potwierdzeniem tych rozważań.

Model prosumenta w energetyce jest powiązany z rozwojem idei inteligentnych sieci i inteligentnego opomiarowania. Rozwiązania tego typu mają umożliwić prosumentom dokonywanie prawidłowych rozliczeń wytwarzanej, zużywanej, kupowanej i sprzedawanej energii elektrycznej. Z punktu widzenia spółek obrotu jedną z ważnych przesłanek wdrożenia inteligentnego opomiarowania jest odejście od rozliczeń zużycia w oparciu o prognozy na rzecz rozliczeń na podstawie zdalnych, rzeczywistych odczytów, a w ślad za tym stworzenie możliwości przedstawiania odbiorcom nowych ofert wykorzystujących te odczyty – może powodować to istotne różnicowanie cen w czasie

dość, tygodnia i roku [27]. Według szacunków ekspertów Krajowej Izby Gospodarczej Elektroniki i Telekomunikacji dzięki uchwaleniu przez sejm poprawki prosumenckiej do ustawy o OZE na rozwoju energetyki prosumenckiej skorzystają przede wszystkim firmy polskie. Wynika to z faktu, że przy budowie instalacji prosumenckich, 80 procent ich wartości musi powstać na miejscu. Moce polskich fabryk wytwarzających te urządzenia wynoszą 1 GW rocznie, czyli więcej niż jesteśmy w stanie przyjąć na polskim rynku. Zakłada się, że energetyka prosumencka wygeneruje w Polsce 70 tys. miejsc pracy w ciągu 10 lat. Izba oszacowała, że nowe miejsca pracy powstaną nie tylko w produkcji, ale również w firmach instalujących i konserwujących sprzęt. Pozytywnym zjawiskiem będzie lokalny charakter tego zjawiska oraz wpływ na aktywizację środowiska wiejskiego. Energetyka prosumencka rozwijać się będzie przede wszystkim na terenach wiejskich, słabo zabudowanych, gdyż tam się to będzie najbardziej opłacać.

Wprowadzenie taryf gwarantowanych w tej ustawie może zakłócić ideę energetyki prosumenckiej, zgodnie z którą instalacje powinny służyć produkcji energii na własne potrzeby. Problemowi temu można jednak zaradzić stosując inteligentne systemy pomiarowe w sieciach elektroenergetycznych. Umożliwiają one dwukierunkową komunikację, w czasie rzeczywistym, systemów informatycznych z elektronicznymi licznikami energii elektrycznej oraz mogą automatyzować proces rozliczania odbiorców energii.

Wprowadzenie taryfy gwarantowanej ma również pozytywny wpływ na rozwój energetyki ponieważ zwiększa opłacalność inwestycji w urządzenie OZE, które zamortyzuje się już po 8–10 latach.



Rys. 5. 8. Przykładowa instalacja prosumencka:  $U_1, \dots, U_j, \dots, U_m$  – kontrolowane wejścia



Rozwój sektora prosumenckiego, nawet przy niewielkim poziomie mocy zainstalowanej rzędu 1000 MW w skali kraju, mógłby istotnie stymulować proekologiczne postawy społeczne, promować nowe technologie, ograniczać zachowawcze postawy operatorów systemów dystrybucyjnych. Mógłby więc być społecznie „przyjacielski” [142].

Według projektu europejskiej normy dotyczącej instalacji elektrycznych dla małych lokalnych systemów prosumenckich przewiduje się możliwość pracy autonomicznej (wyspowej), podłączenie na stałe do sieci energetycznej lub oba te rozwiązania łącznie (Rys. 5.8).

Mikroinstalacje OZE jako wyodrębniony segment rynku energetyki odnawialnej po raz pierwszy zostały wprowadzone do dokumentów państwowych oraz jako element polityki energetycznej w 2010 r., wraz z przyjęciem przez rząd „Krajowego planu działań w zakresie odnawialnych źródeł energii” (KPD). Wyodrębnienie mikroinstalacji, a szerzej segmentu mikroenergetyki prosumenckiej z energetyki odnawialnej (także w KPD), wymaga zwrócenia uwagi nie na produkcję energii (zasadnicze podejście dotychczasowego modelu rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce), ale na końcowe wykorzystanie energii i lokalne jej zużycie przez konkretnych odbiorców.

Integracja systemów budynkowych z OZE pozwala przypuszczać, że oprócz uzyskania oszczędności wynikających z zastosowania automatyki budynkowej będzie możliwe wspomaganie poprzez wykorzystanie źródła energii odnawialnej.

Odnawialne źródła energii zgodnie z przyjętą przez rząd Polityką Energetyczną Polski do 2030 roku mają stanowić 20% całości wytwarzanej w Polsce energii. Szacuje się, że prosumenci będą generować ok. 10% dostaw w skali kraju, natomiast w poszczególnych regionach ten udział może być znacznie większy. Uczestnicy rynku sami będą decydować, czy kupować energię z sieci, czy ją produkować na własny użytek. Jednym z głównych kierunków rozwoju rynku energii elektrycznej na świecie, w Europie i w Polsce może okazać się odejście od tzw. energetyki systemowej na rzecz lokalnej energetyki rozproszonej, w której głównym wyznacznikiem zmian są zachowania prosumentów, ze szczególnym uwzględnieniem inwestycji w małe mikroźródła OZE. Zawarte w Ustawie o Odnawialnych Źródłach Energii nowe rozwiązania i mechanizmy zakładają uproszczenie i dodatkowe elementy wsparcia dla mikroinstalacji. Przyszłość pokaże, czy staną się one stymulatorem rozwoju rynku energetyki odnawialnej.

### **5.2.1. Wybrane warianty systemów autonomicznych w domu inteligentnym zasilane z instalacji fotowoltaicznych**

Najważniejsze przy projektowaniu systemów autonomicznych (wyspowych) jest zapewnienie korelacji pomiędzy produkcją energii elektrycznej i zapotrzebowaniem urządzeń, które ją wykorzystują. Brak dopasowania profilu produkcji energii przez system fotowoltaiczny wynika z nierównomiernego nasłonecznienia w poszczególnych miesiącach roku. Różnica produkcji energii między miesiącami letnimi a zimowymi może sięgać nawet 400%, i nie można jej pobrać z sieci. Skutkiem tego jest konieczność zastosowania baterii akumulatorów, które są w stanie zgromadzić nadwyżki produkowanej energii, wykorzystywane w czasie niedoboru produkcji.

### Brama wjazdowa, garażowa i rolety

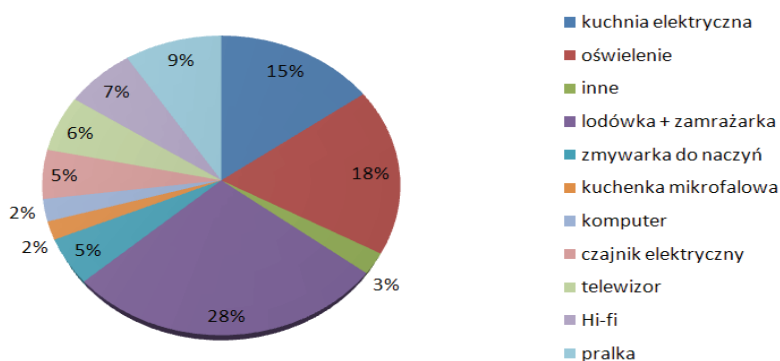
Jako systemy autonomiczne w domach inteligentnych warto wydzielić zasilanie takich urządzeń jak bramy wjazdowe/garażowe i rolety z napędem elektrycznym. Są to urządzenia, które są używane do kilka razy dziennie, a pobór ich energii nie jest duży i, w trybie czuwania, wynosi około 10 W. Warto także zastosować autonomiczne zasilanie tych urządzeń ze względów praktycznych. W przypadku braku energii elektrycznej z powodu awarii systemu sieciowego nie ma konieczności kłopotliwego wysprzęglania napędów elektrycznych tych urządzeń. Dla rolet z napędem elektrycznym często jest to wręcz niemożliwe technicznie.

### Oświetlenie

W Polsce przeciętne gospodarstwa domowe są trzyosobowe i zużywają średniorocznie ponad 1900 kWh energii elektrycznej. Miesięczne zużycie energii w takim gospodarstwie wynosi średnio 158 kWh, a dzienne około 5,3 kWh. Na oświetlenie elektryczne zużywa się średnio 20% całkowitej energii, co stanowi około 1 kWh energii dziennie.

Poniższy diagram przedstawia rozkład zużycia energii elektrycznej w przeciętnym gospodarstwie domowym, do zasilana sprzętu AGD, RTV oraz oświetlenia.

### **Zużycie energii w gospodarstwie domowym**



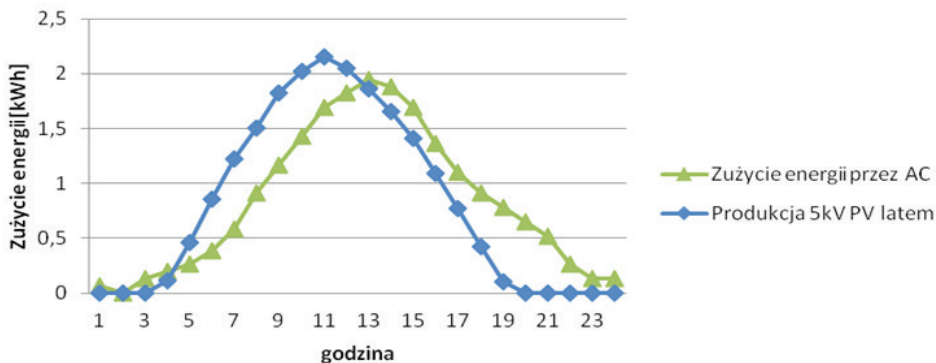
Rys 5.9. Rozkład zużycia energii w typowym gospodarstwie domowym

Źródło: Agencja Rynku Energii

### Autonomiczny system klimatyzacji

Klimatyzacja należy do urządzeń, które mają największe zapotrzebowanie na energię elektryczną w czasie największego nasłonecznienia. Z tego względu stopień wykorzystania energii z modułów fotowoltaicznych powinien być bardzo duży. Dodatkową korzyścią jest, że klimatyzatory używane są głównie w miesiącach letnich, kiedy to skuteczność działania ogniw fotowoltaicznych jest największa.

Korelacja pomiędzy produkcją energii przez instalację PV a zapotrzebowaniem energetycznym układu klimatyzacji jest znaczna (Rys. 5.10). Należy zauważyć jednak, że energia zużywana jest przez klimatyzację tylko w okresie letnim, zatem, ewentualne jej nadwyżki w innych okresach, należy wykorzystać w inny sposób.



Rys. 5. 10. Korelacja zużycia energii przez układ klimatyzacji i produkcji energii przez układ fotowoltaiczny o mocy 5 kW w porze letniej

*Źródło: Opracowanie na podstawie danych Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju i FSEC (Florida Solar Energy Center)*

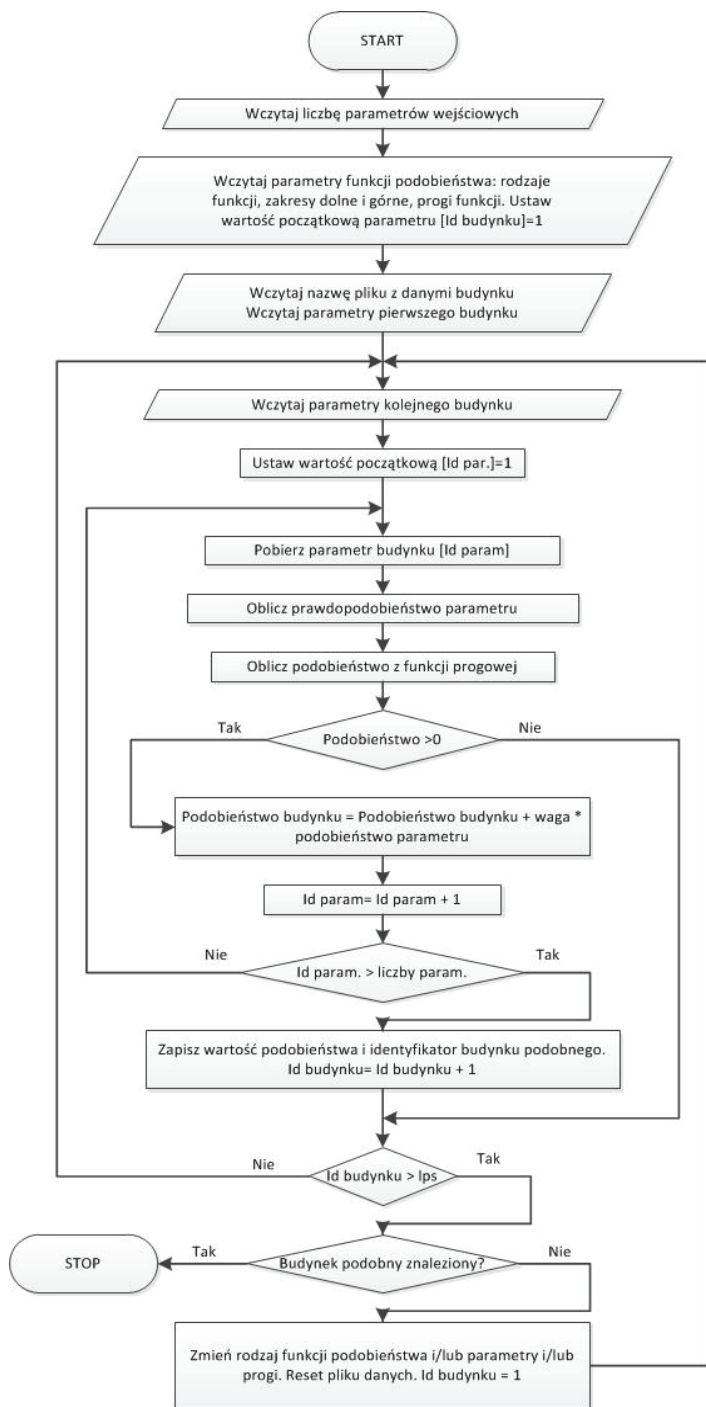
Regulacja nadwyżek i deficytu energii jest ważnym zagadnieniem, szczególnie w przypadku instalacji prosumenckich. Układ PV umożliwiający zaspokojenie potrzeb energetycznych obiektu w miesiącach zimowych wyprodukuje kilkukrotność tej energii w okresie lata. Z tego powodu głównym problemem przy projektowaniu układu zasilającego jest technologia jej magazynowania, póki co mało efektywna i droga.

Nadmiar energii w okresie letnim można wykorzystać do podgrzewania wody w zbiorniku c.w.u lub w basenie. Należy pamiętać o nadzorowaniu poziomu naładowania baterii akumulatorów. Do tego celu można zastosować analizator mocy, który służy również do kontroli przepływu prądu do odbiorników z OZE.

W przypadku wzrostu napięcia w układzie prądu stałego do założonej wartości granicznej, w celu ograniczenia dalszego wzrostu, analizator uruchomi obwody przewidziane do wykorzystania nadmiaru produkcji energii ze źródeł OZE. Mogą to być obwody zasilania grzałki zbiornika c.w.u i klimatyzatora typu multi-split. Klimatyzator multi-split składa się z jednostki zewnętrznej, która może obsługiwać dużą liczbę jednostek wewnętrznych. Stosuje się to rozwiązanie w przypadku, gdy nie ma możliwości zastosowania kilku agregatów chłodniczych na elewacji lub dachu budynku.

Za sprawną wymianę powietrza w pomieszczeniach, dostarczenie świeżego powietrza i usuwanie zanieczyszczonego odpowiada system wentylacji, zaś za komfort cieplny, w znacznej mierze, odpowiedzialne są systemy klimatyzacji i ogrzewania. Utrzymanie optymalnego komfortu cieplnego dla osób pracujących w pomieszczeniach, lub spełniającego warunki narzucone przez proces technologiczny, oznacza utrzymanie zadanej temperatury z określoną dokładnością.

Dla przykładu w projektowanym budynku autonomicznym, którego moc elektryczna zapotrzebowana łącznie wynosi 12,5 kW, zastosowano falownik F3T20/240 o napięciu wyjściowym 400 VAC oraz baterię paneli PV, zbudowaną z modułów fotowoltaicznych polikrystalicznych CPP-250-60P, o mocy znamionowej 250 W/szt. i napięciu bez obciążenia  $U_{oc} = 37,12V$ .



Rys. 5.11. Sieć działań algorytmu wyszukiwania budynków podobnych

Źródło: Opracowanie na podstawie [143]

Drugim zadaniem analizatora jest nadzorowanie i wytyczanie granicy poziomu rozładowania baterii akumulatorów i, w przypadku jej przekroczenia, uruchomienie agregatu prądotwórczego w celu uzupełnienia deficytu energii.

Przewiduje się 2 różne poziomy dopuszczalnego rozładowania baterii akumulatorów uzależnione od pory dnia i produkcji energii przez OZE. Układ nadzorujący załączenie agregatu dopuszcza do 20% rozładowania baterii w godzinach 9.00 – 21.00. Od godziny 21.00 do godz. 8.00 układ dopuszcza do 40% rozładowania baterii. Po godzinie 8.00 rano (do godz. 9.00) układ dopuszcza do 40% rozładowania baterii, jeżeli z OZE będzie dostarczana energia. Jeżeli źródła energii odnawialnej nie będą w tym czasie produkować energii układ załączy agregat w celu naładowania baterii.

Wspomaganie wyboru instalacji prosumenckiej może być przeprowadzone na podstawie bazy projektów wykonanych instalacji podobnych. Metoda ta została zastosowana w hybrydowym systemie projektowania wstępnego statku dla doboru automatyki siłowni, opartym na metodologii CBR (Case Based Reasoning) i narzędziach sztucznej inteligencji [143]. Budynki podobne wyszukiwane są z bazy danych budynków zbudowanych dla najważniejszych ich parametrów. W tym celu można zastosować algorytm wyszukiwania budynków podobnych na podstawie funkcji podobieństwa (Rys. 5.11).

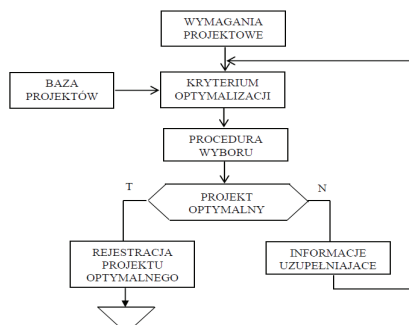
W dziedzinie projektowania instalacji prosumenckich uzasadnione jest zastosowanie podejścia opartego na optymalizacji wielokryterialnej. Pozwala to na uzyskanie następujących korzyści:

- daje szeroki zakres alternatywnych rozwiązań,
- zapewnia wysoką jakość informacji wymaganych w rozwiązaniach instalacji prosumenckich.

W procesie wyboru optymalnej instalacji prosumenckiej mogą być podejmowane następujące decyzje:

- wybór jednego rozwiązania, które jest uznane za najlepsze,
- wybór podzbioru rozwiązań ze zbioru rozwiązań optymalnych,
- ustawienie wszystkich rozwiązań w szereg od najlepszego do najgorszego, tj. utworzenie listy rankingowej.

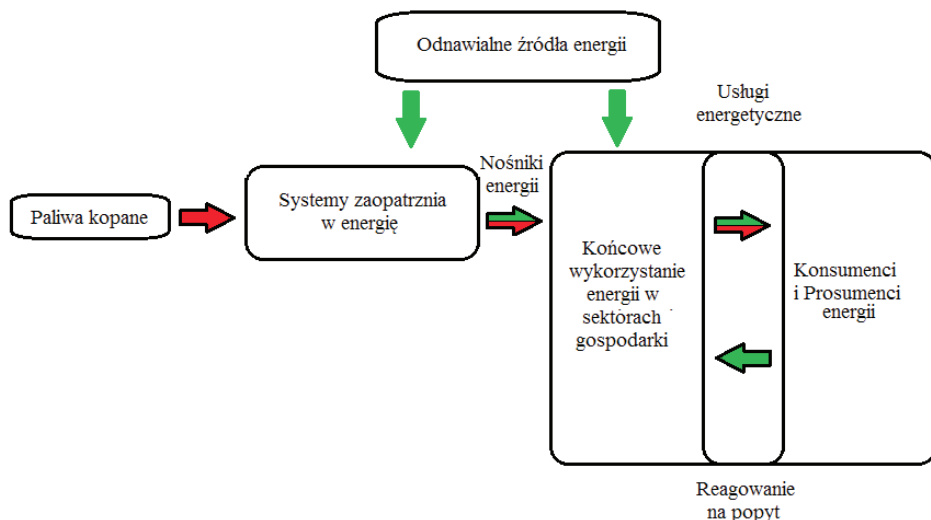
Wybór optymalnego wariantu instalacji prosumenckiej może się odbywać według schematu przedstawionego na Rys. 5.12.



Rys. 5.12. Schemat procesu wyboru wariantu optymalnego

Źródło: Opracowanie na podstawie [143]

Na schemacie (Rys. 5.13) przedstawiono integrację energetyki prosumenckiej i odnawialnych źródeł energii z systemem energetycznym.



Rys. 5. 13. Schemat przedstawiający sposób zintegrowania odnawialnych źródeł energii i energetyki prosumenckiej w systemie energetycznym

Rozwój energetyki prosumenckiej zależy od wielu czynników. Jednym z decydujących jest budowa systemu inteligentnych sieci energetycznych, których zadaniem jest zapewnienie sprawnej komunikacji między uczestnikami rynku energii. Do tego celu wykorzystywane są dostępne technologie informacyjno-komunikacyjne, które pozwalają na bardziej efektywne i zoptymalizowane korzystanie z zasobów energetycznych.

#### **Gromadzenie energii elektrycznej**

Magazynowanie energii z punktu widzenia systemu elektroenergetycznego jest bardzo ważnym zagadnieniem. Dąży się do zapewnienia ciągłości i pewności działania sieci poprzez odpowiednie zrównoważenie popytu i podaży energii elektrycznej. Magazyny energii elektrycznej stają się, zatem ważną częścią Inteligentnych Sieci Energetycznych, a także mikroinstalacji przydomowych wykorzystujących odnawialne źródła energii.

Dla użytkowników domowych magazynowanie energii ma szczególnie duże znaczenie ze względu na to, że zapewnia ono możliwość korzystania z energii elektrycznej nawet wtedy, gdy dane odnawialne źródło energii nie wytwarza jej w wyniku zmienności i niestabilności warunków pogodowych.

Magazyny energii znajdują najszersze zastosowanie w instalacjach typu off-grid, czyli tzw. instalacjach wyspowych bez dostępu do energii elektrycznej z zewnętrznego źródła, gdzie cała energia musi zostać zgromadzona i wykorzystana na własne potrzeby.

Najprostszym sposobem magazynowania energii w mikroinstalacjach OZE jest wykorzystanie ogniw elektrochemicznych. Akumulatory elektrochemiczne cechują się sprawnością rzędu 70%, co oznacza, że akumulator jest w stanie oddać 70% energii pobranej ze źródła:

$$\eta_A = \frac{E_{OA}}{E_{PA}} \quad (5.1)$$

gdzie:

$\eta_A$  – sprawność akumulatora,

$E_{OA}$  – energia oddana akumulatora [Wh],

$E_{PA}$  – energia pobrana akumulatora [Wh].

W mikroinstalacjach stosuje się akumulatory:

- ołowiowo-kwasowe,
- nikłowo-kadmowe,
- proszkowe,
- ołowiowo-kwasowe żelowe.

Od akumulatorów oczekuje się takich cech, jak: niewielki ciężar, długa żywotność, duża pojemność, łatwe ładowanie, duży prąd wyładowania, mała zależność od temperatury, duża liczba cykli rozładowania-naładowania, długi okres użytkowania, niewielkie samowyładowanie.

O przydatności do pracy w systemie wyspowym decyduje w głównym stopniu odporność akumulatora na częste ładowanie i głębokie rozładowanie. W popularnych akumulatorach rozruchowych rozładowanie do poziomu 80% powoduje ich niszczenie, a ich żywotność wynosi około 1000 cykli. Dlatego też w instalacjach off-grid stosuje się inny rodzaj akumulatorów – tzw. akumulatory trakcyjne, które używane są między innymi w pojazdach napędzanych elektrycznie. Charakteryzują się one wysoką odpornością na głębokie rozładowanie – nawet do 20% pojemności i o wiele dłuższą żywotnością wynoszącą około 2500 cykli [12].

### 5.3. Czynniki ograniczające wykorzystanie energii odnawialnych w budownictwie

Najważniejsze grupy prosumentów to gospodarstwa domowe, gospodarstwa rolne oraz małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP), które znajdują się głównie na wsi i terenach podmiejskich. Instalacje prosumenckie są zlokalizowane po stronie popytu, działają wtedy na rzecz ograniczenia strat energii w łańcuchu dostaw z zewnątrz. Elementem inteligentnych sieci energetycznych (ISE) i mikrosieci są również m.in. systemy zdecentralizowanego (blisko odbiorcy i blisko mikroinstalacji) magazynowania energii.

