

**AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA**  
im. Stanisława Staszica w Krakowie



**Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki**  
**Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych**

mgr inż. Andrzej Ożadowicz

**Analiza porównawcza  
dwóch systemów sterowania inteligentnym budynkiem –  
systemu europejskiego EIB/KNX oraz standardu amerykańskiego  
na bazie technologii LonWorks**

Rozprawa doktorska

**Promotor:**  
**dr hab. inż. Zbigniew Hanelka**

Kraków 2006

*Serdecznie dziękuję  
profesorowi dr hab. inż. Zbigniewowi Hanelce  
promotorowi niniejszej pracy doktorskiej  
za pomoc, cierpliwość i zrozumienie  
oraz wszechstronną troskę o mój właściwy rozwój naukowy  
w czasie naszej wieloletniej współpracy*

*Andrzej Ożadowicz*

## SPIS TREŚCI

<b>1. WSTĘP .....</b>	<b>6</b>
1.1. Instalacje elektryczne w budynkach.....	6
1.2. Instalacje magistralowe, systemy otwarte .....	8
1.2.1. Nowoczesne instalacje budynkowe – instalacja magistralowa .....	8
1.2.2. Systemy otwarte .....	10
1.2.3. Rozwój systemów automatyki budynkowej.....	11
1.3. Budynek inteligentny i Facility Management .....	11
1.3.1. Pojęcie inteligencji w budynku .....	11
1.3.2. Inteligentny budynek w aspekcie marketingowym oraz badawczo-dydaktycznym ...	15
1.3.3. Facility Management.....	18
1.3.4. Przyszłość systemów inteligentnego budynku.....	20
1.4. Teza i cele pracy.....	22
<b>2. TECHNOLOGIE I SYSTEMY AUTOMATYKI BUDYNKU.....</b>	<b>24</b>
2.1. Wybrane systemy automatyki budynkowej .....	24
2.1.1. Protokół BACnet.....	24
2.1.2. Standard PROFIBUS.....	26
2.1.3. System CEBus.....	30
2.2. Technologia LonWorks.....	30
2.2.1. Podstawowe elementy składowe oraz język programowania aplikacji w sieciach typu LonWorks32	
2.2.2. Media komunikacyjne w systemie LonWorks .....	38
2.2.3. Protokół komunikacyjny LonTalk – wymiana danych i zasady adresowania w sieciach standardu LonWorks.....	42
2.2.4. Budowa, konfiguracja i zarządzanie sieci LON – narzędzia.....	49
2.2.5. Technologia LonWorks w dobie Internetu i zaawansowanych technologii.....	51
2.3. Technologia EIB/KNX.....	52
2.3.1. Podstawowe elementy i budowa sieci w standardzie EIB/KNX.....	53
2.3.2. Media transmisyjne systemu EIB/KNX .....	59
2.3.3. Protokół komunikacyjny systemu EIB/KNX – wymiana danych i zasady adresowania w sieciach standardu EIB .....	62
2.3.4. Konfiguracja i zarządzanie siecią systemu EIB/KNX – narzędzia.....	67
2.3.5. Sieć Internet i najnowsze technologie na usługach systemu EIB/KNX .....	68

2.4. Porównanie systemów LonWorks i EIB/KNX na podstawie danych technicznych obu systemów .....	69
2.4.1. Topologia sieci, możliwości rozbudowy oraz budowa urządzeń sieciowych .....	69
2.4.2. Media transmisyjne .....	70
2.4.3. Protokół komunikacyjny, konfiguracja logiczna sieci i wymiana danych .....	70
2.4.4. Narzędzia instalacji, rozbudowy i zarządzania siecią automatyki budynkowej.....	72
2.4.5. Nowoczesne techniki komunikacyjne .....	72
<b>3. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO .....</b>	<b>75</b>
3.1. Stanowisko systemu LonWorks .....	75
3.1.1. Część sprzętowa .....	76
3.1.2. Część programowa .....	80
3.2. Stanowisko systemu EIB/KNX .....	83
3.2.1. Część sprzętowa .....	83
3.2.2. Część programowa .....	90
3.3. Porównanie systemów LonWorks i EIB/KNX na podstawie doświadczeń zebranych w trakcie realizacji stanowisk badawczych.....	93
3.3.1. Montaż, łączenie i konfiguracja urządzeń sieciowych.....	93
3.3.2. Programowanie i kontrola stanu sieci automatyki budynkowej.....	96
<b>4. BADANIA LABORATORYJNE .....</b>	<b>99</b>
4.1. Analiza i kontrola transmisji w sieciach sterowania inteligentnym budynkiem.....	99
4.1.1. Pomiary komunikatów przesyłanych przez sieć standardu LonWorks .....	100
4.1.2. Pomiary komunikatów przesyłanych przez sieć standardu EIB/KNX .....	102
4.2. Wpływ zaburzeń zewnętrznych na niezawodność funkcjonowania systemów automatyki budynkowej .....	107
4.2.1. Pomiary zniekształceń w magistrali sieciowej systemu LonWorks .....	107
4.2.2. Pomiary zniekształceń w magistrali sieciowej systemu EIB/KNX .....	110
4.3. Systemy inteligentnego budynku jako narzędzie kontroli zużycia energii i jakości zasilania w budynku .....	111
4.3.1. Podstawowe informacje dotyczące jakości energii elektrycznej.....	112
4.3.2. Idea wykorzystania systemów inteligentnego budynku w pomiarach zużycia i jakości energii elektrycznej.....	115
4.3.3. System LonWorks w pomiarach i kontroli parametrów zasilania - narzędzia .....	116
4.3.4. System EIB/KNX w pomiarach i kontroli parametrów zasilania - narzędzia .....	120
4.3.5. Analiza danych pomiarowych z sieci LonWorks oraz EIB/KNX – wykresy .....	124