Według analiz Instytutu Energetyki Odnawialnej do 2020 roku łączna moc (elektryczna i ciepła) zainstalowana w mikroinstalacjach OZE może wynieść około 25 GW. Prognoza zakłada, że liczba instalacji prosumenckich przekroczy 2,5 mln.



Prognozy Instytutu im. Kwiatkowskiego i Społecznej Rady ds. Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej przewidują 2 mln instalacji i około 6 GW mocy, generujących ponad 6 TWh energii.

Wobec faktu, że Polska jest dużym krajem i duży odsetek ludności (niemalże 40%) żyje na obszarach wiejskich i peryferyjnych, prognozowane liczby prosumentów są realne. Organizacja Micropower Europe [27] prognozuje w swoim „ostrożnym” scenariuszu, że w 2020 w UE będzie ok. 50 mln mikroinstalacji. Aktualna liczba prosumentów w Niemczech jest niemalże dwukrotnie wyższa niż obliczona dla Polski w 2020 roku. Eksperci pracujący dla rządu Wielkiej Brytanii przewidują, że w 2020 roku może tam być uruchomionych ponad 13 mln mikroinstalacji. Oficjalny program rządowy DECC w Zjednoczonym Królestwie Wielkiej Brytanii i Irlandii przewiduje 8 mln instalacji.

Obecne uchwalone prawo, dotyczące instalacji OZE, umożliwi sprzedaż energii wyprodukowanej przez wszystkie instalacje odnawialne w atrakcyjnych cenach [139]. Przykładem jest tutaj instalacja fotowoltaiczna o mocy do 3 kW włącznie, dla której ustalono stawkę 0,75 zł/kWh. Takie podejście ustawodawcy zwiększy zainteresowanie potencjalnych prosumentów tym rodzajem energii. Umożliwi to, oprócz maksymalnego skonsumowania energii pochodzącej z instalacji OZE na potrzeby własne, sprzedaż nadwyżek energii. Przydatnym w tej sytuacji jest dokładne wyznaczenie profilu zużycia energii, czyli własnego zużycia energii.

Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych pozwala na prowadzenie badań nad profilami zużycia energii w budynkach inteligentnych, które określają zużycie energii w czasie. Możliwość badania wpływu poszczególnych urządzeń na zużycie energii w budynku generuje oszczędności energii wynikające z dostosowania pracy urządzeń inteligentnych systemów do profilu zużycia energii w budynku.

Mimo, iż wykorzystanie OZE w budownictwie, póki co, stanowi niewielki ułamek zapotrzebowania energetycznego, to należy spodziewać się, że takie zastosowania będą się pojawiać coraz częściej.

W następnym rozdziale przedstawiono przykłady zaprojektowanych przez Autora zrównoważonych systemów zarządzania energią wykorzystujących odnawialne źródła energii.

## 6. Przykłady zastosowań energooszczędnych systemów zarządzania energią z odnawialnymi źródłami energii

### 6.1. Instalacje inteligentne w gospodarstwie agroturystycznym

Żadna forma turystyki nie odbywa się bez ingerowania w otoczenie i środowisko naturalne. Rozwój turystyki niszczy ideę turystyki. Przemysł turystyczny „zjada własny ogon”. Współczesną turystykę należy ujmować w sposób holistyczny oraz interdyscyplinarny, dążąc do jej zrównoważonego rozwoju, czyli ekoturystyki (turystyka ekologiczna, odpowiedzialna, zrównoważona) [37, 115, 139, 151].

Według definicji Światowej Organizacji Turystyki (UNWTO), turystykę stanowią czynności osób, które podróżują i przebywają w celach wypoczynkowych, służbowych lub innych nie dłużej niż rok bez przerwy, poza swoim codziennym otoczeniem. Z określenia tego są wyłączone wyjazdy, w których głównym celem jest aktywność zarobkowa wynagradzana w odwiedzanej miejscowości. Turystyka jest specyficznym sektorem gospodarki, który kojarzy się przeważnie z wypoczynkiem i rekreacją. Charakteryzuje się sezonowością oraz przywiązaniem do regionu, którego dotyczy oferta wakacyjna.

Organizatorzy ofert turystycznych, w planowaniu imprez rekreacyjnych, muszą kierować się oczekiwaniami klientów oraz końcową konsumpcją dóbr i usług turystycznych. Charakterystyczną cechą tej dziedziny gospodarki jest konsumpcja produktu w miejscu wytworzenia. Do tradycyjnych branż turystyki zalicza się m.in.: hotelarstwo, turystykę objazdową, turystykę górską i agroturystykę. Ważną cechą turystyki jest bezpośrednio korzystanie z dóbr środowiska naturalnego.

Wraz z poprawą zamożności społeczeństwa pojawiają się nowe formy spędzania wolnego czasu, wśród nich znaczące miejsce zaczyna zajmować agroturystyka. Wielu turystów poszukuje miejsc nietkniętych jeszcze przez cywilizację. To właśnie w ich stronę jest skierowana propozycja agroturystyki. Modne stają się certyfikaty przyznawane obiektom turystycznym, które stanowią wiarygodne potwierdzenie pro-ekologicznych inicjatyw podejmowanych przez dany hotel, pensjonat, czy gospodarstwo agroturystyczne. Certyfikaty to także rodzaj ram, które pomagają nadać kierunek i skoordynować planowane działania. Agroturystyka jest branżą gospodarki, która w ostatnich latach notuje duży wzrost zainteresowania. Wynika to ze zmieniającego się stylu życia ludzi, którzy poszukują nowych form odpoczynku, znudzeni lub zmęczeni codziennością starają się w czasie przeznaczonym na wakacyjny odpoczynek być bliżej z naturą. Dla niektórych oznacza to aktywne spędzanie urlopu, polegające na uczestnictwie w różnego rodzaju działaniach związanych z wysiłkiem fizycznym w trakcie urlopu, np. rajdy rowerowe, wycieczki piesze, spływy kajakowe.

Ze względu na to pojawiła się również możliwość uaktywnienia ludności z terenów wiejskich, która poza dochodami z działalności typowo rolniczej mogła uzupełniać budżety gospodarstw domowych o wpływy z agroturystyki. Jest to również zgodne z priorytetami zrównoważonego rozwoju w Unii Europejskiej i wyrównywaniem szans ludności z biedniejszych terenów wiejskich.

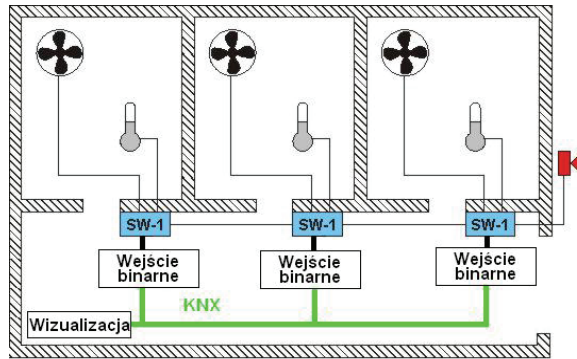
W Polsce występuje jeszcze dużo obszarów atrakcyjnych turystycznie ze względu na niezniszczone środowisko i atrakcyjną geograficznie lokalizację. Zamieszkująca je ludność przeważnie utrzymuje się z uprawy oraz hodowli zwierząt. Rosnący popyt na nowe usługi turystyczne sprawia, że usługodawcy muszą prześcigać się w walce o klientów, kusząc ich atrakcyjną turystycznie okolicą, wygodą, bądź niższą ceną w porównaniu z konkurencją. Ludność wiejska też uczestniczy w rynku usług turystycznych, pozwala to poprawić niekiedy skąpe budżety domowe.

Parametry opisujące mikroklimat w pomieszczeniach gospodarczych (temperatura, wilgotność, natężenie oświetlenia) muszą być kontrolowane i sterowane. Dalej scharakteryzowano komponenty systemu KNX/EIB przeznaczone do sterowania elementami mikroklimatu oraz omówiono specyfikę projektowania inteligentnej instalacji elektrycznej i jej wykorzystania w obiektach sektora rolniczego.

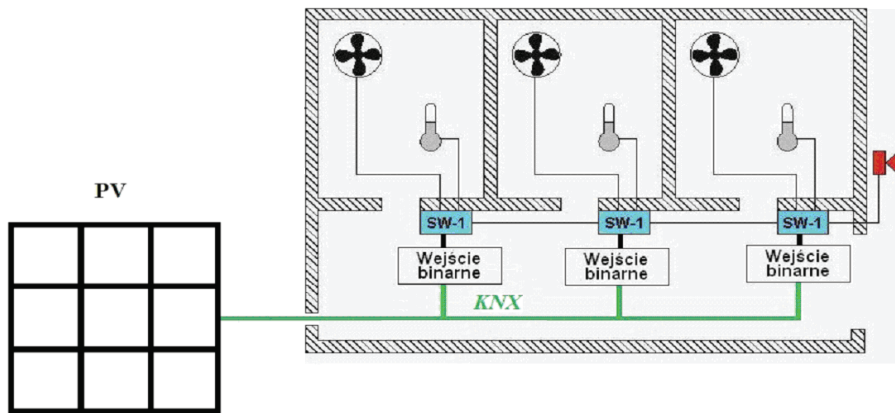
Jednym z warunków poprawy efektywności produkcji zwierzęcej, jest stworzenie zwierzętom gospodarskim warunków bytowania zgodnych z wymogami dobrostanu. Pojęcie dobrostan określony jest jako stan zdrowia fizycznego i psychicznego osiągany w warunkach harmonii ustroju w jego środowisku. Z uwagi na warunki klimatyczne panujące w Polsce, zwierzęta znaczną część swojego życia spędzają w pomieszczeniach zamkniętych. W związku z tym jednym z ważniejszych czynników kształtowania dobrostanu zwierząt jest mikroklimat w pomieszczeniach inwentarskich. Na mikroklimat w budynkach inwentarskich wpływają czynniki natury fizycznej, chemicznej i biologicznej. Wejście do Unii Europejskiej wymusiło na Polsce dostosowanie polskiego prawa do unijnych standardów [Dz. U. Nr 102 poz. 928 z 2002 r., Dokument referencyjny o najlepszych dostępnych technikach dla chowu drobiu i świń. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2005, Dyrektywa 91/630/EEC z 19.11.1991 r. o utrzymaniu świń.]. Szczególnie sektor rolniczy musiał dostosować swoje akty prawne, aby w pełni móc wykorzystywać środki unijne. Wśród głównych wymagań odnośnie dobrostanu zwierząt dokumenty unijne wymieniają m.in.: utrzymanie właściwej temperatury w pomieszczeniu, odpowiednie oświetlenie światłem dziennym lub sztucznym, wymaganą wymianę powietrza. Zapewnienie odpowiednich warunków klimatycznych w budynkach inwentarskich, bez względu czy będzie to chlewnia, kurnik czy obora jest bardzo istotnym elementem dobrostanu zwierząt.

Aby zachować odpowiedni mikroklimat dla zwierząt w pomieszczeniach gospodarczych opracowano kryteria obejmujące temperaturę czy wilgotność powietrza w pomieszczeniu [138]. Optymalne kryteria opracowane są dla różnych gatunków zwierząt a nawet dla tych samych zwierząt w poszczególnych grupach użytkowych w obrębie gatunku.

Dotychczas systemy sterowania mikroklimatem w pomieszczeniach inwentarskich były traktowane jako autonomiczne. Zaproponowane w tej książce rozwiązanie integruje je z systemem inteligentnego budynku. Współczesny farmer jest zainteresowany komfortem i energooszczędnym zarządzaniem instalacjami obiektów budowlanych, które posiada. Przeważnie obok zabudowań inwentarskich znajdują się budynki mieszkalne, ważne jest zintegrowanie tych obiektów. Zaproponowane rozwiązanie polega na integracji instalacji w budynku inwentarskim w systemie KNX/EIB (Rys. 6.1, 6.2).



Rys. 6.1. Integracja sterowania temperaturą z wizualizacją w systemie KNX/EIB



Rys. 6.2. Architektura systemu KNX/EIB z ogniwem fotowoltaicznym: zasilanie z magistrali PV

Oryginalność tego rozwiązania wynika z faktu, że system inteligentny KNX/EIB pierwotnie był przewidziany do automatyki budynku. W tym zastosowaniu łączy dwie funkcje, energooszczędne zarządzanie instalacjami budynkowymi, mieszkalnymi ze sterowaniem klimatem pomieszczeń inwentarskich. Dodatkową jego zaletą jest możliwość wizualizacji instalacji w zarządzanych obiektach oraz zdalnego sterowania. Ponadto integracja instalacji KNX/EIB z ogniwem fotowoltaicznym umożliwia obniżenie zużycia energii i wzmacnia proekologiczny charakter gospodarstwu agroturystycznemu.

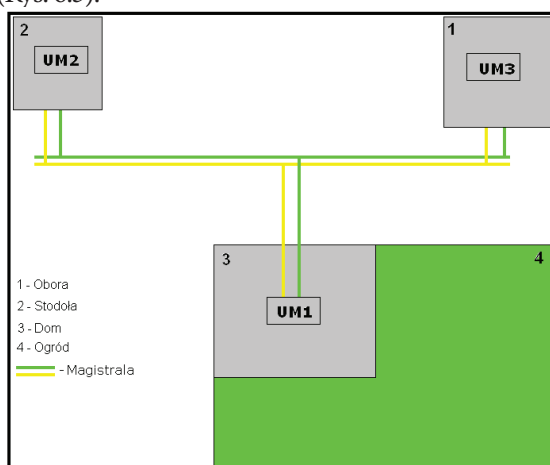
Głównym, niekiedy jedynym, zadaniem tradycyjnych instalacji elektrycznych było doprowadzenie energii elektrycznej do urządzeń znajdujących się w obiektach budowlanych. Podstawowym założeniem przy ich projektowaniu była ochrona użytkowników oraz mienia przed niekorzystnymi zjawiskami, które mogły się pojawić w sieci. Najbardziej kosztochłonnym elementem, generującym największe obciążenia finansowe w dziedzinie usług związanych z hotelarstwem, jest energia elektryczna. Dlatego, nowo powstające obiekty wyposaża się w systemy, umożliwiające minimalizację kosztów poprzez świadome zarządzanie energią, to jest takie, które w sposób narzucony przez obsługę, kontrolują pracę urządzeń, minimalizując straty energii.

W przypadku działalności agroturystycznej, często obiekty są dostosowywane do pełnienia funkcji hotelowych. Polega to raczej na remoncie niż budowie od podstaw obiektów budowlanych. W tym momencie pojawia się sposobność na wprowadzenie „inteligencji” do budynków, które często były projektowane i wykonywane w czasach, gdy nie było takich rozwiązań technicznych. Pojawiły się również nowe urządzenia, które usprawniają pracę w rolnictwie. Obecnie coraz częściej stosuje się rozwiązania ukierunkowane na wykorzystanie energii odnawialnych, np. słońca lub wiatru. Ponadto zintensyfikowano prace nad projektowaniem urządzeń energooszczędnych oraz nad racjonalizacją gospodarowania energią. Dzięki równoczesnemu rozwojowi elektroniki, automatyki i informatyki powstały podstawy do uzyskiwania energooszczędnych rozwiązań.

Pierwsze układy automatyki opierały się na układach przekaźnikowych. Rozwiązania te występują również obecnie w wielu urządzeniach będących komponentami instalacji inteligentnych, np. w aktorach załączających. Nowe technologie w budownictwie spowodowały również zmiany w sposobie projektowania i budowy instalacji elektrycznych. Powszechnie stosowanymi rozwiązaniami są również układy czasowe, sterowanie napędami bram lub rolet oraz energooszczędne sterowanie oświetleniem i ogrzewaniem.

Dzięki częstej konieczności remontowania budynków w gospodarstwach rolnych, w celu przystosowania ich do celów turystycznych, zaistniała możliwość nowego zastosowania systemów inteligentnych, które wcześniej kojarzyły się głównie z apartamentami w hotelach bądź rezydencjach.

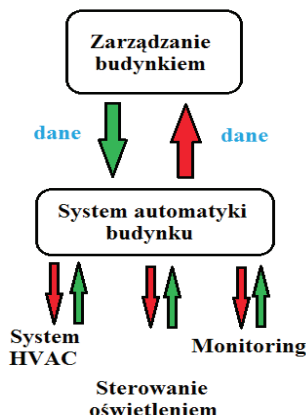
Firmy, które zajmują się organizacją wyjazdów wakacyjnych posiadają w swojej ofercie kwatery wakacyjne. Rozwiązanie to opiera się na wykorzystaniu mieszkań, bądź budynków osób pragnących zarobkowo przyjmować gości. Autor mniejszej publikacji korzystał w przeszłości z takiego sposobu odpoczynku wakacyjnego w Polsce, Słowacji i Austrii. Istotną cechą proponowanej oferty była standaryzacja usług. Kwatery wakacyjne w tych krajach pomimo różnic kulturowych posiadały ten sam standard wykonania. Osoby prowadzące taką działalność ceniły sobie jasno określone warunki organizacji kwater oraz standaryzację usług (Rys. 6.3).



Rys. 6.3. Instalacja magistralna w budynkach agroturystycznych: 1 – obora, 2 – stodoła, 3 – dom, 4 – magistrala, UM 1÷3 – urządzenie magistralne

Wielu wczasowiczów pomimo poszukiwania bliższego kontaktu z naturą pragnie w miejscu pobytu mieć dostęp do wygód o jak najwyższym standardzie. Właściciele obiektów wakacyjnego pobytu, którzy w trakcie prowadzenia działalności goszczą ludzi o różnej kulturze i podejściu do oszczędności energii, zdają sobie sprawę z faktu, że maksymalizacja ich zysków zależy również od zużycia mediów.

Integrację instalacji domowych w budynkach gospodarstw agroturystycznych można zrealizować za pomocą sieci internetowej, gdzie poszczególne domy traktowane są jak stacje robocze w modelu laboratoryjnym systemu Building Monitoring and Control System (BMCS) (Rys. 6.4)).



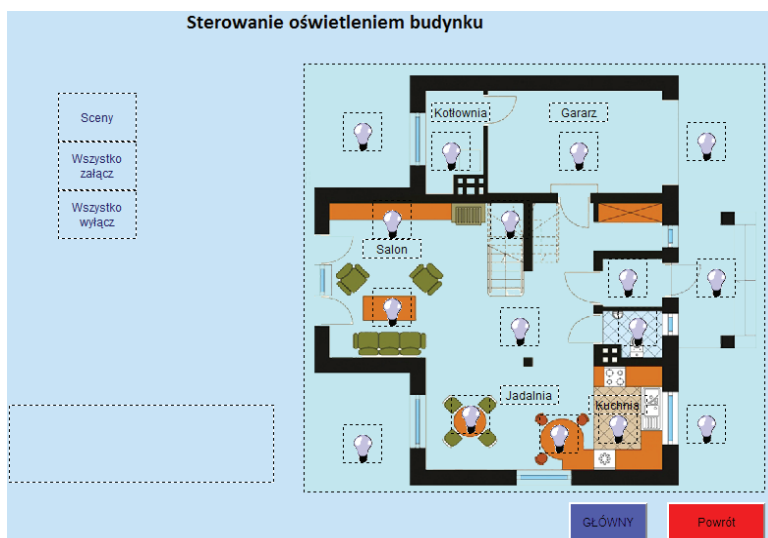
Rys. 6.4. Przykład systemu BMCS dla budynku w gospodarstwie agroturystycznym

Głównym stymulatorem działań proekologicznych organizatorów wczasów agroturystycznych jest doświadczenie, że zastosowanie w kwaterach wakacyjnych rozwiązań technicznych i organizacyjnych dedykowanych ochronie środowiska wpływa na znaczące obniżenie kosztów eksploatacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na zużycie energii, wody i gospodarkę odpadami. Dzięki zastosowaniu instalacji inteligentnych, które są zintegrowane z siecią internetową możliwa też jest wizualizacja i monitoring zużycia energii w domu wakacyjnym.

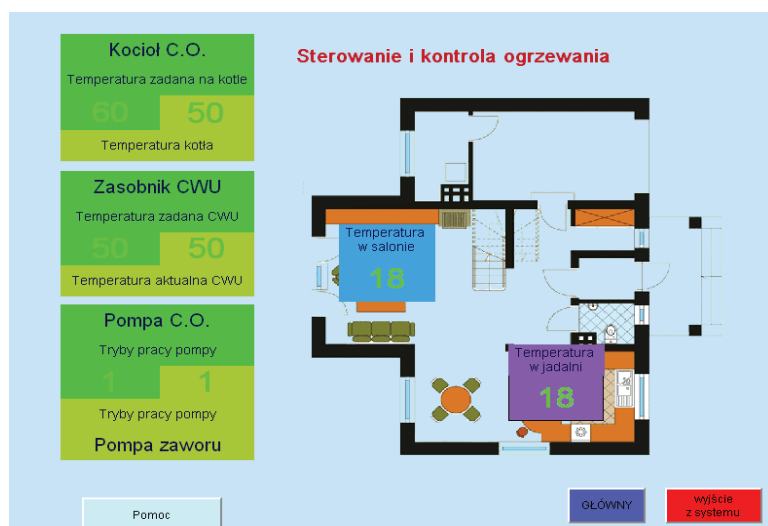
#### **Wizualizacja instalacji w gospodarstwie w panelu XV**

Systemem, który bardzo dobrze jest dostosowany do integracji z każdą instalacją elektryczną jest xComfort [190]. Dzięki zastosowaniu bezprzewodowego sposobu sterowania można to rozwiązanie adaptować do każdej instalacji. Umożliwia ono sterowanie oświetleniem, roletami, ogrzewaniem i innymi urządzeniami (Rys. 6.5, 6.6). Wizualizację domu wykonuje się za pomocą specjalnego programu narzędziowego Galileo, którą się następnie wgrywa do panelu XV. System xComfort doskonale spełnia swoje zadania w obiektach z istniejącą tradycyjną instalacją elektryczną oraz w nowych inwestycjach. Komunikacja urządzeń sterujących odbywa się drogą radiową, eliminuje to potrzebę instalowania specjalnego przewodu do transmisji telegramów z danymi sterującymi urządzeniami. Przyciski bezprzewodowe są dostosowane do mocowania na dowolnych powierzchniach, np. szkło, drewno. Pozwala to na wygodne dopasowanie ich do wnętrza na przykład w budynku agroturystycznym [8, 24, 50, 84].





Rys. 6.5. Sterowanie oświetleniem w budynku agroturystycznym



Rys. 6.6. Sterowanie i kontrola ogrzewania w budynku agroturystycznym

Programowanie paneli operatorskich jest wykonywane przeważnie za pomocą specjalnego oprogramowania narzędziowego, np. Galileo, EisBär KNX, Tebis Vis [15, 56, 57, 149, 152–158, 163]. Do instalacji inteligentnej można mieć dostęp za pomocą Internetu. Pozwala to osobom zarządzającym obiektami wakacyjnymi mieć dostęp do informacji o stanie ich instalacji na bieżąco. W sytuacjach, w których oprócz wizualizacji obiektu występuje również potrzeba wykonania interfejsów programowych oraz przyrządów wirtualnych, aby diagnozować w czasie rzeczywistym stan instalacji inteligentnej, wykorzystywane jest środowisko programistyczne LabView [52–54, 66, 159].



## 6.2. Instalacje inteligentne w nawadnianiu przydomowych terenów zielonych

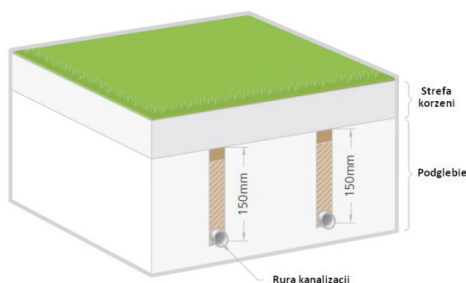
Dzięki dynamicznemu rozwojowi elektroniki i automatyki pojawiły się nowe możliwości sterowania różnymi procesami związanymi z działalnością człowieka, które dotychczas nie były zautomatyzowane. Do tej grupy procesów zalicza się działania mające za zadanie ochronę zieleni. Nowoczesne instalacje automatyki, tzw. systemy inteligentne kontrolują coraz szersze grupy urządzeń, które wcześniej były użytkowane jako niezależne. Takie holistyczne podejście do zagadnienia sterowania procesami w instalacjach inteligentnych umożliwia uzyskanie efektów, które wcześniej były trudniejsze do zrealizowania lub niemożliwe. W wielu obszarach związanych z życiem człowieka mamy do czynienia z troską o właściwy wygląd otoczenia budynków, w których mieszka lub pracuje oraz miejsc rekreacji i uprawiania różnych dyscyplin sportowych. Z uwagi na postępujące zmiany klimatyczne i potrzebę racjonalnego użytkowania wody, ważna jest organizacja procesu nawadniania obszarów zielonych, np. przydomowych ogrodów. Właściwe nawodnienie trawników przydomowych ma wpływ nie tylko na ich wygląd, ale dobre samopoczucie mieszkańców. Automatyczne systemy nawadniania zapewniają optymalne zużycie wody oraz komfort użytkowania. Dotyczy to dostarczania wymaganej ilości wody w pożądanym odstępach czasowych.

Od czasu pojawienia się budynków inteligentnych zmieniło się również ich otoczenie. Zmiany dotyczą również terenów zielonych w sąsiedztwie domów. Właściwe utrzymanie ogrodu wymaga wykorzystania urządzeń automatyki. Zagadnienie to może być rozwiązane z wykorzystaniem specjalistycznych sterowników przeznaczonych tylko do pracy w ogrodach i szklarniach.

Szczególnie ważna jest integracja systemu nawadniania ogrodu z innymi instalacjami, ponieważ współczesny ogród, czy też inny obiekt o charakterze rekreacyjnym jest często otoczeniem budynków wyposażonych często w skomplikowane instalacje, które wymagają umiejętnego zarządzania energią w celu ograniczenia wydatków z tym związanych oraz zapewniają optymalne zużycie wody oraz komfort użytkowania.

Przykładem nawierzchni trawiastej jest również boisko piłkarskie (Rys. 6.7). Trawa na boisku jest mocno eksploatowana w czasie gry, rośnie też w nienaturalnych warunkach. Na boisku jest wilgotno i nie ma wiatru. Murawę trzeba, więc też odgrzybiać, nawozić, podlewać, szczotkować i kosić. Aby powstały idealnie równe, różniące się odzieniem zieleni, pasy potrzeba kilka godzin pracy (około 6 h). Nawadnianie murawy jest jednym z głównych działań związanych z przygotowaniem boiska do meczu. Metody nawadniania zależą od wielu czynników, takich jak: warunki klimatyczne, rodzaj nawadnianych muraw, konstrukcja boiska. Proces ten nie jest całkowicie zautomatyzowany i wymaga obecności człowieka. Osoba, która dba o stan murawy nosi nazwę greenkeepera, czyli opiekuna murawy. Obiekt sportowy typu stadion składa się nie tylko z boiska, ale i z budynków, w których znajdują się różne instalacje mające odrębne funkcje, np. instalacja oświetleniowa, ogrzewanie i klimatyzacja, sterowanie silnikami, bezpieczeństwa, itp. Powierzchnia boiska służącego do gry w piłkę nie jest idealnie „płaska”, wymagana jest różnica 30 cm wysokości między linią środkową boiska a liniami

bocznymi. Ma to związek z zapobieganiem gromadzeniu się wody na boisku podczas opadów. Boiska służące do gry w piłkę nożną wymagają również odprowadzania wody poprzez instalacje drenażowe.



Rys. 6.7. Drenaż boiska do piłki nożnej

### Budowa zautomatyzowanego ogrodu

Wśród najczęściej spotykanych metod nawadniania wyróżnia się:

- **nawadnianie zraszaczami:** jest to metoda dostarczania wody stosowana głównie na trawiastych powierzchniach o regularnych jak i nieregularnych kształtach. W praktyce stosuje się głównie zraszacze wynurzalne (Rys. 6.8), które zagłębiają się w podłoże po ukończeniu nawadniania,



Rys. 6.8. Zraszacz młoteczkowy Signature seria 6700

*Źródło: Signature Control Systems, Inc.*

Najczęściej stosuje się zraszacze: rotacyjne, impaktowe, statyczne, o zróżnicowanych natężeniach przepływu i promieniach zraszania, z uwagi na zróżnicowanie powierzchni podlegających nawadnianiu. Dla systemu nawadniania zraszaczami wymagane jest zapewnienie odpowiedniego ciśnienia roboczego oraz natężenia przepływu wody.

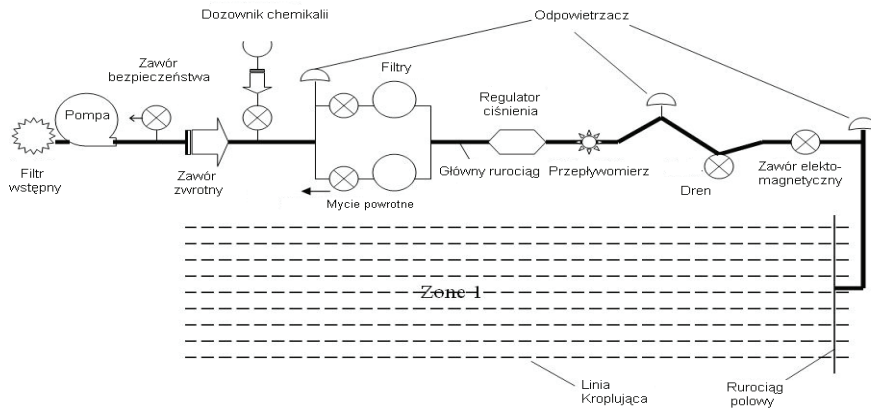
- **nawadnianie mikrozraszaczami:** jest metodą dostarczania wody stosowaną głównie przy nawadnianiu niewielkich obszarów m.in. rabatek i skalniaków. Charakteryzuje się niskimi zakresami ciśnień roboczych oraz małym zużyciem wody. Wymaga filtracji dostarczanej wody do instalacji nawadniającej w celu zapobiegania zapychaniu dysz przez zanieczyszczenia, ze względu na małe średnice stosowanych dysz (Rys. 6.9),



Rys. 6.9. Mikrozaszczacznik obrotowy Eco Rain

Źródło: P.H.U. "Ekoma" s.c., Warszawa

- **nawadnianie kropłowe** jest to proces powolnego, równomiernego dozowania wody z przewodów lub taśm, poprzez kroplowniki do gleby. Przewody zasilające mogą być podwieszane (sady, krzewy owocowe), leżeć na powierzchni ziemi lub pod powierzchnią (rzędowe uprawy polowe) (Rys. 6.10),



Rys. 6.10. Komponenty systemu nawadniania kropłowego

Źródło: C. Shock 2006 Drip Irrigation an Introduction

Ten typ nawadniania stosowany jest przy nawadnianiu żywopłotów, drzew, krzewów ozdobnych o równomiernym lub nierównomiernym rozstawieniu. Emitery (rozpylacze) są umieszczone bezpośrednio na powierzchni ziemi lub przykryte niewielką jej warstwą bądź korą i usytuowane w pobliżu nawadnianej rośliny. Charakteryzuje się oszczędnym zużyciem wody wskutek ograniczenia strat na parowanie i przesiąki, małym zużyciem jednostkowym wody, zmniejszeniem ryzyka porażenia roślin oraz możliwością doprowadzenia wody bezpośrednio pod każdą roślinę. Wymaga filtracji dostarczanej wody z zanieczyszczeń organicznych, związków żelaza, wapnia i manganu do instalacji nawadniającej, które mogą powodować zatykanie kroplowników, powodując skrócenie czasu użytkowania instalacji nawadniającej. Zakres pracy linii kroplujących wynosi od 1,0 do 4 atm., a w przypadku wyższych ciśnień doprowadzanej wody stosuje się reduktor ciśnienia.

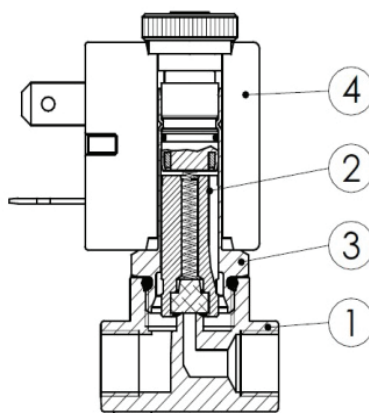
## Sterowniki w instalacji nawadniającej

Automatyczne sterowanie nawadnianiem odbywa się przy wykorzystaniu zaworów elektromagnetycznych. Praca automatycznego systemu nawadniania jest zarządzana za pomocą sterowników. Sterują one elektrozaworami elektromagnetycznymi.

Zawory elektromagnetyczne są to elementy kontrolujące przepływ medium (wody, gazu) pod ciśnieniem. Funkcją elektrozaworu jest otwieranie lub zamykanie urządzenia odcinającego bezpośrednio lub pośrednio, w stanie wzbudzonym cewki.

Najważniejszymi częściami składowymi elektrozaworu są (Rys. 6.11):

- 1 – korpus zaworu posiadający przyłącze wejściowe, wyjściowe i otwór o średnicy nominalnej dla przepływu medium,
- 2 – urządzenie zwierające, uszczelniony tłoczek, przesuwający się w trzpieniu,
- 3 – trzpień, na którym osadzona jest cewka,
- 4 – cewka wytwarzająca pole elektromagnetyczne powodujące ruch tłoczka.



Rys. 6.11. Budowa zaworu elektromagnetycznego

*Źródło: Materiały firmowe firmy Rectus Polska*

W instalacjach nawadniających stosowane są zawory elektromagnetyczne dwudrogowe bezpośredniego działania. Mają one przyłącze wejściowe i wyjściowe w korpusie zaworu. Po podaniu napięcia na cewkę zaworu następuje otwarcie i przepływ medium (wody).

Budowane są w wersjach sterujących pracą od kilku do kilkunastu sekcji. Posiadają niezależne lub sekwencyjne programowanie zaworów. W zależności od typu sterowniki posiadają do kilku niezależnych programów nawadniania i cykli pracy dziennie dla każdej sekcji.

Uzupełnieniem instalacji nawadniającej są wyłączniki nawadniania, które współpracują ze sterownikiem i zaworami elektromagnetycznymi. Zapobiegają one zbędnemu nawadnianiu podczas opadów deszczu. Przekroczenie nastawionej wielkości opadu powoduje przerwanie obwodu sterującego oraz zawieszenie realizacji programu nawadniania do czasu odparowania wody. Wyłączniki nawadniania budowane są z skokową lub płynną regulacją wysokości opadu.

Harmonogram nawadniania umożliwia określenie pracy automatycznego systemu nawadniania np.:

- uruchomienie nawadniania w określone dni tygodnia,
- uruchomienie nawadniania w dni parzyste lub nieparzyste,
- cykliczne starty nawadniania z przerwami między cyklami od 1 do 30 dni,
- sterowniki posiadają również opcję przerywania nawadniania, np. w przypadku opadów deszczu.



Rys. 6.12. Sterownik nawadniania serii STP firmy Rain Bird

*Źródło: Materiały informacyjne firmy Rain Bird*

### **Automatyczne systemy sterowania instalacją nawadniającą przydomowe tereny zielone**

Automatyczne sterowanie instalacją nawadniającą realizowane jest głównie przez wyspecjalizowane sterowniki nawadniania.

Sterowanie instalacjami nawadniającymi jest możliwe także dzięki zastosowaniu:

- mikrokontrolera wraz z urządzeniami wykonawczymi,
- wyjść programowych cyfrowych central alarmowych,
- sterowników PLC,
- systemów automatyki budynkowej.

Sterowanie instalacją nawadniającą z wykorzystaniem sterowników PLC jest klasycznym podejściem do tego zagadnienia.

#### **Sterowanie instalacją nawadniającą z wykorzystaniem instalacji magistralnej KNX/EIB**

Uzyskanie optymalnych efektów w energooszczędnym sterowaniu instalacjami budynkowymi może zostać pogłębione dzięki zintegrowaniu zarządzania w oparciu o nadrzędny system magistralny KNX/EIB. Zaletą zastosowania tak szerokiej platformy sprzętowo-programowej, jaką jest KNX/EIB jest to, że można skorzystać ze wszystkich rozwiązań przewidzianych do zarządzania automatyką budynkową, uzupełniając je o elementy innych systemów niewchodzących w skład instalacji budynkowych, np. nawadniania przydomowych terenów rekreacyjnych lub boisk. Rozwiązanie takie może być również z powodzeniem zastosowane do integracji instalacji nawadniającej ogród z systemami zainstalowanymi w domu.

W Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych opracowano zdecentralizowany system sterowania instalacją nawadniającą terenów zielonych wykorzystujący magistralę instalacyjną KNX/EIB. Instalację nawadniającą zrealizowano wykorzystując zraszacze wynurzalne zainstalowane w pasie trawy otaczającym pole gry z wyjątkiem dwóch zraszaczy umieszczonych bezpośrednio w polu gry.

Zredukowano liczbę zraszaczy w polu gry do minimum, z uwagi na:

- ograniczenie do minimum ryzyka kontuzji spowodowanej upadkiem i uderzeniem o element zraszacza,
- bezproblemową pielęgnację specjalistycznym sprzętem całego terenu, (co jest niemożliwe w przypadku stosowania systemów opartych o kilkanaście mniejszych zraszaczy).

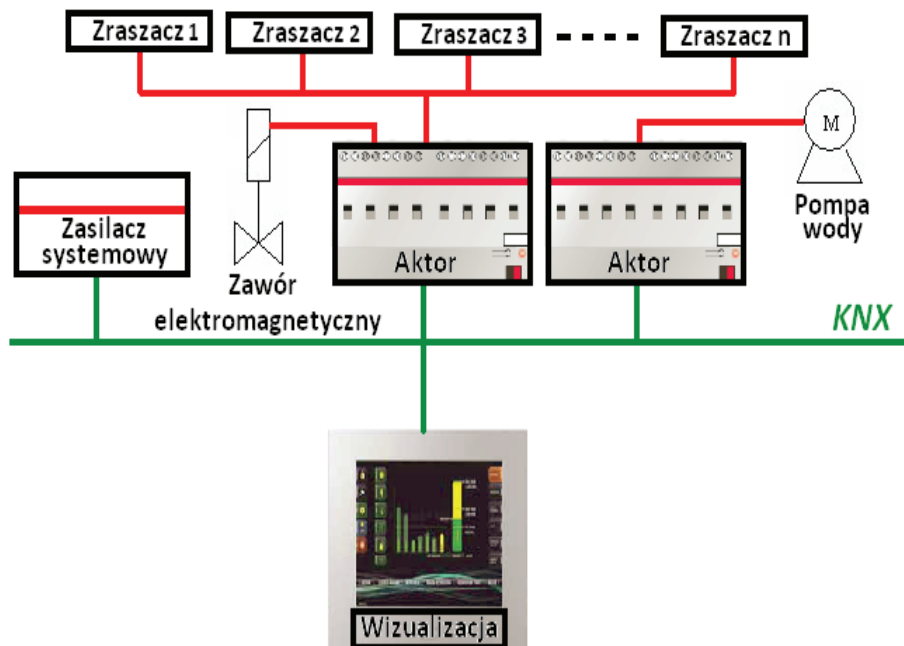
Sterowanie instalacją odbywa się na podstawie różnych cykli nawadniania. Każdy z cyklów jest podzielony na podcykle. Każdy zraszacz posiada elektrozawór, do którego dołączony jest przewód sterujący.

Moduł sterowania zaworami elektromagnetycznymi jest wykorzystany do sterowania pracą zaworów elektromagnetycznych. Do wejścia modułu sterowania dołączony jest ponadto wyłącznik nawadniania powodujący automatyczne wyłączenie instalacji w przypadku wystąpienia naturalnych opadów o wymaganej dawce.

Moduł zintegrowany z pompą służy do sterowania pompą zasilającą ujęcie wody instalacji nawadniającej.

Zaprojektowano sterowanie instalacją nawadniającą przydomowy teren rekreacyjny wykorzystując elementy rozproszonego systemu sterowania KNX/EIB. System sterowania składa się z:

- panelu sterowania – Comfort Touch do wizualizacji instalacji nawadniającej,
- aktorów do sterowania zraszaczami,
- aktorów systemu KNX/EIB służących do sterowania pompą (Rys. 6.13).



Rys. 6.13. Sterowanie instalacją nawadniającą za pomocą systemu inteligentnego KNX/EIB

Do wprowadzania parametrów nawadniania, tj. czasu uruchomienia cyklu nawadniania, czasu pracy sekcji oraz ręcznego uruchomienia nawadniania służy oprogramowanie narzędziowe do systemu KNX/EIB.

Parametryzacja urządzeń uwzględnia specyfikę tego rodzaju nawierzchni. Aplikacja sterowania pracą instalacji nawadniającej realizuje harmonogram nawadniania według zaprogramowanego przez użytkownika harmonogramu (tabela 6.1 i 6.2).

Tabela 6.1. Czas pracy sekcji

Sekcja	Czas pracy sekcji
A1	0 – 99 min.
A2	0 – 99 min.
A3	0 – 99 min.
A4	0 – 99 min.
A5	0 – 99 min.
A6	0 – 99 min.
A7	0 – 99 min.

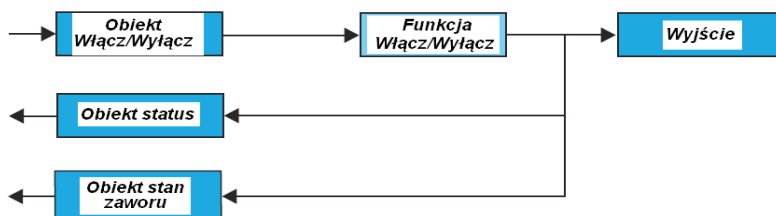
Tabela 6.2. Dni uruchomienia cykli nawadniania

Cykl	I	Godzina uruchomienia nawadniania	00:00 do 23:59						
		Dzień nawadniania	Pn	Wt	Sr	Cz	Pt	So	N
II	II	Godzina uruchomienia nawadniania	00:00 do 23:59						
	II	Dzień nawadniania	Pn	Wt	Sr	Cz	Pt	So	N
III	III	Godzina uruchomienia nawadniania	00:00 do 23:59						
	III	Dzień nawadniania	Pn	Wt	Sr	Cz	Pt	So	N
IV	IV	Godzina uruchomienia nawadniania	00:00 do 23:59						
	IV	Dzień nawadniania	Pn	Wt	Sr	Cz	Pt	So	N

Zintegrowanie wszystkich aplikacji w jednej instalacji KNX/EIB, pozwala użytkownikom łatwo i w sposób kompleksowy monitorować system, którego obsługa jest intuicyjna. Dodatkowymi zaletami systemu są:

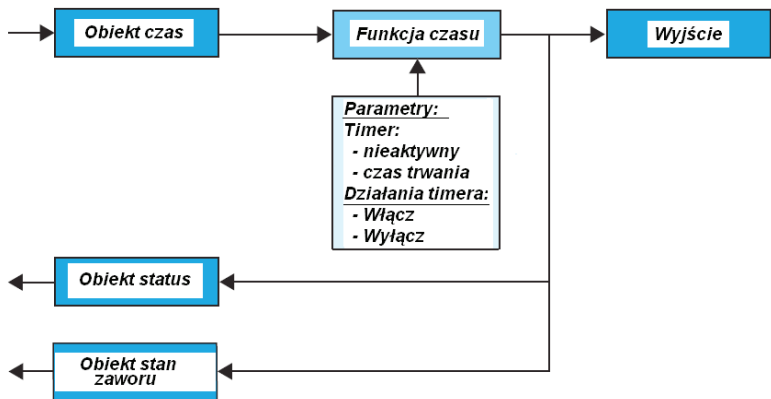
- inteligentny pomiar zużycia energii, co umożliwia unikanie marnotrawienia energii i zmniejszenie kosztów eksploatacji,
- możliwość przeprogramowania lub nawet zatrzymania zegara sterującego systemem w celu dopasowania się do indywidualnych potrzeb użytkownika.

Przykładowe scenariusze sterowania w systemie KNX/EIB przedstawiono na Rys. 6.14 – 6.16.

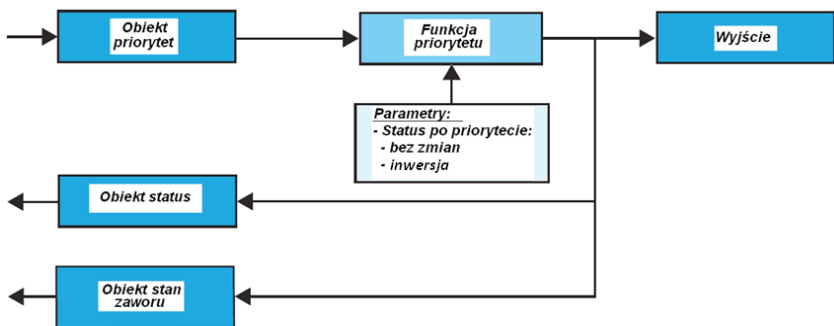


Rys. 6.14. Sterowanie załączaniem i wyłączaniem nawadniania za pomocą aktorów systemu KNX/EIB





Rys. 6.15. Sterowanie załączaniem i wyłączeniem nawadniania z aktywowaną funkcją czasu



Rys. 6.16. Sterowanie załączaniem i wyłączeniem nawadniania z funkcjami priorytetowymi

### 6.3. Instalacja inteligentna w samochodzie turystycznym

Zagadnienie integracji systemów i zastosowania instalacji inteligentnych w samochodach turystycznych typu camper (samochodach kempingowych) pokrywa się z obszarem zainteresowań Autora książką elektroniką i elektrotechniką samochodową. W rozdziale przeanalizowano bilans mocy części użytkowej samochodu oraz zaproponowano własne rozwiązanie polegające na adaptacji inteligentnego systemu sterowania instalacjami domowymi w samochodzie kempingowym.

Samochody kempingowe w ostatnich latach cieszą się rosnącą popularnością. W związku z podobieństwem instalacji w obu obiektach, powstała koncepcja implementacji systemu magistralnego KNX/EIB do zarządzania energią w samochodzie kempingowym. Istotne jest również energooszczędne zarządzanie energią w samochodzie, szczególnie podczas postoju. Jest to rozwiązanie hybrydowe, łączące funkcję typowego samochodu i domu mieszkalnego.

Miłośnicy karawaniingu traktują samochody jako drugie domy na kołach. Dlatego ważne dla nich jest komfortowe zarządzanie instalacjami wchodzącymi w skład pomieszczeń użytkowych samochodu kempingowego. Jako zabezpieczenia instalacji 230 V w samochodach turystycznych należy stosować elektromagnetyczne wyłączniki instalacyjne (nadprądowe), wyłączniki różnicowo-prądowe oraz ograniczniki przepięć (ze względu na wysokie obciążenie instalacji sieciowej na kempingach). Na rysunku 6.17 przedstawione zostały podstawowe zabezpieczenia stosowane we współczesnych camperach.



Rys. 6.17. Rozmieszczenie zabezpieczeń instalacji samochodowej 230 V

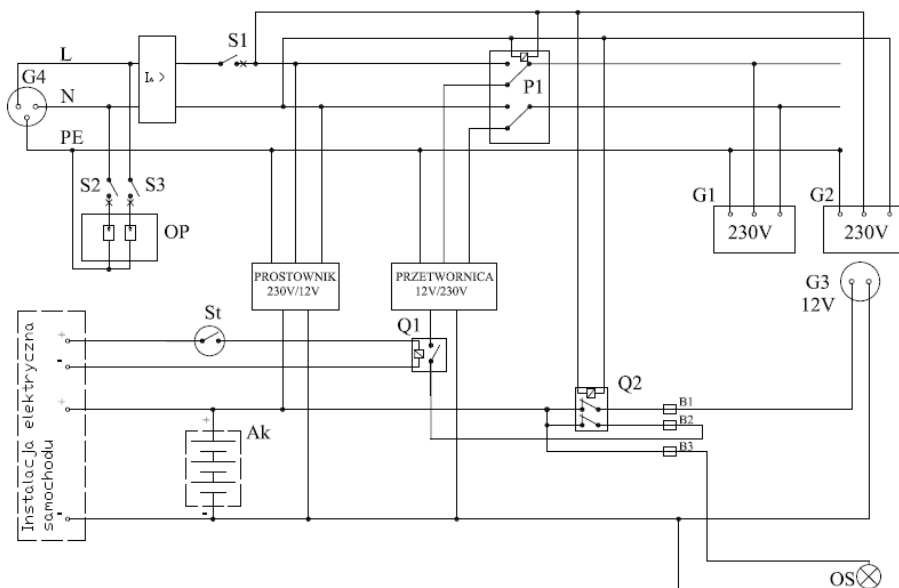
Przewody użyte w instalacji elektrycznej 230 V samochodu powinny być wykonane z trzyżyłowej linki o przekrojach: 1,5 mm<sup>2</sup> (dla 10 A) lub 2,5 mm<sup>2</sup> (dla 16 A) dla każdej żyły. Izolacja przewodów powinna mieć drugą klasę ochronności. Ponadto zainstalowana automatyka musi samoczynnie przełączać instalację z napięcia 12 V na 230 V i odwrotnie. Wyznacznikiem do zastosowania poszczególnych urządzeń i odbiorników w samochodach turystycznych jest ich odporność na wilgoć i zmiany temperatury w szerokim zakresie [30, 37, 45, 105]. Zabezpieczenia oraz instalacja elektryczna samochodów kempingowych powinna być dobrana według obowiązujących wymagań zawartych m. in. w normach.

Na rysunku 6.18 przedstawiono przykład kompletnej instalacji elektrycznej zaprojektowanej dla pojazdu turystycznego. Projekt zawiera sposób podłączenia urządzeń zabezpieczających, automatyki przełączającej oraz gniazd zasilających poszczególne odbiorniki 12 V i 230 V.

Instalacja elektryczna samochodów turystycznych zasilana jest napięciem o wartości 12 V lub 230 V. Pierwsze z napięć dostarczane jest zazwyczaj z dodatkowego akumulatora. W przypadku, gdy silnik spalinowy pracuje do instalacji elektrycznej dołączany jest akumulator rozruchowy pojazdu. W tym przypadku alternator doładowuje oba akumulatory połączone równolegle. Jako łącznik stosuje się przełącznik o dużej mocy.

Odbiorniki na napięcie 230 V mogą być zasilane podczas jazdy z przetwornicy napięcia 12V/230 V lub na postoju z instalacji zewnętrznej 230 V.

Jeżeli silnik spalinowy nie pracuje, przetwornica jest automatycznie odłączana od instalacji elektrycznej samochodu w celu uniknięcia nadmiernego rozładowania dodatkowego akumulatora (stycznik Q1 na rysunku 6.18). Odłączenie przetwornicy następuje również, gdy samochód kempingowy zasilany jest z zewnętrznej instalacji 230 V (przełącznik P1).



Rys. 6.18. Przykładowy schemat instalacji elektrycznej campera: S1, S2, S3 – wyłączniki nadprądowe; B1, B2, B3 – bezpieczniki; IA – wyłącznik różnicowo-prądowy; OP – ograniczniki przepięć; G1 – gniazdo 230 V zasilane z przetwornicy lub instalacji zewnętrznej; G2 – gniazdo 230 V zasilane tylko z instalacji zewnętrznej; G3 – gniazdo 12 V; St – stacyjka; Ak – dodatkowy akumulator; OS – instalacja oświetleniowa; P1 – przekaźnik; Q1 – stycznik standardowo rozwartry; Q2 – stycznik standardowo zwarty

Główną częścią instalacji elektrycznej o napięciu 230 V jest blok zabezpieczeń, do którego należą: wyłączniki instalacyjne (nadprądowe), wyłącznik różnicowo-prądowy i ograniczniki przepięć. W instalacji na 12 V, jako zabezpieczeń używa się bezpieczników topikowych.

Wyłączniki nadprądowe służą do zabezpieczenia odbiorników oraz przewodów występujących w instalacji elektrycznej. Najczęściej stosowane są zabezpieczenia zwarciove i przeciążeniowe.

Wyłącznik różnicowo-prądowy zastosowany jest przede wszystkim w celu ochrony przed porażeniem elektrycznym człowieka, zapewniając samoczynne odłączenie zasilania w przypadku powstania niebezpiecznego napięcia dotykowego. Ważnym aspektem, szczególnie w samochodach turystycznych, jest odpowiedni dobór prądu zadziałania wyłącznika. Zbyt duża wartość nie zabezpieczy w pełni instalacji elektrycznej przed dotykiem bezpośrednim, zbyt mała spowoduje samoczynne wyłączenie zasilania np. podczas dużej wilgotności powietrza (prąd upływu).

Ze względu na występowanie przepięć atmosferycznych lub instalacyjnych, w głównej mierze powstałych pod wpływem dużego obciążenia sieci przyłączeniowej podczas okresu letniego, instalację elektryczną samochodu kempingowe-

go powinno zabezpieczyć się ogranicznikami przepięć. Zazwyczaj pracują one w klasie III lub IV. Jest to spowodowane miejscem usytuowania instalacji w samochodzie. Ograniczniki przepięć mają na celu zabezpieczyć odbiorniki elektroniczne, komputery i urządzenia telekomunikacyjne przed uszkodzeniem.

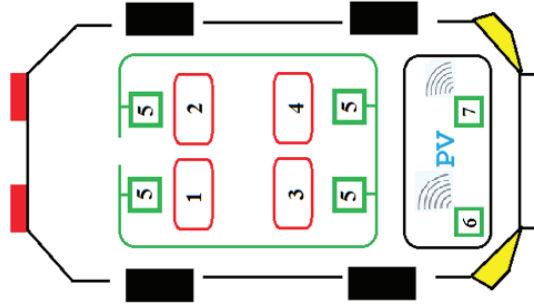
Niewskazane, a w niektórych przypadkach niedopuszczalne, jest zasilanie odbiorników stosowanych w samochodach turystycznych równocześnie napięciem 12 V, jak i 230 V. Może to powodować niebezpieczeństwo porażenia lub pożarowe. Urządzenia automatyki stosowane w instalacji elektrycznej samochodu powinny samoczynnie przełączać napięcie z jednej wartości na drugą. W przypadku postoju na parkingu z podłączoną instalacją zewnętrzną 230 V, instalacja 12 V jest automatycznie odłączana od odbiorników (na rysunku 6.18 wykonywane jest to za pomocą stycznika Q2, równocześnie następuje odłączenie zasilania 230 V z przetwornicy napięcia 12 V/230 V za pomocą przełącznika P1). Podczas podróży (pracujący alternator) lub postoju na parkingu bez podłączenia zewnętrznej instalacji elektrycznej, system pojazdu pracuje przy napięciu 12 V.

Tworząc bilans mocy samochodu kempingowego wygodnie jest podzielić urządzenia na zasilane z instalacji 12 V oraz 230 V. Pozwoli to na późniejsze określenie, które z nich będą zarządzane za pomocą systemu KNX/EIB.

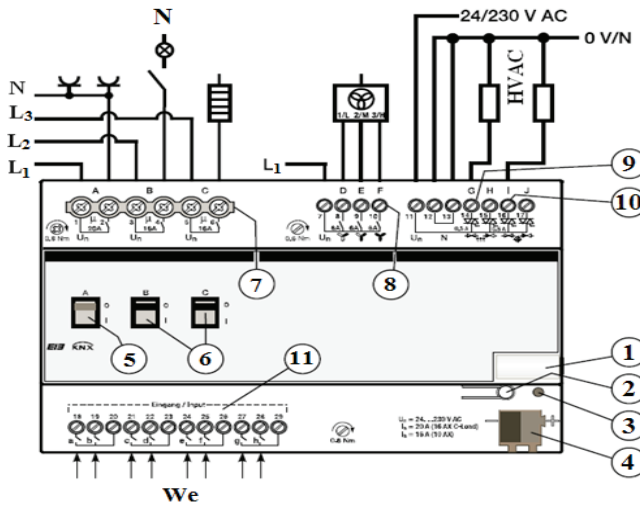
Z instalacji 12 V mogą być zasilane następujące urządzenia: lodówka samochodowa, wentylator, pompa wody, oświetlenie wewnętrzne, grzejnik z dmuchawą, telewizor lub monitor LCD, odstraszacz gryzoni, co daje łącznie moc zapotrzebowaną około 340 W. Instalacja 230 V może zasilac: lodówkę, dodatkowy wentylator, elektroblok, ładowarkę telefonu komórkowego, palmtop lub laptop, GPS, czajnik elektryczny, żelazko turystyczne, suszarkę, ogrzewanie elektryczne, termowentylator, telewizor lub/i monitor LCD, tuner telewizji satelitarnej, klimatyzator – łącznie około 6500 W. Są to dane jedynie szacunkowe. Dokładny bilans mocy zależy od producenta pojazdu oraz jego użytkownika.

Poziom zautomatyzowania systemu inteligentnego w samochodzie kempingowym, podobnie jak w budynku, zależy od właściwego zaprogramowania elementów systemu, które traktuje się jako rdzeń systemu zarządzania. Programowanie urządzeń w ramach rdzenia jest zadaniem podstawowym w procesie uruchamiania automatyki. Niemniej ważne jest zintegrowanie z rdzeniem urządzeń będących spoza niego. Często obowiązują tutaj specjalne zasady określone przez producenta tych urządzeń i nie ma rozwiązań dotyczących integracji w ramach systemu BMS. W celu optymalnej integracji instalacji należy przewidzieć ułożenie magistrali w części mieszkalnej samochodu, tam gdzie znajdują się urządzenia sterowane oraz zapewnić możliwość komunikowania się tej części z kabiną kierowcy.

W projekcie zarządzania energią w camperze wykorzystano urządzenia magistralne systemu KNX/EIB stosowane w budynkach. Głównym elementem instalacji jest linia magistralna zasilana za pomocą dedykowanego zasilacza, do której przyłączone są aktry i sensory. Do komunikacji z kabiną kierowcy przewidziano urządzenia bezprzewodowe. Główne moduły układu zarządzania energią w samochodzie kempingowym zostały przedstawione na rysunku 6.19.



Rys. 6.19. Główne elementy inteligentnego systemu zarządzania energią w camperze: 1 – zabezpieczenie zwarciovowe, 2 – ochrona przeciwprzepięciowa, 3 – transformator separacyjny 230V/230V, 4 – przekaźnik stanu izolacji, PV – panel fotowoltaiczny, 5 – urządzenia magistralne przewodowe, 6, 7 – urządzenia bezprzewodowe



Rys. 6.20. Room Master Basic RM/S 1.1.: 1 – tabliczka adresu fizycznego, 2 – przycisk programowania, 3 – sygnalizacja trybu pracy urządzenia, 4 – złącze magistrali, 5 – manualne sterowanie wyjściem 20 A, 6 – manualne sterowanie wyjściem 16 A, 7 – wyjście do sterowania dodatkowym grzejnikiem, 8 – wyjście do sterowania wentylatorem, 9 – zawór ogrzewania, 10 – zawór chłodzenia, 11 – wejścia binarne [112]

Instalacja inteligentna jest zasilana za pośrednictwem transformatora separacyjnego 230V/230 V z przekaźnikiem stanu izolacji. Z uwagi na niedużą powierzchnię obiektu, w którym jest realizowane inteligentne sterowanie, urządzenia magistralne są umieszczone w jednym segmencie linii. Zapewnia to jednak możliwość sterowania 64 urządzeniami magistralnymi. Programowanie instalacji magistralnej należy przeprowadzić za pomocą programu narzędziowego ETS. Projekt należy zachować w celu późniejszego wykorzystania w przypadku modyfikacji instalacji.

Zarządzanie energią w samochodzie kempingowym może zostać zorganizowane w oparciu o specjalne urządzenie magistralne Room Master Basic RM/S 1.1, które łączy w sobie funkcje sensorów i aktorów. Jest to gotowe rozwiązanie do zarządzania energią w pokojach oraz apartamentach hotelowych (Rys. 6.20).

Instalację zarządzania energią w samochodzie można wyposażyć w panel wizualizacyjny, za pomocą którego będzie możliwe sterowanie urządzeniami magistralnymi i spoza systemu, zintegrowanymi z nim np. za pomocą wejść binarnych. Instalacja magistralna jest ponadto wspomagana za pomocą odnawialnego źródła energii elektrycznej. Integracja instalacji KNX/EIB z ogniwem fotowoltaicznym umożliwia obniżenie zużycia energii i zapewnia autonomię systemu sterowania w przypadku braku dostępu do zasilania z sieci.

Połączenie niskoenergetycznych technologii oraz optymalne wykorzystanie źródeł energii odnawialnej pozwala uzyskać bardzo dobre parametry eksploatacyjne również w przypadku samochodu turystycznego.

Opisany system został przed kilkoma laty wykorzystany przez firmę SMARTech do sterowania instalacjami jachtu pełnomorskiego typu katamaran [159].

#### 6.4. System fotowoltaiczny zasilający pompę ciepła

Analizując system zasilający pompę ciepła przyjęto założenie, że moduły fotowoltaiczne zainstalowane zostaną na południowej pości dachu budynku. Moduły mają wytwarzać prąd elektryczny, w takiej ilości, aby pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną dla pompy ciepła. Alternatywnym zastosowaniem omawianego układu może być zasilanie urządzeń sterujących w systemie automatyki budynkowej. Liczbę modułów oraz ilość energii przez nie wyprodukowanej dobrano na podstawie obliczeń i symulacji całorocznej ich pracy przeprowadzonej za pomocą programu PVSYST 2.0E [109, 117].

W obliczeniach przyjęto założenie, że będzie odzyskiwane ciepło z wentylacji. Zgodnie z tym ustaleniem sezonowe zapotrzebowanie na energię cieplną ciepło do ogrzewania oblicza się na podstawie zależności:

$$Q_h = Q_{str.} + Q_a - \mu \cdot (Q_{zn} + Q_{zi}), \quad (6.1)$$

gdzie:

$Q_h$  – sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania, kWh/a,

$Q_{str.}$  – straty ciepła przez przegrody budowlane w sezonie grzewczym, kWh,

$Q_a$  – straty ciepła na wentylację w sezonie grzewczym, kWh,

$Q_{zn}$  – zyski ciepła od nasłonecznienia w sezonie grzewczym, kWh,

$Q_{zi}$  – zyski ciepła wewnętrzne w sezonie grzewczym, kWh,

$\mu$  – współczynnik wykorzystania zysków ciepła:

$$\mu = 1 - e^{-1/GLR} \quad (6.2)$$

gdzie:

GLR – stosunek zysków do strat ciepła:

$$GLR = (Q_{zn} + Q_{zi}) / (Q_{str.} + Q_a) \quad (6.3)$$

Przyjęty do analizy budynek zlokalizowany jest w III strefie klimatycznej w Lublinie, temperatura zewnętrzna obliczeniowa wynosi  $-20\text{ C}$ . Jest to obiekt podpiwniczony o trzech kondygnacjach w zabudowie jednorodzinnej. Powierzchnia użytkowa budynku wynosi  $143\text{ m}^2$ . Założono takie umiejscowienie budynku, aby uzyskać maksymalne zyski ciepła od nasłonecznienia w okresie zimowym. Największa powierzchnia oszklona ( $5,4\text{ m}^2$ ) znajduje się w części budynku zorientowanej na południe.

#### 6.4.1. Określenie ilości energii elektrycznej zużywanej przez pompę ciepła w sezonie grzewczym

Orientację przestrzenną baterii określa się za pomocą azymutu  $\alpha$  oraz kąta pochylenia baterii  $\beta$ . Azymut, czyli kierunek geograficzny, jaki tworzy rzut prostej prostopadłej do płaszczyzny baterii na płaszczyznę horyzontalną z kierunku południka. Orientacja modułów ma istotny wpływ na ilość energii elektrycznej z nich uzyskiwanej. Wielkością, która określa stopień wykorzystania energii słonecznej przez baterię jest współczynnik transpozycji TF.

Wartości maksymalne energii uzyskuje się wtedy, gdy płaszczyzna modułów ustawiona jest zawsze pod kątem prostym do promieni słonecznych. Wymaga to jednak zastosowania układów śledzących słońce. Najczęściej baterie ustawia się w jednym położeniu lub tylko zmienia ich kąt nachylenia. Optymalne położenie modułów zależy od tego, czy pracują one w systemie autonomicznym czy współpracują z siecią energetyczną. Systemy autonomiczne powinny być nastawione na maksymalne uzyskiwanie energii przez cały rok lub tylko w okresie letnim. Systemy współpracujące z siecią powinny posiadać całoroczną orientację płaszczyzny baterii. Symulacje przeprowadzono dla stałego i zmiennego nachylenia modułów. Badania usytuowania modułów pozwoliły na określenie optymalnej ich orientacji. Dla okresu letniego kąt pochylenia  $\beta$  powinien wynosić od  $0,35$  do  $0,52$  rad, azymut  $\alpha$  od  $-0,26$  do  $0,26$  rad. Dla okresu całorocznego  $\beta$  od  $0,35$  do  $0,70$  rad,  $\alpha$  od  $-0,26$  do  $0,26$  rad.

Zgodnie z tymi założeniami ustalono, że optymalna orientacja baterii dla Lublina w okresie letnim wynosi:

kąt pochylenia  $\alpha = 0,42$  rad, azymut  $\beta = 0,10$  rad, TF = 1,05.

W okresie całorocznym:

kąt pochylenia  $\alpha = 0,59$  rad, azymut  $\beta = 0$  rad, TF = 1,1.

Dla budynku będącego przedmiotem analizy przyjęto do obliczeń i symulacji następujące dane:

$Q_h = 6788\text{ kWh/rok}$ ,

$\varepsilon = 4,09$  – współczynnik wydajności grzejnej,

Energia elektryczna zużywana przez pompę ciepła w sezonie grzewczym:

$$L = \frac{Q_h}{\varepsilon}$$
$$L = 1660\text{ kWh/rok} \tag{6.4}$$



Dobrano elementy systemu PV ze stałym nachyleniem o charakterystyce podanej w tabeli 6.3.

Tabela 6.3. Charakterystyka elementów systemu PV ze stałym nachyleniem

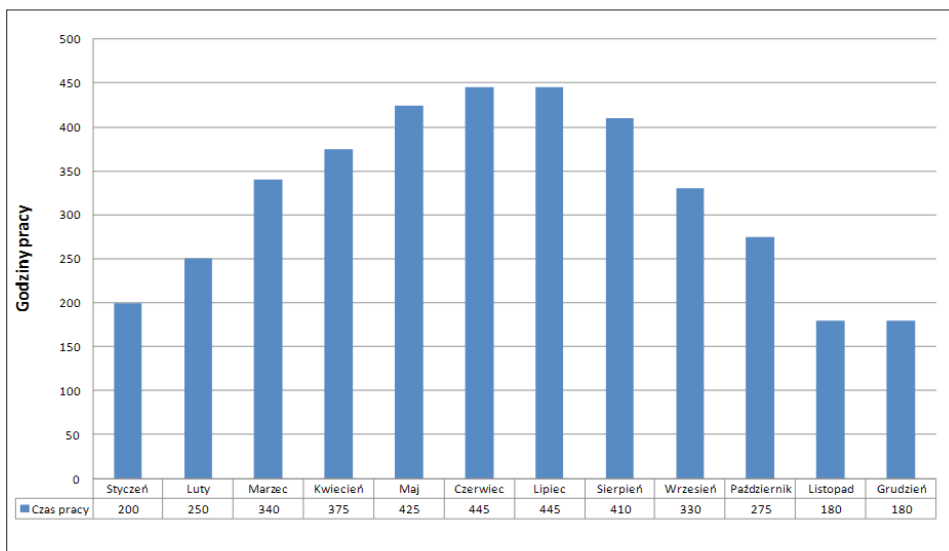
Typ modułu	Nukem, PS 94 MC 102
Moc modułu	102 W
Liczba modułów	18
Powierzchnia modułu	0,95 m <sup>2</sup>
Powierzchnia modułów	17,1 m <sup>2</sup>
Całkowita moc modułów	1,8 kW
Nachylenie modułu	0,78 rad
Azymut	0,017 rad
Typ falownika	TCG 2500/6
Nominalna moc falownika	2,3 kW

Wyniki symulacji pracy systemu PV ze stałym nachyleniem przedstawiono w tabeli 6.4.

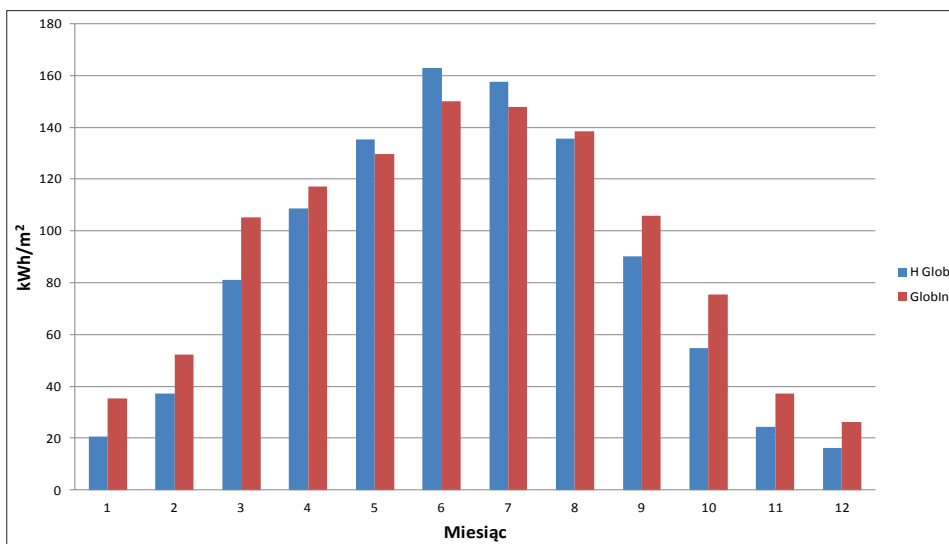
Tabela 6.4. Wyniki symulacji pracy systemu PV ze stałym nachyleniem [109]

Parametry systemu PV								
	H Glob	T Amb	GlobInc	FTransp	EArrMPP	InvLoss	EOutInv	EffSyC
	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>		kWh	kWh	kWh	%
Styczeń	20,5	-3,9	35,2	1,72	62	7,09	54,9	11,15
Luty	37,2	-2,9	52,3	1,403	92,1	9,2	82,9	11,33
Marzec	81,2	0,9	105,1	1,293	181,1	15,88	168,2	11,43
Kwiecień	108,6	7,5	117,3	1,08	195,2	17,38	177,8	10,82
Maj	135,2	12,91	129,6	0,959	212,2	19,04	193,1	10,64
Czerwiec	162,9	16,8	150	0,921	239,4	21,04	218,3	111,4
Lipiec	157,5	17,9	147,9	0,939	236	20,87	215,2	10,4
Sierpień	135,8	16,9	138,5	1,02	222,9	19,3	203,6	10,5
Wrzesień	90,3	12,7	105,8	1,172	174,2	15,41	158,8	10,71
Październik	54,9	7,9	75,4	1,373	128,6	11,94	116,7	11,06
Listopad	24,3	3,1	37,3	1,535	64	7,21	56,8	10,88
Grudzień	16,1	-1,1	26,3	1,632	44,8	5,93	38,9	10,57
	1024,4	7,45	1120,6	1,094	1855,5	170,3	1685,2	10,74

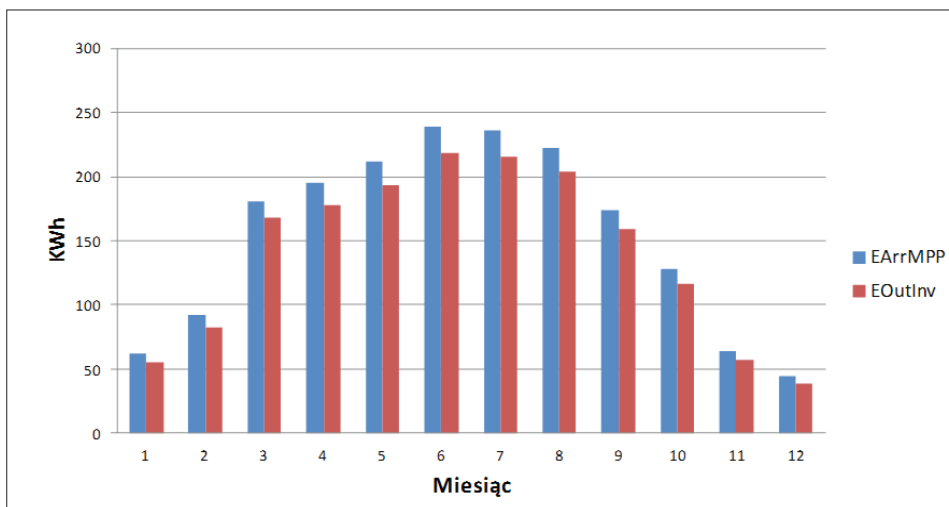
H Glob – globalne nasłonecznienie horyzontalne,  
T Amb – temperatura otoczenia,  
GlobInc – globalne nasłonecznienie w płaszczyźnie kolektora,  
FTransp – współczynnik transpozycji (GlobInc/H Glob),  
EArrMPP – energia elektryczna możliwa do uzyskania w systemie bez strat w falowniku,  
InvLoss – straty energii w falowniku,  
EOutInv – energia dostępna na wyjściu z falownika (oddawana do sieci),  
EffSyC – sprawność systemu w odniesieniu do powierzchni modułów fotowoltaicznych.



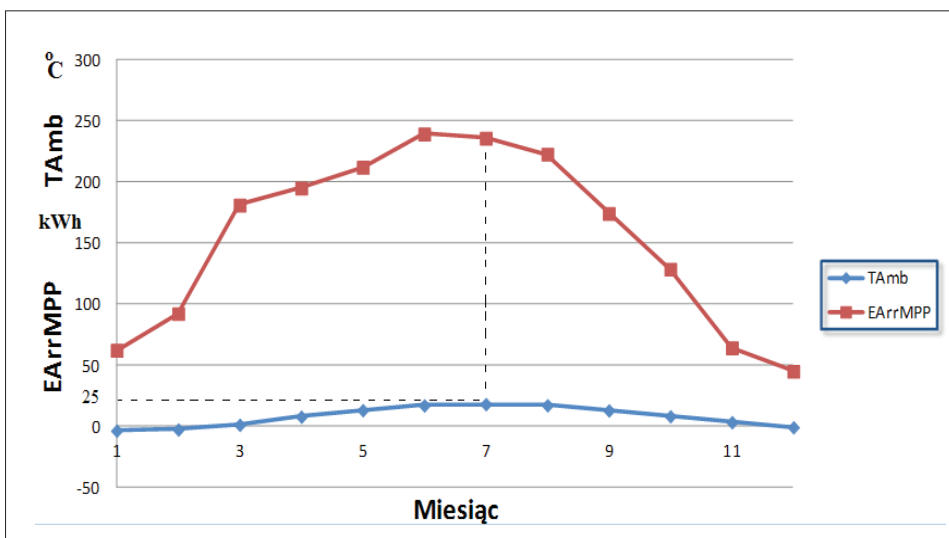
Rys. 6.21. Czas pracy systemu PV ze stałym nachyleniem



Rys. 6.22. Globalne nasłonecznienie horyzontalne i w płaszczyźnie panelu PV w skali roku – moduły ze stałym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku



Rys. 6.23. Energia możliwa do wykorzystania w systemie i energia dostarczana do sieci elektroenergetycznej w skali roku – moduły ze stałym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku



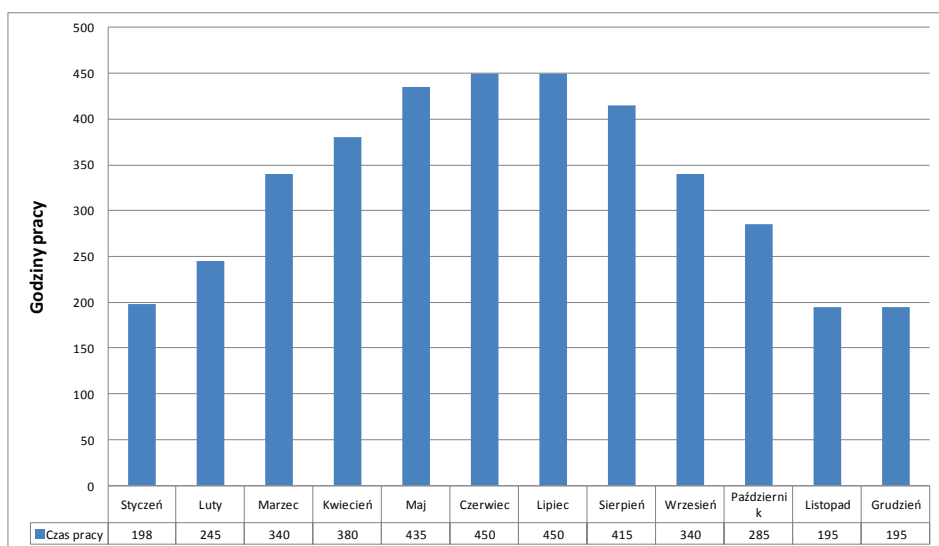
Rys. 6.24. Energia możliwa do wykorzystania w systemie i energia dostarczana do sieci elektroenergetycznej w skali roku – moduły ze stałym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku

Przeprowadzono podobne analizy i obliczenia dla systemu PV ze zmiennym kątem nachylenia modułów (0,42 rad w lecie i 0,98 w zimie) o charakterystyce podanej w tabeli 6.3.

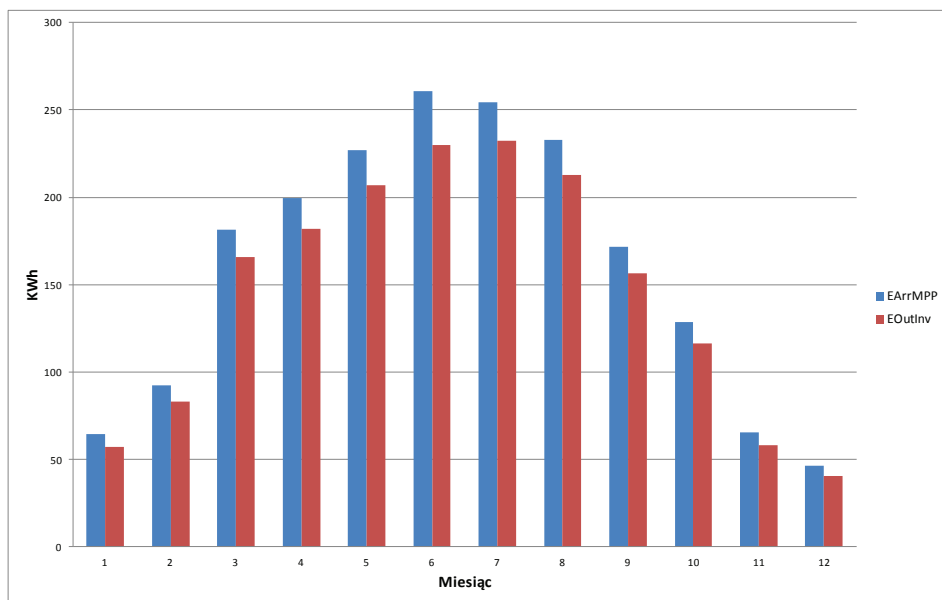
Wyniki symulacji pracy systemu PV ze zmiennym nachyleniem modułów przedstawiono w tabeli 6.5.

Tabela 6.5. Wyniki symulacji pracy systemu PV ze zmiennym nachyleniem modułów

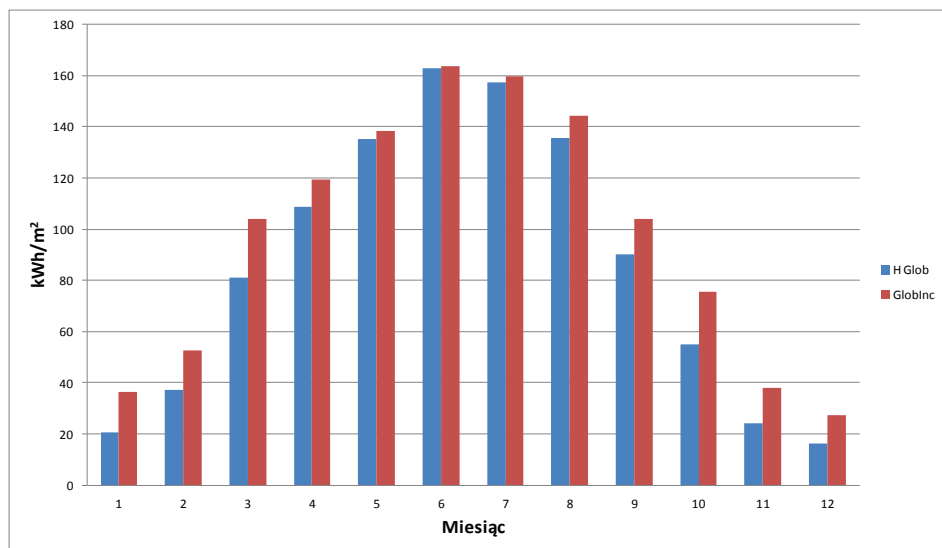
Parametry systemu PV								
	H Glob	T Amb	GlobInc	FTransp	EArrMPP	InvLoss	EOutInv	EffSyC
	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>		kWh	kWh	kWh	%
Styczeń	20,5	-3,9	36,6	1,789	64,4	7,2	57,2	11,16
Luty	37,2	-2,9	52,7	1,416	92,4	9,22	83,2	11,26
Marzec	81,2	0,9	104,1	1,282	181,3	15,7	165,6	11,36
Kwiecień	108,6	7,5	119,4	1,1	199,6	17,64	182	10,88
Maj	135,2	12,91	138,4	1,024	227	19,98	207	10,68
Czerwiec	162,9	16,8	163,6	1,004	260,6	22,42	230,1	10,4
Lipiec	157,5	17,9	159,6	1,013	254,4	22,07	232,3	10,4
Sierpień	135,8	16,9	144,4	1,064	232,8	19,9	212,9	10,53
Wrzesień	90,3	12,7	104	1,152	171,5	15,23	156,3	10,73
Październik	54,9	7,9	75,6	1,379	128,4	11,9	116,5	11,01
Listopad	24,3	3,1	38,2	1,572	65,4	7,23	58,1	10,87
Grudzień	16,1	-1,1	27,2	1,69	46,3	5,97	40,4	10,59
	1 024,4	7,45	1163,9	1,136	1924,1	174,45	1749,6	10,74



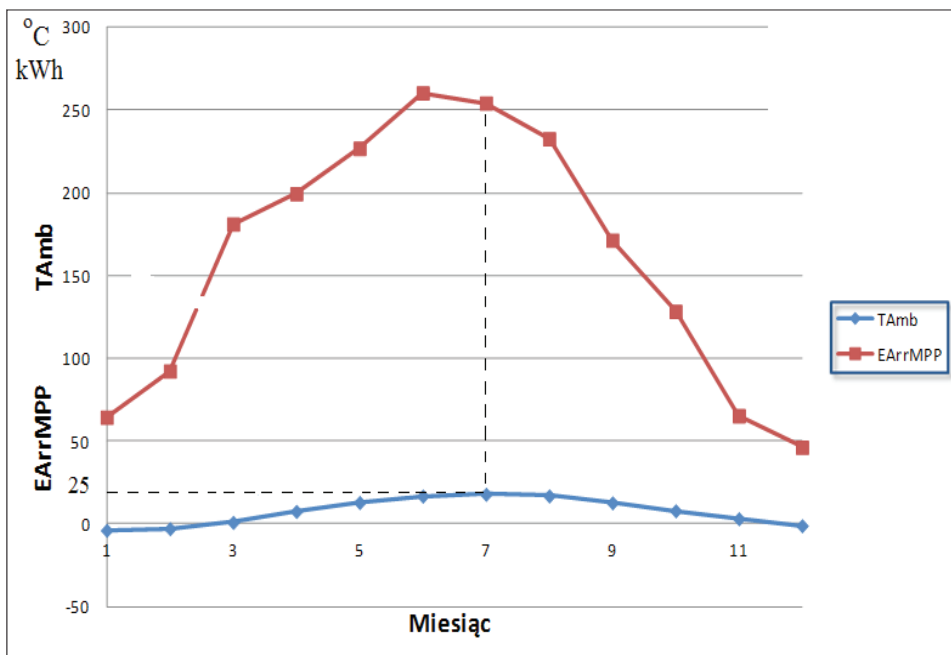
Rys. 6.25. Globalne nasłonecznienie horizontalne i w płaszczyźnie panelu PV w skali roku – moduły ze zmiennym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku



Rys. 6.26. Energia możliwa do wykorzystania w systemie i energia dostarczana do sieci elektroenergetycznej w skali roku – moduły ze zmiennym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku



Rys. 6.27. Globalne nasłonecznienie horyzontalne i w płaszczyźnie panelu PV w skali roku – moduły ze zmiennym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku



Rys. 6.28. Energia elektryczna możliwa do uzyskania w systemie bez strat w odniesieniu do temperatury miesięcznej w skali roku – moduły ze zmiennym kątem pochylenia umieszczone na dachu budynku

W celu określenia w skali roku zależności między energią dostępną na wyjściu z falownika (oddawaną do sieci) dla modułów ze stałym i zmiennym nachyleniem, zastosowano również funkcję korelacji (Rys. 6.29, 6.30). Umożliwia ona stwierdzenie, czy istnieje zależność między zmianami ich wartości w analizowanym okresie czasu.

Korelacja mierzy zależność pomiędzy dwoma zbiorami danych przeskalowanych tak, by były niezależne od jednostek miar. Obliczenie korelacji populacji podaje kowariancję dwóch zbiorów danych, podzieloną przez iloczyn ich odchyłek standardowych. Narzędzie wykorzystujące współczynnik korelacji można wykorzystać do określenia, czy dwa zbiory danych przesuwają się razem; to znaczy, czy duże wartości jednego zbioru są związane z dużymi wartościami drugiego (korelacja dodatnia), czy małe wartości jednego zbioru są związane z dużymi wartościami drugiego (korelacja ujemna), czy też wartości w obydwu zbiorach są niezwiązane (korelacja bliska zeru).

Równanie współczynnika korelacji  $\rho_{x,y}$  jest następujące:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (6.5)$$

gdzie:

$$-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1 \quad (6.6)$$

i:

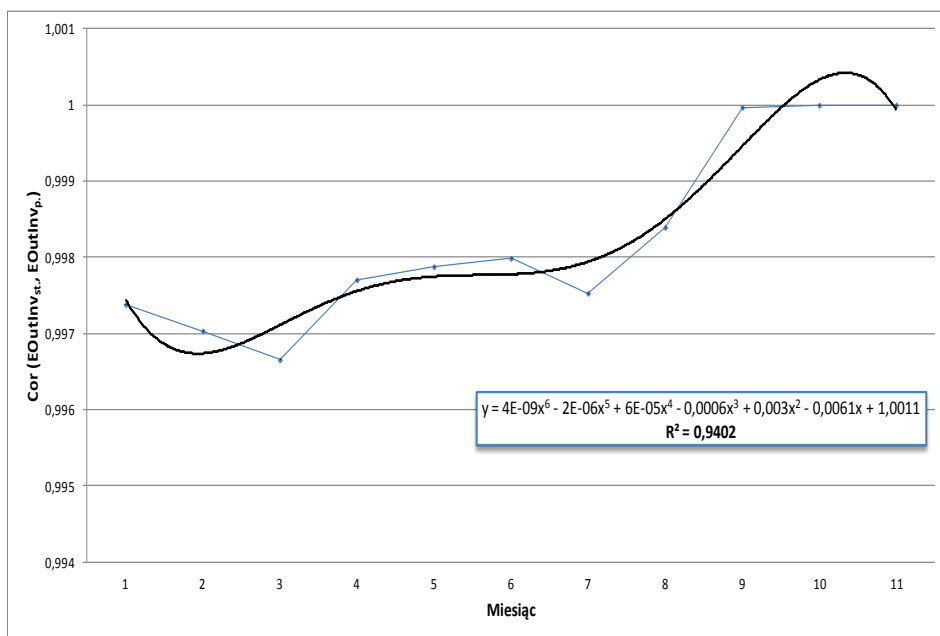
$$Cov(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y) \quad (6.7)$$

gdzie:

$Cov(X, Y)$  – kowariancja (tzn. średnia z iloczynów odchyłek każdej pary punktów danych). Umożliwia ona określenie zależności pomiędzy dwoma zbiorami danych,

$x_j, y_j$  – j-ty element odpowiednio porównywanych zbiorów danych X i Y,

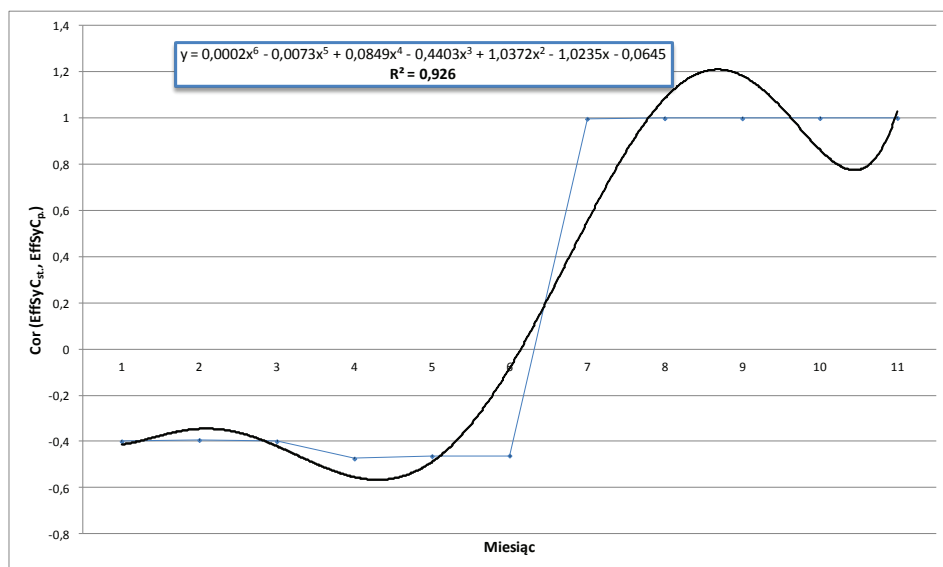
$\mu_x, \mu_y$  – odpowiednio średnie danych zbioru X i Y.



Rys. 6.29. Charakterystyka współczynnika korelacji (między modułami ze stałym kątem pochylenia, a modułami ze zmiennym kątem pochylenia umieszczonymi na dachu budynku) – energia oddawana do sieci w skali roku

Analogicznie zbadano korelacje między sprawnością systemu w odniesieniu do powierzchni modułów fotowoltaicznych dla układu z modułami ze stałym kątem pochylenia, a modułami ze zmiennym kątem pochylenia (Rys. 6.30).





Rys. 6.30. Charakterystyka współczynnika korelacji (między modułami ze stałym kątem pochylenia, a modułami ze zmiennym kątem pochylenia umieszczonymi na dachu budynku) – sprawność systemu w odniesieniu do powierzchni modułów fotowoltaicznych w skali roku

Porównując obydwa systemy można stwierdzić, że system ze zmiennym kątem pochylenia modułów fotowoltaicznych pozwala na uzyskanie o 4 % energii elektrycznej więcej w porównaniu do systemu umieszczonego na stałe na dachu przy zastosowaniu takiej samej liczby modułów. Zwiększeniu ulega też współczynnik transpozycji, ponieważ do modułów dociera więcej energii promieniowania słonecznego. Zastosowanie takiego systemu pociąga za sobą wzrost kosztów związanych z instalacją systemu. Należy w związku z tym poddać w wątpliwość instalowanie drogich systemów pozycjonowania modułów, gdyż ich koszt może przekroczyć uzyskane zyski.

## 6.5. Integracja instalacji inteligentnej z OZE

Jednym z głównych zadań KNX/EIB jest możliwość integracji różnych instalacji, pracujących w klasycznym wykonaniu jako odrębne. Integracja instalacji pozwala na zmniejszenie liczby i sumarycznej długości przewodów i kabli układanych w budynku, przy jednoczesnym zachowaniu poprzednich funkcji zasilanych urządzeń. Może również powodować rozszerzenie możliwości wykorzystania tych urządzeń, a także sprzyja wzrostowi oszczędności energii. Zarządzanie można zrealizować w oparciu o systemy automatyki budynkowej, które traktuje się wtedy, jako rdzeń systemu zarządzania. Wielu producentów wytwarza urządzenia, które nie są przystosowane do załączania z poziomu rdzenia. Z tego powodu ważne jest zagadnienie integracji urządzeń będących spoza rdzenia. W skład systemu instalacji budynkowych wchodzi wiele instalacji, które należy skonfigurować zgodnie z ich własnymi wymogami. Odrębnym zagadnieniem jest zintegrowanie ich w ramach automatyki

budynku. Uszczegółowienie opisu styku między tymi instalacjami zależy od wielkości i specyfiki obiektu oraz liczby danych wymienianych między nimi. Integracja może być przeprowadzona za pośrednictwem sygnałów we/wy napięciowych lub bezpotencjałowych lub za pomocą sterowników (Rys. 6.31).

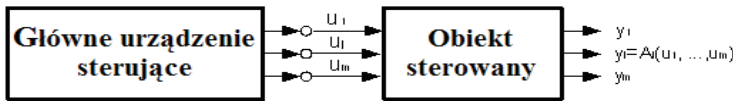
System zawiera kilka kontrolowanych wejść  $u_1, \dots, u_j, \dots, u_m$  z operatorami  $A_i$ :

$$y_i = A_i(u_1, \dots, u_j, \dots, u_m), \quad (6.8)$$

gdzie  $i=1, 2, \dots, j, \dots, n$  – liczba wejść.

W szczególnym przypadku wielowymiarowego układu liniowego równanie (6.9) ma postać:

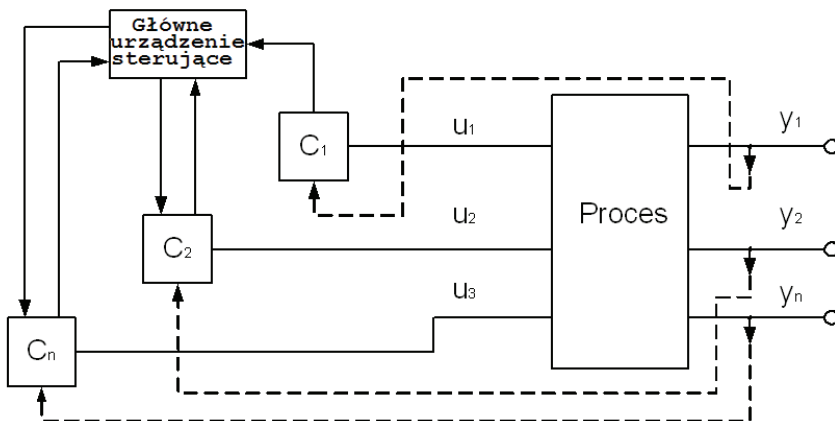
$$y_j = \sum_{i=1}^n L_{ij}(u_j). \quad (6.9)$$



Rys. 6.31. System wielowymiarowy

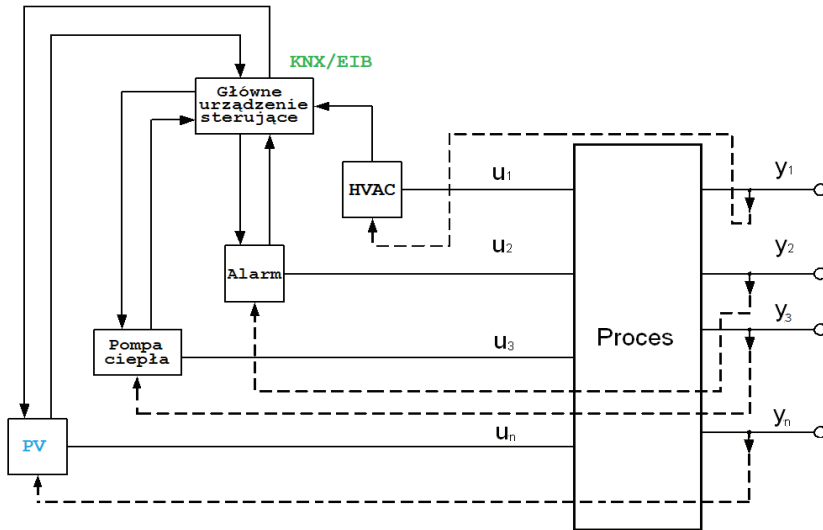
W systemach, w których można wyróżnić wiele oddziaływań, główne urządzenie sterujące z Rys. 6.31, można zastąpić oddziaływaniami lokalnymi  $C_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , sterującymi poszczególnymi podsystemami, jak to pokazano dla  $m=n$  na Rys. 6.32.

Celem urządzenia sterującego nadrzędnego jest koordynacja pracy urządzeń lokalnych, mająca na celu podporządkowanie celów lokalnych oddzielnych podprocesów wspólnemu celowi globalnemu, jak również uwzględnienie wzajemnego oddziaływania wyjść i wejść procesu. Koordynację osiąga się przez stały przepływ informacji między urządzeniami sterującymi lokalnymi a urządzeniami sterującymi nadrzędnymi.



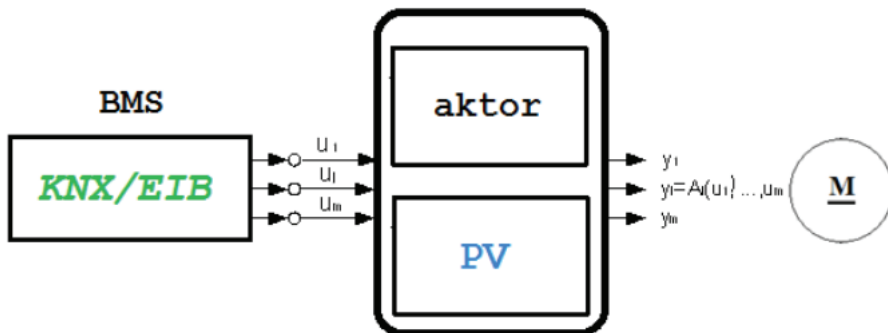
Rys. 6.32. Sterowanie systemu wielowymiarowego za pomocą urządzeń lokalnych i urządzenia nadrzędnego

Przykładem takiego urządzenia nadrzędnego może być system KNX/EIB (lub serwer z oprogramowaniem zarządzającym i wizualizacyjnym), natomiast lokalne podprocesy mogą stanowić poszczególne instalacje zautomatyzowanego (inteligentnego) budynku. Zgodnie z tą zasadą może być przeprowadzona integracja odnawialnych źródeł energii z systemem inteligentnym.



Rys. 6.33. Przykład sterowania w systemie wielowymiarowym za pomocą urządzeń lokalnych i urządzenia nadrzędnego ze zintegrowanymi źródłami energii odnawialnej

W budynkach inteligentnych często zachodzi potrzeba sterowania silnikami rolet i żaluzji oraz napędami bramowymi. Mogą być one zintegrowane z instalacją inteligentną i zasilaniem obwodów sterowania z OZE (Rys. 6.34).



Rys. 6.34. System wielowymiarowy zintegrowany z instalacją słoneczną

Jest to zgodne z jednym z głównych celów i zadań instalacji typu KNX/EIB, która umożliwia integrację różnych instalacji, pracujących w klasycznym wykonaniu, jako odrębne.

Integracja tych instalacji jest korzystna, pozwala, m.in. na zmniejszenie liczby i sumarycznej długości przewodów i kabli układanych w budynku, przy jednoczesnym zachowaniu poprzednich funkcji zasilanych urządzeń. Może również powodować rozszerzenie możliwości wykorzystania tych urządzeń. Wprowadzenie automatyki sprzyja także wzrostowi oszczędności energii.

### 6.5.1 Przykład integracji napędu rolet z OZE

Podstawowa różnica między roletami i żaluzjami polega na tym, że roleta składa się z pasa materiału lub papieru, a żaluzja posiada poziome listewki (lamelle), metalowe lub drewniane, umocowane odpowiednim systemem sznurów do specjalnej listwy. Oba rozwiązania zakładają możliwość unoszenia rolet czy żaluzji, za pomocą pociągania za sznurek lub napędu. Dodatkową zaletą żaluzji jest jeszcze możliwość zamykania i otwierania. W ten sposób reguluje się ilość światła, wpuszczanego do pomieszczenia. Cecha ta jest stosowana w systemach oświetlenia dziennego, dzięki czemu uzyskuje się możliwość dodatkowych oszczędności energii.

W przypadku rolet nie możliwości zmiany ilości światła wpuszczanego do pomieszczenia ponieważ nie posiadają lameli – ilość światła zależy od faktury materiału, z jakiego wykonano roletę, oraz od tego, czy jest zamknięta czy otwarta. Zdecydowana większość silników do rolet/żaluzji obecnych na rynku ma zasilanie 230V~.

Moce ich są bardzo różne – zależne od obciążeń (wielkości elementów napędzanych). Klasycznie kształtują się w typowym zakresie od 65 W do około 150 W. Są one porównywalne do mocy modułów fotowoltaicznych rozpatrywanych przy zasilaniu pompy ciepła.

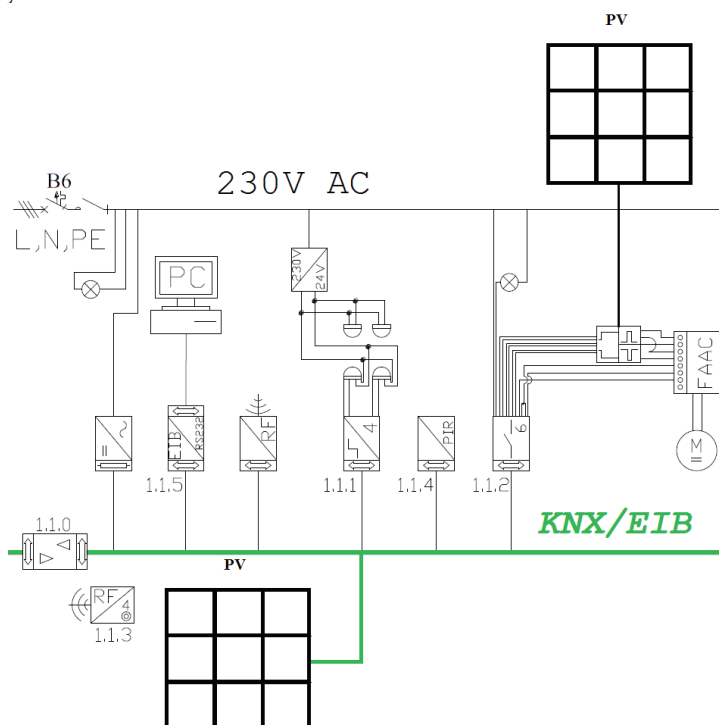
Przyjmując podobne założenia można przyjąć, że panele fotowoltaiczne mogą być wykorzystywane w inteligentnych budynkach jako dodatkowe źródło zasilania rolet, a w sprzyjających warunkach klimatycznych, nawet jako źródło podstawowe.

Dla potrzeb projektu integracji instalacji PV z systemem KNX/EIB zostało opracowane stanowisko badawcze do sterowania instalacją HVAC i napędem bramowym w tym systemie (Rys. 6.35) oraz napędem rolet/żaluzji (Rys. 6.36). Kontrola i nadzór budynku są realizowane za pomocą interfejsu szeregowego RS 232. Wszystkie zastosowane w budynku czujniki i siłowniki są zintegrowane z instalacją inteligentną KNX/EIB natomiast instalacja fotowoltaiczna uzupełnia potrzeby energetyczne budynku. Moduł PV mierzy moc panelu fotowoltaicznego w celu uzyskania optymalnego zarządzania energią pobieraną przez instalację. Ważnym jej elementem jest również stacja klimatyczna, dzięki której instalacja KNX/EIB reaguje na zmieniające się warunki otoczenia.

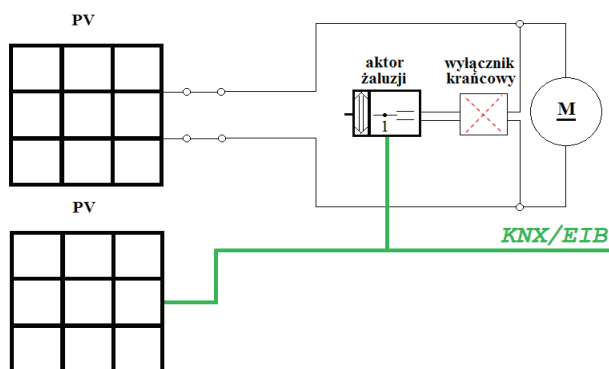
Aktor żaluzji posiada cztery kanały. W każdym z nich są dwa styki, które pozwalają na przełączenie silnika na ruch w lewo lub w prawo. Odpowiada to ruchowi rolet/żaluzji w górę lub w dół. Oba styki należy zabezpieczyć przed możliwością równoczesnego załączenia. Aktor żaluzji ma dwa tryby pracy, żaluzjowy i roletowy. W związku z tym jego styki załączające reagują na dwa typy telegramów z magistrali. Pierwszy z nich powoduje całkowite opuszczenie lub podniesienie żaluzji lub rolet, zaś drugi, w przypadku trybu roletowego, rozłączenie styków, zatrzymanie rolety w trakcie opuszczenia

lub podniesienia, natomiast w trybie żaluzjowym, rozłączenie obwodu, impulsowe załączanie styków oraz zmianę kąta nachylenia lamelek.

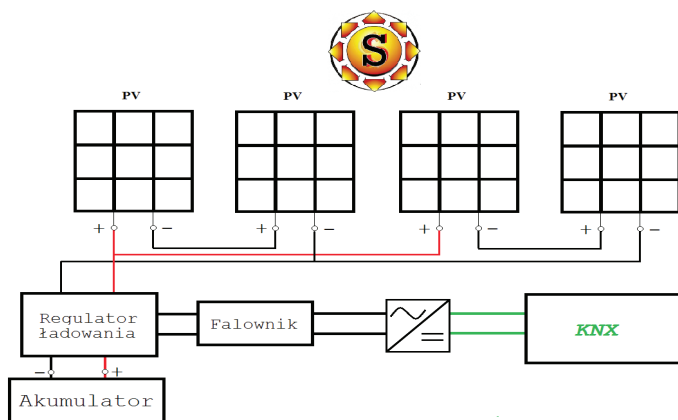
W przypadku sterowania ręcznego za pomocą przycisków można zaprogramować je na rozróżnianie typu rozkazu od czasu przytrzymania przycisku, np. przy długim przyciśnięciu roleta podnosi się lub opuszcza całkowicie, przy krótkim lamele zmieniają kąt nachylenia.



Rys. 6.35. Architektura systemu KNX/EIB z ogniwem fotowoltaicznym: zasilanie magistrali i sterownika silnika bramowego z panelu PV



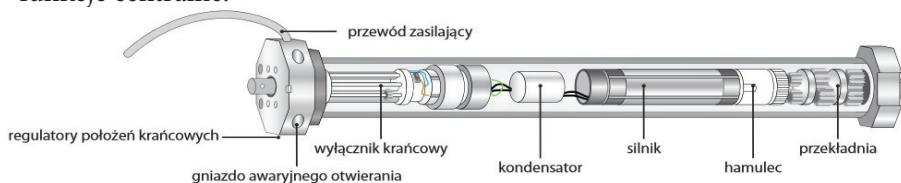
Rys. 6.36. Architektura systemu KNX/EIB z ogniwem fotowoltaicznym: zasilanie magistrali i aktora żaluzji z panelu PV



Rys. 6.37. Architektura systemu KNX/EIB z ogniwem fotowoltaicznym: zasilanie magistrali i aktora żaluzji z panelu PV

W trakcie parametryzacji aktora żaluzjowego można ustalić:

- tryb pracy (żaluzje lub rolety),
- parametry czasowe: czas przerwy przy zmianie kierunku ruchu, dopasowanie czasu przejazdu rolety/żaluzji do górnego położenia,
- ochronę przed nadmiernym nasłonecznieniem,
- układy logiczne służące do ochrony obiektów przed nadmiernym nasłonecznieniem,
- możliwości pozycjonowania żaluzji lub kąta lamelki,
- cykliczną kontrolę bezpieczeństwa,
- parametryzację komunikatu bezpieczeństwa, dzięki któremu roleta przemieszcza się do krańcowej pozycji,
- reakcję na stany awaryjne zasilacza magistrali i zachowanie po ponownym załączeniu zasilania magistrali,
- funkcje centralne.



Rys. 6.38. Budowa napędu rurowego

Źródło: Yooda Technology – materiały producenta

Napęd rurowy zastosowany do napędu rolet zewnętrznych jest jednofazowym silnikiem kondensatorowym z wyłącznikiem krańcowym, hamulcem i przekładnią. Właściwy dobór silnika liniowego do układu napędowego wymaga wszechstronnej znajomości zachowania się układu w różnych warunkach pracy. Ma-

szyny elektryczne liniowe są przetwornikami elektromechanicznymi, w których pobrana energia elektryczna przetwarzana jest na energię mechaniczną ruchu postępowego bez pośrednictwa mechanizmów dodatkowych, tj. korbowodów lub przekładni. Dla zapewnienia poprawnej pracy układu napędowego dla rolet/żalu- zji należy zachować następującą relację między mocą wejściową, a mechaniczną:

$$P \cdot \eta = M \cdot \omega \quad (6.10)$$

gdzie:

$P$  – moc wejściowa,

$\omega$  – prędkość kątowna silnika,

$M$  – elektromagnetyczny moment obrotowy silnika,

$\eta$  – całkowita sprawność układu.

Sprawność jest najwyższa, gdy obciążenie jest dopasowane optymalnie do źródła bez względu na moc wejściową, która jest zależna od poziomu nasłonecznienia. Ze znajomości mocy maksymalnej i częstotliwości przekształtnika DC/AC dla warunków znamionowych można wyznaczyć częstotliwość optymalną dla danego poziomu nasłonecznienia.

Przy założeniu zmiennych warunków pracy napędu można przyjąć, że moment obciążenia silnika ma różny charakter zmian [106].

Dla obciążenia silnika momentem parabolicznym, który opisuje równanie:

$$M_z = c \cdot \omega^2 \quad (6.11)$$

oraz przyjęcia w stanie ustalonym warunków równowagi momentu oporowego i napędowego zależność (6.10) przyjmuje postać:

$$P_{mn} \cdot \eta_0 = c_1 \cdot \omega^3 = c_2 \cdot (1-s)^3 \cdot f_n^3 \quad (6.12)$$

gdzie:

$c_1, c_2$  – stałe proporcjonalności,

$\eta_0$  – optymalna sprawność systemu dla warunków znamionowych,

$P_{mn}$  – maksymalna znamionowa moc baterii,

$f_n$  – częstotliwość znamionowa napięcia silnika,

$s$  – poślizg.

W przypadku warunków różnych od znamionowych równanie to przyjmuje postać:

$$P_{mn} \cdot \eta_0 = c_2 \cdot (1-s)^3 \cdot f^3 \quad (6.13)$$

w którym:

$P_m$  – maksymalna moc baterii dla dowolnych warunków obciążenia, różnych od znamionowych,

$f$  – częstotliwość napięcia silnika dla dowolnych warunków obciążenia, różnych od znamionowych.

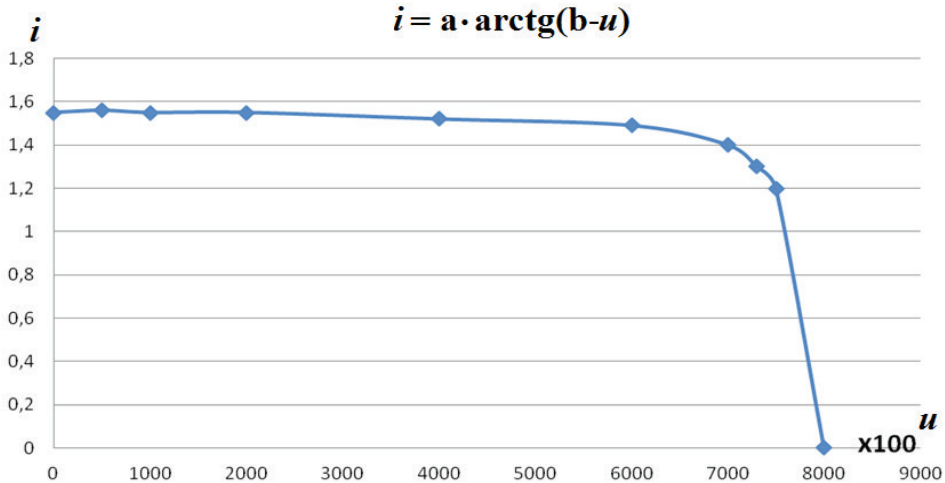
Po przekształceniu zależności (6.12) i (6.13) wyznacza się częstotliwość napięcia silnika dla warunków obciążenia różnych od znamionowych.



$$f = \sqrt[3]{\frac{P_m}{P_{mn}}} \cdot f_n \quad (6.14)$$

Charakterystykę prądowo-napięciową baterii fotowoltaicznej można odwzorować wykorzystując funkcję:

$$y = a \cdot \arctg(b - x) \quad (6.15)$$



Rys. 6.39. Wykres funkcji odwzorowującej charakterystykę prądowo-napięciową baterii fotowoltaicznej (dla  $a = 1$ ,  $b = 80$ )

Wartość napięcia jałowego generatora fotowoltaicznego, uzyskana po przekształceniach zależności (6.15) i przyjęciu ograniczeń wynikających z parametrów baterii ( $U_{oc}$  i  $I_{sc}$ ):

$$I \geq I_{sc} \quad \text{dla } U = 0 \quad (6.16)$$

$$I \leq 0 \quad \text{dla } U = U_{sc} \quad (6.17)$$

powinna być tak dobrana, aby była spełniona poniższa zależność:

$$U_{oc} = \sqrt{2U_n} \quad (6.18)$$

gdzie :

$U_n$  – wartość znamionowa napięcia zasilania silnika.

Wybrane przykłady modeli integracji OZE z urządzeniami automatyki budynkowej pozwalają na prowadzenie badań i symulacji pracy instalacji prosumenckiej. Dzięki wspomaganemu lub autonomicznemu zasilaniu za pomocą OZE możliwe jest dalsze ograniczenie zużycia energii przez urządzenia magistralne KNX/EIB.



## 7. Podsumowanie

Upowszechnienie się w latach 80. ubiegłego wieku technologii mikroprocesorowych, spowodowało dynamiczny rozwój systemów automatyki, przeznaczonych dla potrzeb obiektów budowlanych. Początkowo największe zainteresowanie tego typu systemami przejawiał sektor przemysłowy, w którym rosnące wymagania dotyczące jakości oraz efektywności produkcji wymuszały stosowanie coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań technologicznych. Najstarsze rozwiązania, oparte o odpowiednio połączone układy styków, cewek czujników, przekaźników, styczników zastępowane były stopniowo układami sterowania, wykorzystującymi dyskretne elementy elektroniczne typu: TTL, MOS, GAL, PAL czy PLD.

W krótkim czasie po pojawieniu się systemów automatyki w obiektach o charakterze przemysłowym inwestorzy nowo powstających obiektów biurowych dostrzegli korzyści związane ze stosowaniem automatyki w budynku. Początkowo w tym typie budynków adaptowane były rozwiązania pochodzące wprost z systemów automatyki przemysłowej. Stosowanie ich ograniczało się w głównej mierze do zarządzania najważniejszymi systemami budynku – systemem ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji. Stanowiły one w większości przypadków całkowicie odrębne sygnałowo rozwiązania. Wraz z dalszym rozwojem systemów automatyki przemysłowej zaczęto wykorzystywać ich protokoły komunikacyjne, które umożliwiły integrację poszczególnych podsystemów budynku. Rozwiązanie takie posiadało jednak wadę, która wynika z faktu, że w systemach automatyki przemysłowej często wykorzystywany jest mechanizm komunikacji oparty o zależność Master-Slave, który jest bardziej podatny na awarie. Zakłócenie pracy węzła nadrzędnego powodowało zatrzymanie pracy całego podsystemu, który mu podlegał. Spowodowało to upowszechnienie systemów o charakterze rozproszonym, które są obecnie stosowane prawie we wszystkich obiektach budowlanych wyposażonych w system automatyki.

W większości przypadków pojęcie systemu automatyki utożsamiane jest, w głównej mierze, z procesem sterowania. Jednakże proces ten nie mógłby odbywać się w sposób prawidłowy (a niekiedy wręcz jego realizacja byłaby niemożliwa), gdyby nie współbieżny proces wizualizacji. Wizualizacja stanowi podstawowy element informujący człowieka (użytkownika systemu, operatora) o stanie systemu automatyki, dzięki czemu możliwe jest przeprowadzenie niezbędnych działań, mających na celu obsługę oraz parametryzację systemu.

Ze względu na powszechną informatyzację niemalże wszystkich dziedzin nauki i techniki, systemy informatyczne, mające na celu wizualizację stanu systemu automatyki, stanowią obecnie jedno z podstawowych narzędzi, wykorzystywanych do informowania człowieka o stanie systemu. Współcześnie oferowane systemy wizualizacji bardzo rzadko wyposażone są jedynie w podstawowe mechanizmy prezentacji stanu systemu automatyki. Rosnące wymagania oraz coraz bardziej restrykcyjne przepisy prawne powodują, iż oprogramowanie tego typu często wyposażone jest w mechanizmy, pozwalające na archiwizację danych, ich obróbkę analityczną, statystyczną.

Ogromna popularność w ostatnich latach technologii sieciowych umożliwiła implementowanie zaawansowanych sieciowych protokołów komunikacyjnych oraz odpowiednich modułów aplikacyjnych w systemach zarządzania automatyką budynków. Oszczędność energii jest jednym z priorytetów polityki Unii Europejskiej, ustalonym ze względu na globalne problemy ludzkości związane z zanieczyszczeniem i degradacją środowiska naturalnego oraz wyczerpywaniem się zasobów paliw kopalnych. Funkcjonujące obecnie systemy i technologie związane z budownictwem mogą znacząco przyczynić się do pogorszenia jakości środowiska życia człowieka. Dlatego też istotne jest zwrócenie uwagi na energooszczędne systemy automatyki budynkowej. Jest to również spójne z obowiązującymi w Unii Europejskiej przepisami.

Udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym w Polsce powinien wzrosnąć. Do podstawowych zadań technologii energooszczędnych w budownictwie należy ograniczanie strat ciepła oraz stosowanie odnawialnych źródeł energii. Czynniki te sprzyjają powstawaniu obiektów tzw. niskoenergetycznych, czyli takich, których sezonowy wskaźnik zapotrzebowania na ciepło na rok  $E_0$  wynosi poniżej 70 kWh/m<sup>2</sup>.

Zautomatyzowany (inteligentny) budynek jest wysoko zaawansowanym technicznie obiektem z automatycznym, bardzo elastycznym systemem zarządzania. Dzięki informacjom pochodzącym z różnych elementów systemu, możliwa jest reakcja na zmiany środowiska wewnątrz i na zewnątrz budynku, maksymalizacja funkcjonalności, komfortu i bezpieczeństwa oraz minimalizacja kosztów eksploatacji. Należy także dodać, iż system takiego budynku nie może wpływać negatywnie na ludzi znajdujących się w jego środowisku, np. poprzez sterowanie parametrami klimatu wewnętrznego pomieszczeń wywołując poczucie znacznego dyskomfortu i doprowadzając do pojawienia się chorób np. astmy.

Zintegrowany system zarządzania obejmuje wiele autonomicznie pracujących układów automatyki i awaria któregokolwiek z nich nie może dezorganizować pracy pozostałych. System powinien być typu „otwartego”, tzn. powinien mieć możliwość rozbudowy istniejącej instalacji automatyki.

Statystyka pokazuje, że jedynie około 11–12 % obiektów „inteligentnych” to biurowce i centra biznesu, więcej (ponad 25% obiektów) stanowią obiekty przemysłowe, takie jak zakłady produkcyjne, huty, ciepłownie i elektrownie.

Specyfika tych obiektów polega na zlokalizowaniu ich na dużej powierzchni, która często obejmuje budynki o różnym przeznaczeniu. Kolejną dużą grupę obiektów stanowią budynki mieszkalne najczęściej rezydencje i domy jednorodzinne. Wraz ze wzrostem wymagań użytkowników i coraz większym dostępem do rozwijających się technologii można zauważyć, że cechy inteligentnego budynku może mieć również mieszkanie lub dom. Instalacje stosowane w inteligentnych domach często różnią się jedynie skalą i zakresem działania.

Należy jednak zwrócić uwagę, że nie tylko kwestie bieżącej ekonomii powinny decydować o wyborze i zastosowaniu danego rozwiązania. Podstawową ideą leżącą u podstaw stosowania ekologicznych źródeł energii powinna być dbałość o stan środowiska. Zarządzanie inteligentnym budynkiem (BMS) można zrealizować w oparciu o różne inteligentne instalacje, np. KNX/EIB, LCN. Należy je traktować wtedy, jako rdzeń systemu zarządzania. Programowanie urządzeń w ramach rdzenia jest zadaniem podstawowo-

wym w procesie uruchamiania automatyki. Niezwykle ważne jednak jest zintegrowanie z rdzeniem urządzeń będących poza nim. W skład systemu instalacji budynkowych wchodzi szereg instalacji, które należy skonfigurować zgodnie z ich własnymi wymogami. Odrębnym zagadnieniem jest zintegrowanie ich w ramach automatyki budynku. Sprecyzowanie opisu styku między tymi instalacjami zależy od wielkości i specyfiki obiektu oraz liczby danych wymienianych między nimi. Integracja może być przeprowadzona za pośrednictwem sygnałów we/wy napięciowych lub bezpotencjałowych lub za pomocą sterowników.

Zaprojektowane i w minionych latach rozwijane laboratorium przyczynia się do badania wielu rozwiązań proekologicznie zorientowanych. W laboratorium prowadzone są prace badawczo-rozwojowe dotyczące:

- projektowania i testowania systemów sterowania instalacją grzewczą i określenia jej efektywności energetycznej na potrzeby budownictwa,
- opracowania i testowania rozwiązań projektowych instalacji sterujących zapewniających obniżenie zużycia energii elektrycznej i ciepłej,
- opracowania technologii oprogramowania i testowania nowych i eksploatowanych instalacji,
- badania możliwości podłączenia i sterowania urządzeniami odbiorczymi w instalacjach budynku inteligentnego, np. KNX/EIB, Tebis TX, LCN, BUS-Pro,
- opracowywania układów integracji instalacji budynku z urządzeniami i systemami bezpieczeństwa.

Sieci rozdzielcze są tym gorzej wyposażone w systemy sterowania im niższym poziomem napięcia się charakteryzują. Automatyka i odpowiadające jej oprogramowanie pozwala osiągać znaczące oszczędności w zużyciu i optymalizacji kosztów energii. Jest to działanie proekologiczne.

Różnorodność przedstawionych w niniejszej pracy rozwiązań świadczy o uniwersalności współczesnych systemów automatyki, niekiedy nazywanych inteligentnymi. Ważnym elementem je łączącym jest możliwość uzyskania oszczędności energii, proekologiczny charakter oraz podniesienie komfortu użytkowników.

Opracowane modele badawcze mogą być stosowane do symulacji działania różnych układów integracji urządzeń w ramach automatyki budynkowej. Przeprowadzone symulacje pozwalają na upowszechnienie energetyki prosumenckiej i z pewnością przyczynią się do rozwoju niskoenergetycznych technologii budowlanych. W szczególności w pracy:

1. Opracowano koncepcję i wykonano modele instalacji KNX/EIB umożliwiające badanie integracji w systemach automatyki budynkowej.
2. Wykorzystano środowisko programowania graficznego (LabView) do sterowania i symulacji komponentów systemu magistralnego.
3. Opracowano dwa rozwiązania procesu nawadniania przydomowych ogrodów oraz murawy boisk piłkarskich, jedno oparte o sterowniki programowalne PLC a drugie w zintegrowanym inteligentnym systemie KNX/EIB. Automatyczne systemy nawadniania zapewniają optymalne zużycie wody oraz komfort użytkownika. Dotyczy to dostarczania wymaganej ilości wody w pożądanych odstępach czasowych.

4. Przeprowadzono analizę wykorzystania odnawialnych źródeł energii do wspomagania zasilania systemu automatyki budynku „inteligentnego”.
5. Zbadano korelacje między sprawnością systemu fotowoltaicznego w odniesieniu do powierzchni modułów fotowoltaicznych dla modułów ze stałym kątem i zmiennym kątem pochylenia.
6. Podano przykłady wykorzystania systemów fotowoltaicznych do zasilania pompy ciepła oraz zaproponowano sposób jej integracji w inteligentnym budynku.

Zaproponowane przez Autora rozwiązania pozwalają na prowadzenie badań nad profilami zużycia energii, czyli własnego zużycia energii w instalacjach prosumenckich. Przyczyniają się do racjonalizacji zużycia energii w gospodarstwach domowych i z tym związanej ochrony środowiska naturalnego człowieka.

Dzięki zaproponowanym rozwiązaniom możliwe będzie prognozowanie rozwoju energetyki prosumenckiej w skali lokalnej, w rewitalizowanych obszarach wiejskich.

Istotnymi zagadnieniami badawczymi, które mogą być realizowane w zaprojektowanym i zbudowanym przy udziale Autora, laboratorium badawczym jest doskonalenie algorytmów i struktur systemów informatycznych oraz automatyki w energooszczędnych budynkach.

Ocena i weryfikacja przydatności różnych systemów automatyki stosowanych we współczesnych domach przyczynia się do pełniejszego ich wykorzystania w instalacjach prosumenckich. Obecnie prowadzone są intensywne badania stawiające sobie za cel określenie optymalnych rozwiązań systemów budynkowych, które umożliwią minimalizację strat energii i maksymalizację zysków. W ten nurt badań wpisuje się również ta praca. Wyniki badań już zrealizowanych i planowanych do realizacji pozwolą na doskonalenie warunków, które należy spełnić, aby zachować jak najwyższy poziom energooszczędności budynku. Będą, zatem mogły zostać zastosowane również przez inne zespoły naukowe na potrzeby prowadzonych przez nie badań.

## Bibliografia

- [1] Bolle R. M., *Biometria*, WNT, Warszawa, 2008.
- [2] Borkowski P., *Podstawy integracji systemów zarządzania zasobami w obrębie obiektu*, WNT, Warszawa, 2009.
- [3] Bromirski M., *Inteligentny budynek*, „Elektro Info”, 3/2006.
- [4] Dubiel G., *Diagnostyka komunikacji w protokole SuiteLink*, „Biuletyn Automatyki”, nr 26, 4/2000.
- [5] Duszczyk K., *Systemy inteligentnych budynków cz.1*, „ElektroInfo”, 2007, nr 10.
- [6] Felser M., *PROFIBUS Handbuch. Eine Sammlung von Erläuterungen zu PROFIBUS Netzwerken*, Berner Fachhochschule, Burgdorf, 2008.
- [7] Horst M., *LCN – produkty i realizowane instalacje*. „Elektroinstalator”, nr 2, 2006, s.14–18.
- [8] Horyński M., *Efektywne wykorzystanie energii w domach z odnawialnymi źródłami energii*, „TTS Technika Transportu Szynowego”, 2013, nr 10, s. 827–836.
- [9] Horyński M., *Inteligentne systemy magistralne w sterowaniu instalacjami nawadniającymi boiska piłkarskie*, „TTS Technika Transportu Szynowego”, 2012, nr 9, s. 1273–1282.
- [10] Horyński M., *Indoor climate control in EIB system*, Teka Komsji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, Lublin, 2011, s. 114–122.
- [11] Horyński M., *Inteligentna instalacja elektryczna KNX w zarządzaniu pracą budynku serwisowego elektroniki samochodowej*, „LOGISTYKA”, 2011, nr 6, s.1368–1375.
- [12] Horyński M., *Zastosowanie wejść i wyjść binarnych w układach automatyki inteligentnego budynku*, „Przegląd Elektrotechniczny”, 2010, nr 7, s. 218–220.
- [13] Koczyk H., Antoniewicz B., Sroczan E., *Nowoczesne wyposażenie techniczne domu jednorodzinnego*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 1998.
- [14] Koczyk H., Antoniewicz B., *Nowoczesne wyposażenie domu jednorodzinnego – Instalacje sanitarne i grzewcze*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 2004.
- [15] Martyński J., Młodzianowski Z., Musiał E., *Instalacje elektryczne nowoczesnego luksusowego hotelu*, „Miesięcznik SEP INPE – Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, nr 120, 2009, s. 3–39.
- [16] Mikulik J., *Europejska Magistrala Instalacyjna, Rozproszony system sterowania bezpieczeństwem i komfortem*, COSiW, Warszawa, 2009.
- [17] Mikulik J., *Budynek inteligentny. Podstawowe systemy bezpieczeństwa w budynkach inteligentnych*, t. 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2005.
- [18] Möbus H., *Instalacja systemu LCN*, „Elektro Info”, 2006, nr 9.
- [19] Möbus H., *Inteligentne sterowanie budynkiem przy wykorzystaniu systemu LCN*, „Elektro Info”, 2006, nr 6.
- [20] Niedziejko P., Krysowaty I., *Biometria – Charakterystyka danych człowieka, Zabezpieczenia*, 2006.



- [21] Sroczan E., *Nowoczesne wyposażenie techniczne domu jednorodzinnego – Instalacje elektryczne*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 2004.
- [22] Hańczur P., *Materiały do ćwiczeń laboratoryjnych – Laboratorium Systemów Komunikacyjnych w Rozproszonych Układach Automatyki PLC*, Politechnika Warszawska, 2008.
- [23] Horyński M., Styła S., *Intelligent control for HVAC devices in LCN system*, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 2013, nr 1, vol. 13, s. 57–63.
- [24] Horyński M., *Wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii we współczesnych budynkach*, MOTROL – Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, vol. 13, Lublin, 2011, s. 150–156.
- [25] Horyński M., Pietrzyk, W., *Zastosowanie inteligentnych systemów magistralnych do sterowania napędami bramowymi*, „LOGISTYKA”, nr 6, 2010, s. 786–795.
- [26] Horyński M., *Instalacje elektryczne EIB w inteligentnym domu – komunikacja bezprzewodowa*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 3, 2008, s.105–107.
- [27] Instytut im. E. Kwiatkowskiego, *Energetyka Prosumencka możliwości i korzyści dla odbiorcy końcowego, opracowanie zbiorowe*, Warszawa, 2013.
- [28] Invensys Systems, Inc., Wonderware® FactorySuite™ InTouch™, *Podręcznik użytkownika*. Wrzesień, 2002.
- [29] Jabłoński W., Wnuk J., *Zarządzanie odnawialnymi źródłami energii*, Oficyna Wydawnicza Humanista, Sosnowiec, 2009.
- [30] Jastrzębska G., *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009.
- [31] Czerwieński A., *Akumulatory, baterie, ogniwa*, Wydawnictwa Komunikacji, 2012.
- [32] Bać A., *Budynki pasywne, Wymagania techniczne i projektowanie*, „Wiadomości Projektanta”, nr 6(185), 2006.
- [33] Bać A., *Drewniane budynki niskoenergetyczne*, „Wiadomości Projektanta Budownictwa”, nr 7(186), 2006.
- [34] Garbacki A.: *Wonderware DT Analyst – jak produkować efektywniej, czyli taniej*, „Biuletyn Automatyki”, nr 34, 4/2002.
- [35] Gąsiorek J., *Wioski ekologiczne w Wielkiej Brytanii. Rozwój spontaniczny czy zrównoważony? [w:] Oblicza równowagi. Architektura, urbanistyka, planowanie u progu międzynarodowej dekady edukacji na rzecz zrównoważonego rozwoju*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2005.
- [36] Horyński M., *The application of dispersed processing networks in order to optimize the energy consumption in contemporary buildings*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 7, 2013, s. 293–296.
- [37] Horyński M., *Energooszczędne instalacje inteligentne w obiektach agroturystycznych, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 2013, s. 273–280.
- [38] Horyński M., *Współpraca komponentów inteligentnego budynku w sterowaniu oświetleniem*, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, vol. 11, Lublin, 2011, s.135–142.

- [39] Niezabitowska E., *Budynek inteligentny. Potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego*, t. 1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2005.
- [40] Nowak W., Stachel A., Borsukiewicz-Gozdur A., *Zastosowanie odnawialnych źródeł energii*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 2008.
- [41] Wnuk R., *Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym*. „Przewodnik budowlany”, 2007.
- [42] Wójcicka-Migasiuk D., Horyński M., *Kompatybilność elektromagnetyczna instalacji fotowoltaicznych w aspekcie zastosowania w agroturystyce i na terenach chronionych*, Acta Agrophysica PAN, 60, „Agrofizyka na początku XXI wieku”, cz. 1, Lublin, 2002, 221230.
- [43] Horyński M., *Komputerowe wspomaganie projektowania wirtualnych systemów nadzoru instalacji elektrycznej we współczesnych budynkach*, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, vol. 11, Lublin, 2011, s.123–134.
- [44] Horyński M., *Reasonable energy management in an intelligent building*, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, Lublin, 2010, 10C, s. 87–94.
- [45] Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, wyd. 3, WNT. Warszawa, 2006.
- [46] Malej J., *Bezpieczeństwo energetyczne świata a ochrona ekosfery*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2009.
- [47] *Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych S.A., Materiały informacyjne*, 2013.
- [48] Piotrowski R., Domini P., *Budowa domu pasywnego krok po kroku*, Przewodnik budowlany, 2006.
- [49] Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, WNT, Warszawa, 2010.
- [50] Horyński M., *Computer – aided design of virtual supervision systems for the electric system in contemporary buildings*, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, vol. 11, Lublin, 2011, s. 123–134.
- [51] Strojny J., *Podręcznik INPE dla elektryków. Instalacja elektryczna w systemie KNX/EIB*, z. 10, 2012.
- [52] Horyński M., *Programowanie graficzne w sterowaniu inteligentną instalacją elektryczną*, „Rynek Energii”, 2011, nr 3, s. 109–115.
- [53] Kapica J., Ścibisz M., *Wykorzystanie środowiska LabView do tworzenia instrumentów wirtualnych wspomagających pomiary w inżynierii rolniczej*, *Inżynieria Rolnicza*, nr 2(90), Kraków, 2007, s. 77–83.
- [54] Luchowski G., *Systemy informatyczne do wizualizacji pracy instalacji w budynku inteligentnym*, praca magisterska, Politechnika Lubelska, 2009 – promotor M.Horyński.
- [55] Ścibisz M., *Zastosowanie środowiska LabView do symulacji pracy panela operatorskiego maszyny rolniczej*, *Inżynieria Rolnicza*, nr 7 (105), Kraków, 2008, s. 215–220.

- [56] ASTOR Sp. z o.o., Informator techniczny Wonderware nr 10, Koncepcja systemu komunikacji firmy Wonderware (protokoły OPC, SuiteLink, DDE), ASTOR, Kraków, 1998.
- [57] ASTOR Sp. z o.o., Informator techniczny Wonderware nr 13, Industrial SQL Server, Narzędzia do pobierania i analizy danych – cz.1, Kraków, 1999.
- [58] ASTOR Sp. z o.o. Informator techniczny Wonderware nr 42, Wonderware InTouch – Usługi Terminalowe – znane ograniczenia, Kraków, 2002.
- [59] Bistróń P., *DownTime Analyst – jak podwyższyć wydajność linii produkcyjnej*, „Biuletyn Automatyki”, nr 42, 4/2004.
- [60] Czmich W., *Industrial Application Server – wersja 2.0*, „Biuletyn Automatyki”, nr 42, 4/2004.
- [61] Czmich W., *ActiveFactory Draw/Live*, „Biuletyn Automatyki”, nr 22, 4/1999.
- [62] EIBA/Konnex Org. EIB Installation Bus., EIBA Handbook Series. Guide for Development, Bruksela, 1999.
- [63] EIBA/Konnex Org. EIB Installation Bus., Project Engineering for EIB/KNX Installations, edycja 4 poprawiona, Bruksela, 1998.
- [64] EIBA/Konnex Org. EIB Installation Bus., Instructors Seminar. EIB Interworking Standards, Bruksela, 1999.
- [65] Gajda J., Szyper M., *Modelowanie i badania symulacyjne systemów pomiarowych*, Wydawnictwo Wydziału Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki AGH, Kraków, 1998.
- [66] Jakuszewski R., Programowanie systemów SCADA, Proficy HMI/SCADA – iFIX, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice, 2008.
- [67] Strona firmy Interface Database, <http://interface.tme.szczecin.pl>, 2011.
- [68] Sydenham P. H., *Podręcznik metrologii*, Warszawa, 1988.
- [69] Świsulski D., *Systemy pomiarowe. Laboratorium*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2001.
- [70] Sumorek A., Buczaj M., Horyński M., Boguta A., Styła S., *Dobór języka programowania kontrolera PLC*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2013, nr 10, s. 2319–2329.
- [71] Ścibisz M., Pawlak H., *Wykorzystanie sterowników PLC w tworzeniu układów sterowania w przemyśle rolno-spożywczym*, „Inżynieria Rolnicza”, nr 11 (109), Kraków, 2008, s. 241–246.
- [72] Ścibisz M., Pawlak H., *Wykorzystanie sterowników PLC jako elementów kontrolnych w liniach technologicznych w przemyśle rolno-spożywczym*, „Inżynieria Rolnicza”, nr 8 (117), Kraków, 2008, s. 231–236.
- [73] Wiśniewski W., *Inteligentne instalacje elektryczne na przykładzie magistrali instalacyjnej standardu EIB*, „Biuletyn Techniczno-Informacyjny SEP”, nr 2 2002.
- [74] Handbook for Home and Building Control, 5th revised edition, opracowanie KNX Association, 2006.
- [75] Pliszka K., Jarosiewicz J., *Implementacja sprzęgu programu warstwy 7 (FMS) sieci PROFIBUS zgodnego ze specyfikacją QNX ALI w systemie operacyjnym OS9*, praca dyplomowa. Politechnika Warszawska, Warszawa, 2003.

- [76] Szepietowski M., *Budynek inteligentny – opis rozwiązań*, „Elektro info” nr 5(7), 2002, Warszawa.
- [77] Włodarczyk J., Podosek Z., *Systemy techniczne budynków inteligentnych*, Cyber. Warszawa, 2002
- [78] Duszczyk K., *Systemy inteligentnych budynków cz.2*, „Elektro Info”, nr 12 2007.
- [79] Grega W., *Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych*, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2004.
- [80] Horyński M., *Model do badania komunikacji w inteligentnym budynku w standardzie KNX*, „MOTROL – Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa”, nr 5, vol. 14, 2012, s. 63–67.
- [81] Klimasara W., Pilat Z., *Podstawy Automatyki i Robotyki*. WSiP, Warszawa, 2006.
- [82] Kmiecik W., *Sterowniki PACSystems – nowa era w systemach sterowania*, „Biuletyn Automatyki” nr 36, 2/2003, Warszawa, 2006.
- [83] Pietrusiewicz K., Dworak P., *Programowalne sterowniki automatyki PAC*, NAKOM, Poznań, 2007.
- [84] Horyński M., *Energy efficient control of lighting in an intelligent building*, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 1, vol. 12, Lublin, 2012, s. 61–67.
- [85] Andersen R., *Inżynieria zabezpieczeń*, WNT, Warszawa, 2005.
- [86] Boczkowski A., *Bezpieczeństwo użytkowania instalacji elektrycznych*, Wydawnictwo Wiedza i Praktyka, 2010.
- [87] Drop D., Jastrzębski D., *Współczesne instalacje elektryczne w budownictwie jednorodzinnych z wykorzystaniem osprzętu firmy Moeller*, COSiW SEP, Warszawa, 2002.
- [88] EN-50131-1:1997 *Alarm system – Intrusion system – Part 1:General requirements*.
- [89] Fross K., *Badania jakościowe budynku – obowiązek facility managera*, Politechnika Śląska, Wydział Architektury, International Facility Management Association-Polska, strona www – [www.ifma.pl](http://www.ifma.pl), data dostępu: 23.04.2006.
- [90] Horyński M., *Inteligentne instalacje budynkowe a sprawa polska*, „Napędy i Sterowanie – miesięcznik Naukowo-Techniczny”, 2013, nr 12, s. 78–81.
- [91] Klajn A., Bielówka M., *Instalacja elektryczna w systemie KNX/EIB*, Podręcznik INPE – bezpłatny dodatek dla prenumeratorów miesięcznika INPE, COSiW SEP, 2006.
- [92] Klajn A., *Automatyka budynkowa – wybrane systemy inteligentnych instalacji elektrycznych*, „Elektroinstalator”, nr 7–8(2)2007, s. 26–31.
- [93] Markiewicz H., *Instalacje elektryczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
- [94] Pazdro K., Wolski A., *Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2003.
- [95] Petykiewicz P., *Nowoczesna instalacja elektryczna w inteligentnym budynku*, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictwa SEP, Warszawa, 2001.

- [96] Petykiewicz P., *Instalacja elektryczna w inteligentnym budynku*, Rozdział 13 [w:] *Instalacje Elektryczne i Teletechniczne*, Wydawnictwo Verlag Dashöfer, Warszawa, 2001 wraz z późniejszymi uzupełnieniami.
- [97] Petykiewicz P., *Technika systemowa budynku instabus EIB. Podstawy projektowania*. Warszawa, 1999.
- [98] PN-IEC 60364-1: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Zakres, przedmiot i wymagania podstawowe*.
- [99] PN-IEC 60364-5-51: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Postanowienia ogólne*.
- [100] Seip, G. G., *Czas magistrali*, „Inteligentny Dom”, nr 1(10)/2000, Wrocław, 2000.
- [101] SMARTech Sp. z o.o.: *Inteligentny dom w systemie EIB, materiały informacyjne*, Warszawa, 2003, strona www – www.EIB/KNX.pl oraz www.smartech.pl, data dostępu: 12.03.2012.
- [102] Wiatr J., *Poradnik projektanta elektryka*, Wydawnictwo Medium, Warszawa, 2010.
- [103] Kupczyk T., *Spojrzenie na rynek inteligentnych budynków w Polsce, materiały Drugich Krajowych Warsztatów Kompatybilności Elektromagnetycznej „Warsztaty EMC – Wrocław 2000”*, Wrocław, 2000.
- [104] Lejdy B., *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009.
- [105] Horyński M., Styła S., *Wykorzystanie instalacji magistralnej EIB/KNX do zarządzania energią w samochodach typu camper*, „LOGISTYKA”, nr 3, 2012, s. 809–814.
- [106] Kolano J., Kolano K., *Praktyczna realizacja układów napędowych prądu stałego zasilanych z baterii fotowoltaicznych*, „Maszyny Elektryczne-Zeszyty Problemowe”, nr 75, 2006, s.229–241.
- [107] Miozga A., *Hierarchiczna budowa współczesnych systemów sterowania i wizualizacji, cz. 1*, „Biuletyn Automatyki”, nr 33(3)2002.
- [108] Miozga A., *Hierarchiczna budowa współczesnych systemów sterowania i wizualizacji, cz. 2*, „Biuletyn Automatyki”, nr 34(4) 2002.
- [109] Ozga P.: *Analiza możliwości wykorzystania wybranych źródeł energii odnawialnej w budynku energooszczędnym – promotor J. Kolano i A. Siuta-Olcha*, Politechnika Lubelska.
- [110] Ożadowicz A., *Funkcjonalność zintegrowanej automatyki pomieszczenia w technologii EIB/KNX*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, 2006.
- [111] *Badania naukowe w Katedrze Elektrotechniki Ogólnej*, pod red. Pietrzyk, W., Acta Agrophysica PAN, 71, Lublin, 2002, s. 77.
- [112] ABB i-bus® KNX Room Master Basic RM/S 1.1, dokumentacja techniczna producenta.
- [113] Dębicka M., *Wpływ cyrkulacji atmosfery na kształtowanie warunków klimatu (na przykładzie Wrocławia)*. [w:] *Studia geograficzne* vol. 60, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 1994, s.1946–1986.



- [114] Gluecklich D., *Oekologisches Bauen*. Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten, Merkur Druck, 2004 Leipzig. ABB – materiały informacyjne, 2010.
- [115] Miozga A., *Poradnik dla programistów – Co kryje ActiveFactory*, „Biuletyn Automatyki” nr 57(1)2007.
- [116] Katalog producenta systemów wizualizacji współpracujący z LCN, DomiQ 2012.
- [117] Kolano J., Kolano K., *Problemy doboru parametrów systemów fotowoltaicznych zasilających wybrane układy napędowe*, [w:] *Nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii: Zrównoważone systemy energetyczne*, pod red. Waldemara Wójcika, Lublin, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 2005, s. 150–156.
- [118] Horyński M., *Wykorzystanie technologii VoIP w sterowaniu instalacjami inteligentnego budynku*. „Napędy i Sterowanie – miesięcznik Naukowo-Techniczny”, nr 12, 2014, s. 90–94.
- [119] Horyński M., Pietrzyk, W., *Mutual support of intelligent building components in the scope of lighting control*, TeKa Komsji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 2011, vol.11, s.135–142.
- [120] Horyński M., *Zdalne zarządzanie inteligentną instalacją elektryczną, MOTROL*. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, Lublin, 2006, 8A, s. 142–147.
- [121] *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dziennik Ustaw 2002, 75 poz. 690.
- [122] ABB i-bus® EIB/KNX: Display and Control Tableau MT701.2, dokumentacja techniczna producenta.
- [123] ABB i-bus® EIB/KNX, IP Gateway IG/S 1.1, dokumentacja techniczna producenta.
- [124] ABB i-bus® EIB/KNX, Switch Actuator 8-fold 16 A C-Load MDRC AT/S 8.16.5, dokumentacja techniczna producenta.
- [125] ABB i-bus® EIB/KNX, Telephone Gateway TG/S 3.1, dokumentacja techniczna producenta.
- [126] ABB i-bus® EIB/KNX, Universal I/O Concentrator 32fold, dokumentacja techniczna producenta.
- [127] ABB i-bus® EIB/KNX, Universal Interface 4-fold FM US/U 4.2, dokumentacja techniczna producenta.
- [128] ABB i-bus® EIB/KNX, USB Interface 2-fold, MDRC USB/S 1.1, dokumentacja techniczna producenta.
- [129] Horyński M., Wójcicka-Migasiuk D., *Wspomagana komputerowo analiza pola i temperatury w wybranych obiektach*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 486, 2002, s. 59–64.
- [130] Ożadowicz A., *Komunikacja w systemach inteligentnego budynku – zasady, niezawodność, bezpieczeństwo*, „Elektroinstalator” nr 9, 2005, Warszawa, 2005.
- [131] Horyński M., Majcher J., *Zdalny nadzór nad inteligentnym budynkiem*. Poznań University of Technology Academic Journals. „Electrical engineering”, nr 79, 2014, s. 181–188.

- [132] Horyński M., Majcher J., *Możliwość wizualizacji stanu instalacji w inteligentnych budynkach*, „Napędy i sterowanie – Miesięcznik Techniczno-Informacyjny”, nr 12(140), 2010, s. 90–92.
- [133] Parol M., i inni., *Monitoring i zdalne sterowanie instalacjami KNX za pośrednictwem Internetu*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 7–8, 2007.
- [134] Kent State University. Liquid Crystal Institute at Kent State University, Publications, 22.15.2004.
- [135] Czmich W., *Kiedy InBatch, kiedy InBatch FlexFormula a kiedy InTouch – Receptury*, „Biuletyn Automatyki”, nr 32(2), 2002.
- [136] Dobrowolski J., *Identyfikacja radiowa – RFID*, „Elektronika” nr 11, 2007.
- [137] Boguta A., Horyński M., *Automatic measurement of time constant for temperature sensors*, Teza Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 1, vol. 13, Lublin, 2012, s.15–18.
- [138] Horyński M., Majcher J., *Wykorzystanie systemu otwartego do kontroli mikroklimatu w pomieszczeniach gospodarczych*, „Inżynieria Rolnicza” nr 7(125), 2007, s. 67–73.
- [139] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii.
- [140] Waclawek M., Rodziewicz T., *Ogniwa słoneczne. Wpływ środowiska naturalnego na ich pracę*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2011.
- [141] Tytko R., *Odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo OWG, Warszawa, 2009.
- [142] Kacejko P. i inni, *Prosument – przyjaciel, wróg czy tylko hobbysta?*, „Rynek Energii”, nr 5, 2014, s. 83–89.
- [143] Meler-Kapcia M.: *Zastosowanie wybranych metod sztucznej inteligencji do wspomagania projektowania statku na przykładzie automatyki siłowni*. Praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2007.
- [144] Zając A., *Pompy ciepła*. Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2008.
- [145] Zawadzki M., *Kolektory słoneczne, pompy ciepła – na tak*. Wydawnictwo Polska Ekologia, Warszawa, 2003.
- [146] Żukowski P. (red.), *Ogniwa fotowoltaiczne dla energetyki słonecznej – zagadnienia materiałowe*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2006.
- [147] *Materiały bibliograficzne firmy Local Control Network*, www.lcn.pl, data dostępu: 22.11.2012.
- [148] *Materiały Międzynarodowej Konferencji „International Congress on Intelligent Building Systems InBus 2002”*, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
- [149] Niestępski St., Parol M., Pasterniakiewicz J., Wiśniewski T., *Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2001.
- [150] Roter-systemy solarne, Materiały informacyjne, 2011.
- [151] Rączka J., Swora M., Stawiany W., *Generacja rozproszona w nowoczesnej polityce energetycznej – wybrane problemy*, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Warszawa, 2012.
- [152] Bienkowski M., *Budowa i działanie matryc CCD i CMOS*, „Chip”, nr 6, 2005.



- [153] Garbacki A., *InSQL Trend i ActiveFactory Trend*. Biuletyn Automatyki”, nr 22(4),1999.
- [154] Kamiński K., *Programowanie paneli operatorskich*. Kamiński Krzysztof, 2007.
- [155] Merwart P., *Ethernet a sterowniki GE Fanuc*. „Biuletyn Automatyki”, nr 29(3), 2001.
- [156] Merwart P., *Panele operatorskie PAC – Quickpanel CE*, Biuletyn Automatyki”, nr 38(4), 2003.
- [157] Pawełczyk W., *Obsługa InTouch 10.0 – część 1: Uruchomienie, Materiały firmowe firmy ASTOR Sp. z o.o.*, data dostępu: 14.01.2008.
- [158] Pawełczyk W., *Obsługa InTouch 10.0 – część 2: Grafika, Materiały firmowe firmy ASTOR Sp. z o.o.*, data dostępu: 25.03.2008.
- [159] SMARTech Sp. z o.o.: „Opis systemu EIB/KNX Instabus”, materiały informacyjne, styczeń 2004, strona www - www.EIB/KNX.pl, data dostępu: 29.05.2012.
- [159] Kwaśniewski J., *Sterowniki PLC w praktyce inżynierskiej*, BTC, Legionowo, 2008.
- [160] Strzyżewski J., *Bezpieczny dom rodzinny. Instalacje elektryczne*, t.1, Wydawnictwo Polcen, 2011.
- [161] Rzeczkowski I. *Różnice pomiędzy tradycyjną instalacją elektryczną, a instalacją magistralną*, „Fachowy elektryk”, 2013.
- [162] Ożadowicz A., *Analiza porównawcza dwóch systemów sterowania inteligentnym budynkiem systemu europejskiego EIB/KNX oraz standardu amerykańskiego na bazie technologii LonWorks*, Rozprawa Doktorska, Kraków, 2006.
- [163] Ożadowicz A., *Magistralne zintegrowane systemy automatyki budynku – porównanie systemów EIB/KNX i LonWorks*, „Elektrotechnika i Elektronika”, nr 21, z. 1, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2002.
- [164] Horyński M., *Systemy automatyki budynkowej w rewitalizacji przestrzeni wiejskiej*. „Logistyka” nr 6, 2014 s. 4527–4534.
- [165] Alexander Maier GmbH: *EisBär KNX, dokumentacja techniczna producenta*, 2013.
- [166] Grega W., *Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych*, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2004.
- [167] Horyński M., *Heating system control in an intelligent building*, TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, vol. 8, Lublin, 2008, s. 83–88.
- [168] Horyński M., *Intelligent electric systems in urban traffic control*, TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, vol. 7, Lublin, 2007, s. 110 – 115.
- [169] Horyński M., Wójcicka–Migasiuk D., *Wspomagana komputerowo analiza pola temperatury w wybranych obiektach*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 486, cz.1, 2002, s. 59–64.
- [170] Jabłoński W., Wnuk J., *Zarządzanie odnawialnymi źródłami energii*, Oficyna Wydawnicza Humanista, Sosnowiec, 2009.
- [171] Latocha G., *Inteligentny dom a instalacja tradycyjna – różnice w sterowaniu*, PPUH infoLok, Katowice, 2011.
- [172] Legutek M., *Kiedy stosować karty komunikacyjne*, „Biuletyn Automatyki”, nr 45(3), 2005.
- [173] MocarSKI T., Matusiak L., AMICA Wronki S.A, „Biuletyn Automatyki”, nr 23(1), 2000.

- [174] Ogrodniczuk J., Węglarz A., Kamieniecka J., *Energia w obiekcie turystycznym*, Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa, 2011
- [175] Pluta Z., *Słoneczne instalacje energetyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
- [176] PN-EN 50090-2-1:2002, *Domowe i budynkowe systemy elektroniczne (HBES). Część 2-1: Przegląd systemu. Architektura*.
- [177] PNO Polska., PROFIBUS Technologie i aplikacje, listopad 2004.
- [178] Popiół M., Zbrzezny M., *Wprowadzenie do technologii OPC*. CAS, Łódź, 2008.
- [179] Praca zbiorowa, Kwaśniewski S., Zając P., *Automatyczna identyfikacja w systemach logistycznych*, OWPW, Wrocław, 2004.
- [180] Szepietowski M., *Budynek inteligentny – opis rozwiązań*, „Elektro info”, nr 5(7), Warszawa, 2002.
- [181] Tamas D., *Wybrane systemy inteligentnego domu*. „Kreator-Projekty”, nr 1, 2008, s. 42–44.
- [182] TEMA-Warszawa: „Konspekt szkoleniowy EIB”, materiał szkoleniowy, firma TEMA-Teresa Machczyńska, Warszawa, 2003.
- [183] Włodarczyk J., Podosek Z., *Systemy techniczne budynków inteligentnych*, Cyber. Warszawa, 2002.

#### Katalogi:

- [184] ADLINK Technology, Inc. – katalog producenta kart pomiarowych.
- [185] Hewlett-Packard Visual Engineering Environment – Podstawy programowania aplikacji w środowisku HP VEE.
- [186] National Instruments – Aparatura kontrolno-pomiarowa.
- [187] Advantech – katalog producenta kart pomiarowych.
- [188] Agilent Technologies – katalog producenta.
- [189] xComfort bezprzewodowy system sterowania domem. Eaton 2011.
- [190] Biała Księga 1997 – Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii.
- [191] Biała księga 2009 – Adaptacja do zmian klimatu – europejskie ramy działania.
- [192] Zielona księga 2011 – Oświetlenie przyszłości – Przyspieszenie wdrażania innowacyjnych technologii oświetleniowych.
- [193] Zielona księga – Instrumenty rynkowe na potrzeby polityki w zakresie ochrony środowiska i w dziedzinach pokrewnych – zielona księga 2007.
- [194] Zielona księga – Ochrona lasów i informacje o lasach w UE: przygotowanie lasów na zmianę klimatu – zielona księga 2010.
- [195] Zielona księga – Ramy polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030 COM(2013) 169, Marzec 2013.
- [196] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r., Bruksela, 8.3.2011 r.

# Automated Energy Efficient Systems of Energy Management in Residential

**Key words:** control, automation, renewable energy, smart building, energy efficiency.

## Summary

One of the main directions of development of the electricity market in the world it may be distributed energy resources, with particular emphasis on the role of energy consumers – prosumers. Globally, it is estimated that prosumers will generate about 10% of the power supply, and in particular regions, this proportion may be much larger.

The monograph has two objectives – cognitive and application.

The first objective is to improve methods of testing building systems and knowledge of interactions between installations belonging to the core of the building management system.

The second one is based on research developed models. These models can be applied to simulate the operation of various systems integration of devices in the automation of buildings. The simulations allow for the development of prosumer energy and contribute to the development of low-energy building technologies. The author of this work for their achievements include:

1. Develop concepts and production models KNX/EIB enabling study with the integration of building automation systems.
2. Implementation of the models and the study of the use of environmental graphics programming (LabView) for control and simulation of main system components.
3. Due to the ongoing climate change and the need for rational use of water is important to the organization of irrigation sewage recreational areas, such as gardens and turf football fields. Automatic watering systems for optimum water use and comfort. This applies to deliver the required amount of water at the desired intervals. Proposed two solutions, one based on autonomous PLCs, the other in an integrated intelligent KNX/EIB. Of particular importance is the integration of field irrigation system with other systems, because the object of pleasure is a complex of different buildings equipped with often complex systems that require skillful management of energy in order to reduce the expenses involved and ensure optimum use of water and comfort. Moreover, contribute to the rational use of water and the associated environmental rights.
4. Author's achievement is also analysis of the use of renewable energy sources to support the power of automated building management system.
5. Also examined the correlation between the performance of a photovoltaic system with respect to the surface of the PV modules to system modules with a fixed angle of inclination, and the modules, and the angle of inclination.
6. An analysis of the possibilities of using photovoltaic systems to power the heat pump and the proposed manner of its integration in intelligent building.
7. The combination of low-energy building technologies and the use of renewable energy sources optimally allows for very good operational performance. Has also prepared a model to study the integration of photovoltaic systems in motor drives in an automated home.

# Energooszczędne zautomatyzowane systemy zarządzania energią w budynkach mieszkalnych

**Słowa kluczowe:** sterowanie, automatyka, energia odnawialna, inteligentny budynek, energooszczędność.

## Streszczenie

Jednym z głównych kierunków rozwoju rynku energii elektrycznej na świecie może się okazać energetyka rozproszona, ze szczególnym uwzględnieniem roli odbiorców energii – prosumentów. W skali globalnej szacuje się, że prosumenci będą generować ok. 10% dostaw, natomiast w poszczególnych regionach ten udział może być znacznie większy.

Monografia posiada dwa cele – poznawczy i aplikacyjny.

Pierwszy cel polega na udoskonaleniu metodyki badania systemów automatyki budynkowej oraz poznania wzajemnych interakcji między instalacjami wchodzącymi w skład rdzenia systemu zarządzania budynkiem.

Drugi natomiast opiera się o opracowane modele badawcze. Modele te mogą być stosowane do symulacji działania różnych układów integracji urządzeń w ramach automatyki budynkowej. Przeprowadzone symulacje pozwolą na upowszechnienie energetyki prosumenckiej i przyczynią się do rozwoju niskoenergetycznych technologii budowlanych.

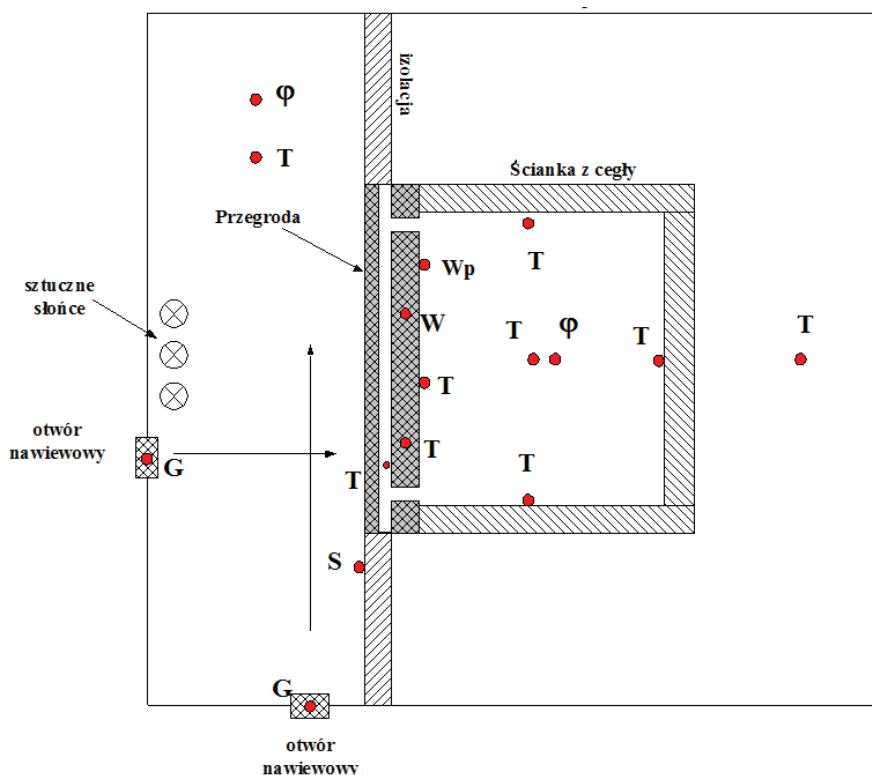
W szczególności w pracy:

1. Opracowano koncepcję i wykonano modele instalacji KNX/EIB umożliwiających badanie integracji w systemach automatyki budynkowej.
2. Wykorzystano środowisko programowania graficznego (LabView) do sterowania i symulacji komponentów systemu magistralnego.
3. Z uwagi na postępujące zmiany klimatyczne i potrzebę racjonalnego używania wody ważna jest organizacja procesu nawadniania przydomowych obszarów rekreacyjnych. Opracowano dwa rozwiązania procesu nawadniania przydomowych ogrodów oraz murawy boisk piłkarskich, jedno oparte o sterowniki programowalne PLC i w zintegrowanym inteligentnym systemie KNX/EIB. Automatyczne systemy nawadniania zapewniają optymalne zużycie wody oraz komfort użytkownika. Dotyczy to dostarczania wymaganej ilości wody w pożądanych odstępach czasowych.
4. Przeprowadzono analizę wykorzystania odnawialnych źródeł energii do wspomaganie zasilania systemu automatyki budynku „inteligentnego”.
5. Zbadano ponadto korelacje między sprawnością systemu fotowoltaicznego w odniesieniu do powierzchni modułów fotowoltaicznych dla układu z modułami ze stałym kątem pochylenia, a modułami ze zmiennym kątem pochylenia.
6. Podano przykłady wykorzystania systemów fotowoltaicznych do zasilania pompy ciepła oraz zaproponowano sposób jej integracji w inteligentnym budynku.
7. Połączenie energooszczędnych technologii budowlanych i optymalne stosowanie odnawialnych źródeł energii pozwala na uzyskanie bardzo dobrych warunków eksploatacji budynku. Opracowano również model do badania integracji systemów fotowoltaicznych z napędami mechanicznymi w zautomatyzowanym domu.

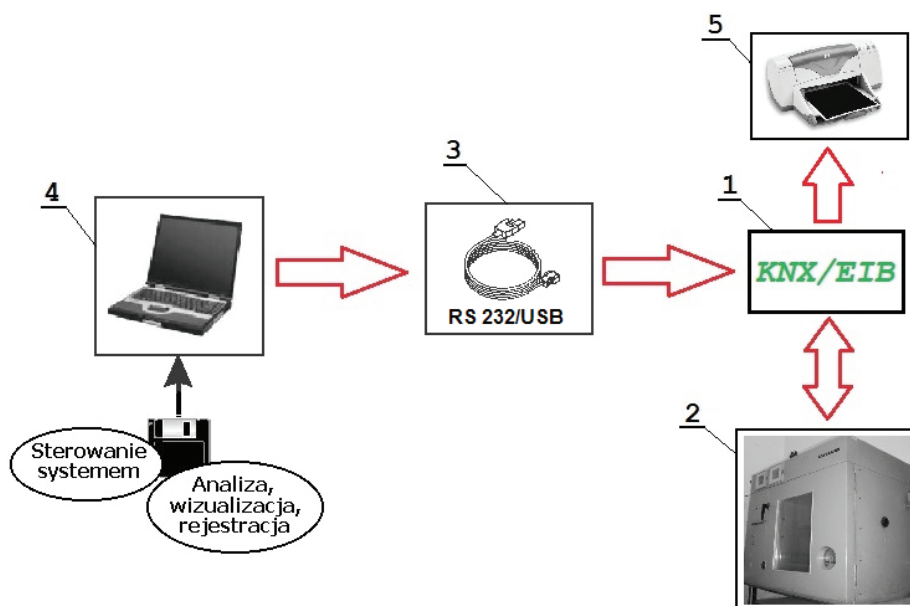
## Załącznik nr 1

W technice mają zastosowanie komory próbne do symulacji klimatycznych wpływów środowiska. Skonstruowane są dla nastawiania temperatury i wilgotności najważniejszych parametrów klimatu. Żądane klimaty nastawiane są i kontrolowane w prosty sposób, z dużą dokładnością i powtarzalnością. Komory klimatyczne stosuje się zarówno w pracach badawczych i rozwojowych jak i przy sprawdzaniu produktów przemysłowych dla:

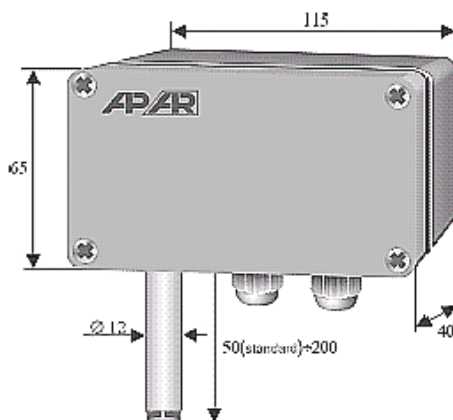
- badań ochrony klimatycznej,
- tworzenia międzynarodowo przyjętych klimatów standardowych i kontrolnych według określonych programów czasowych (w tym powtarzalnych),
- badania zależnych od temperatury i wilgotności właściwości materiałów, parametrów elementów budowlanych i wyrobów przemysłowych,
- badanie procesów biologicznych w stałych i zmiennych warunkach klimatycznych,
- badania wytrzymałości surowców i materiałów budowlanych.



Rys. 1. Model komory do komputerowej stabilizacji parametrów klimatycznych: T – mierniki temperatury powierzchni lub powietrza, czujniki temperatury zakres od -20 do 100°C; S – natężenie promieniowania, W/m<sup>2</sup>, G – prędkość powietrza (strumień m<sup>3</sup>/s), j – wilgotność względna % zakres od 30 do 95 %; W – zawartość wilgoci, np. materiału lub objętościowa, Wp – wilgotność powierzchniowa



Rys. 2. Uproszczony schemat laboratorium z komorą klimatyczną



Rys. 3. Widok ogólny i wymiary przetwornika AR 251 [Automatyka przemysłowa APAR]

Zaproponowana karta pomiarowa (NI 6020E, AT-MIO-16E-10) firmy National Instruments może zmierzyć 100000 próbek na sekundę (100 kS/s) przy 12 bitowej rozdzielczości. Posiada ona 16 pojedynczych wejść analogowych ( $\pm 0.05$  do  $\pm 10$  V), dwa 12 bitowe kanały wyjściowe (do  $\pm 10$  V), 8 cyfrowych linii wejścia/wyjścia (8 digital I/O lines 5V/TTL). Dwa 24 bitowe 20 MHz liczniki/timery. Karta jest kompatybilna z systemem operacyjnym Windows. Pozostałe elementy stanowiska to:

- przetwornik wilgotności i temperatury AR 251 APAR,
- czujniki temperatury CZAKI typ 362, 362, 381, 382,
- pirometr Raynger ST 20 Pro.

### Przetwornik wilgotności i temperatury AR 251 APAR

Przetwornik wilgotności i temperatury powietrza AR 251 przetwarza sygnały z pojemnościowego czujnika wilgotności i czujnika temperatury Pt100 na standardowe sygnały prądowe lub napięciowe. Przeznaczony jest do zastosowań przemysłowych i laboratoryjnych w systemach kontrolno-pomiarowych.

Przetwornik AR 251 ma następujące cechy:

- linearyzacja charakterystyk czujników metodą analogową,
- wyjścia analogowe proporcjonalne do mierzonej wilgotności i temperatury,
- możliwość zasilania niestabilizowanym napięciem stałym,
- zamknięta (bez otworów wentylacyjnych) obudowa przemysłowa z poliwęglanu firmy GAINTA, odporna na temperaturę ( $-40\div 100^{\circ}\text{C}$ ), oleje, smary i inne substancje chemiczne z dławicami do połączeń elektrycznych,
- obudowa spełnia wymagania normy IP65.

Tabela 1. Parametry techniczne (wilgotność temperatura), z przetwornika AR 251 APAR

	Wilgotność	Temperatura
Rodzaj czujnika	HS1101 f. HUMIREL	Pt100
Zakres działania	0...100%RH*	-20...80°C
Zakres pomiarowy	5...95%RH	-20...80°C
Dokładność pomiaru	10...90%RH +/- 2,5%	+/-0,3%
Współczynnik temperaturowy	+/- 0,1%/°C	
Stabilność czasowa	0,5% /rok	
Czas reakcji	5s	20s
Sygnał wyjściowy	4÷20 mA	
Zasilanie $U_z$	18÷30 V=	18÷30 V=
Max. rezystancja obciążenia	$(U_z - 12\text{V}):20 \text{ mA}$	$(U_z - 12\text{V}):20 \text{ mA}$
Długość sondy wilgotności	50÷200 mm	
Obudowa	poliwęglanowa IP65 (wymiary na Rys. 3)	
Wersje wykonania	Naścienna, kanałowa lub z sondą na przewodzie	

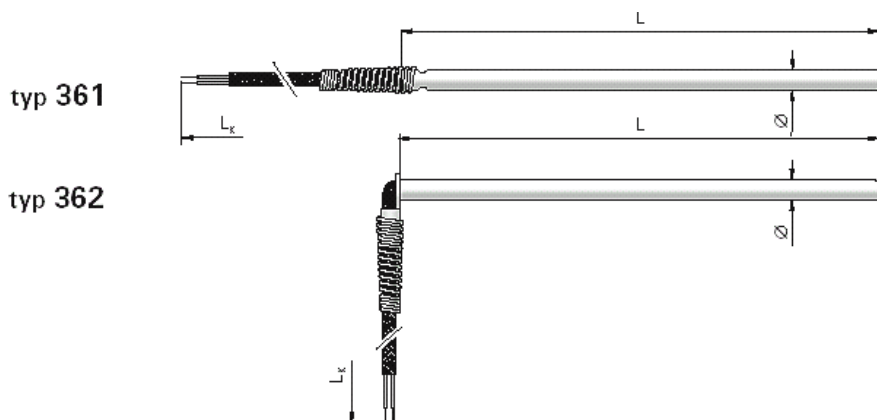
\*Parametry wyrażone w % odnoszą się do zakresu nominalnego przetwornika.

### Czujnik temperatury CZAKI typ 361, 362, 381, 382

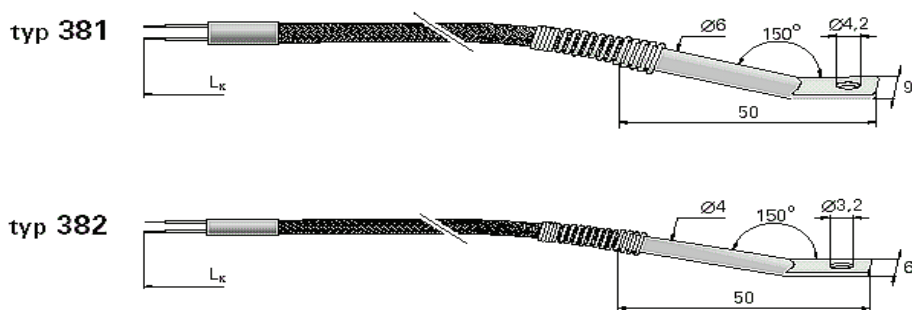
Tabela 2. Wymiary czujników CZAKI typ 361 i typ 362

Wykonanie	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
Długość czujnika $L(\text{mm})$	50	100	200	300	400	600	800
Długość przewodu $L_k(\text{m})$	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5





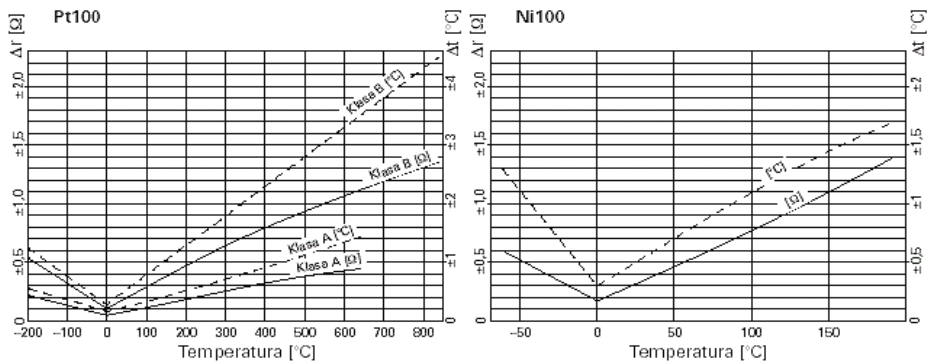
Rys. 4. Widok ogólny czujników CZAKI typ 361 i typ 362



Rys. 5. Widok ogólny czujników CZAKI typ 381 i typ 382

### Dane techniczne

- zastosowanie pomiaru temperatury powierzchni bloków, części maszyn lub różnych elementów konstrukcyjnych,
- zakres pomiarowy  $-100^{\circ}\text{C} \dots +400^{\circ}\text{C}$ ,
- rodzaj elementu przetwarzającego:
  - opornik platynowy \* (Pt100)
  - termoelement Cu-CuNi (T)
  - termoelement Fe-CuNi (J)
  - termoelement NiCr-NiAl (K)
- klasa elementu przetwarzającego 2 (B),
- rodzaj spoiny pomiarowej termoelementu-izolowana,
- materiał osłony – stal 1H18N9T,
- izolacja przewodu - włókno szklane i ekran stalowy,
- długość czujnika -  $L = 0,5; 1; 1,5 \text{ m}$ .



Rys. 6. Dopuszczalne odchyłki rezystancji  $\Delta R$  i temperatury  $\Delta t$  od temperatury dla Pt100 i Ni100

### Pirometr Raynger St

- laserowy wskaźnik punktu pomiarowego,
- podświetlany wyświetlacz LCD,
- stała emisyjność: 0,95,
- czas pomiaru: 500 ms,
- zakres pomiaru temperatury: Od  $-32^{\circ}\text{C}$  do  $400^{\circ}\text{C}$ ,
- dokładność:  $\pm 1\%$  lub  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,
- rozdzielczość optyczna 12:1,
- powtarzalność  $\leq 0,5\%$  lub  $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ,
- temperatura otoczenia  $0 \div 50^{\circ}\text{C}$ ,
- wyjście RS-232 lub  $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ,
- zasilanie 9V bateria lub akumulator NiCd.



Rys. 7. Widok pirometru Raynger ST 20 Pro