4.4. Analiza wyników pomiarów zużycia energii elektrycznej w istniejących instalacjach automatyki budynkowej .....	130
4.4.1. Porównanie zużycia energii na podstawie miesięcznych wartości średnich .....	133
4.4.2. Porównanie zużycia energii na podstawie miesięcznych wartości maksymalnych ..	137
4.4.3. Analiza poziomów zużycia energii elektrycznej w ciągu roku .....	140
<b>5. ZAKOŃCZENIE .....</b>	<b>147</b>
5.1. Podsumowanie .....	147
5.2. Zarys kierunków dalszych badań .....	148
<b>6. INDEKS OZNACZEŃ ORAZ OKREŚLEŃ OBCOJĘZYCZNYCH</b>	<b>150</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>153</b>

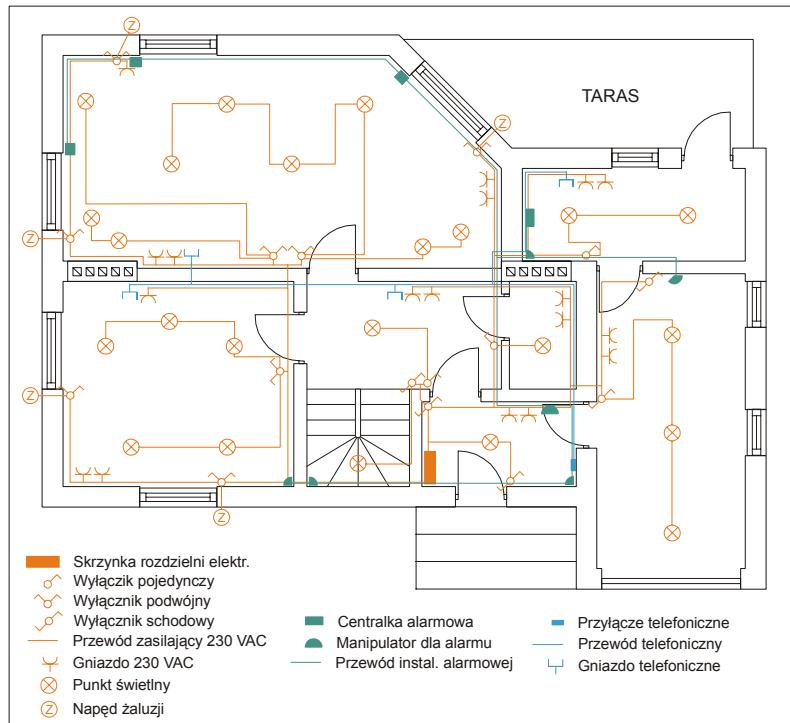
## 1. WSTĘP

### 1.1. Instalacje elektryczne w budynkach

Dom, pomieszczenie mieszkalne, to od zarania dziejów jedno z najważniejszych miejsc w życiu człowieka. To miejsce gdzie rozwijamy się, tworzymy, odpoczywamy, przebywamy z najbliższymi. Dlatego też ludzie każdej epoki dążyli i dążą do stworzenia sobie jak najlepszych warunków przebywania w budynku, wykorzystując dostępne zdobycze techniki w podniesieniu komfortu codziennego życia. Budynki to nie tylko domy prywatne, ale również miejsca gdzie każdego dnia pracujemy i załatwiamy różne sprawy; to obiekty użyteczności publicznej (szkoły, szpitale, biurowce, hotele itp.), obiekty administracyjne, handlowe, magazynowe itp. Słownik języka polskiego PWN [74] określa budynek słowami: „budowla naziemna jednokondygnacyjna lub wielokondygnacyjna, ograniczona ścianami i dachem, mająca pomieszczenia mieszkalne lub o innym przeznaczeniu; dom, gmach, budynek drewniany, murowany. Budynek mieszkalny, fabryczny, gospodarczy, szpitalny”. Określenie to, choć trafnie i szeroko przedstawia fizyczne oraz użytkowe cechy budynku, to jednak nie uwzględnia wszystkich aspektów z nim związanych. Definicja ta pomija bowiem kwestię estetyki budynku oraz jego wpływu na życie człowieka, psychikę, odczucia estetyczne itp. Wbrew pozorem nawet w czysto technicznym spojrzeniu na budynek, jako na swego rodzaju „urządzenie” techniczne, sprawy te nie mogą zostać pominięte. Budynek jest przecież, szczególnie w dzisiejszych czasach, miejsce gdzie codziennie spędzamy najwięcej czasu. Ma on więc niewątpliwie istotny wpływ na nasze życie, wychowanie, sposób postępowania, samopoczucie.

Burzliwy postęp i rozwój technologiczny jaki dokonał się w wieku XX, zwłaszcza szeroka dostępność i wykorzystanie energii elektrycznej, umożliwił zbudowanie i wprowadzenie do powszechnego użytku wielu urządzeń, bez których w dniu dzisiejszym nie wyobrażamy już sobie naszej egzystencji. Sprzęt audio-video, AGD, komputery, urządzenia grzewcze, stały się dobrem powszechnym, a stale rosnąca ich liczba oraz stosowane różnorodne techniki zasilania i sterowania, stawiają coraz większe wymagania wobec współczesnej instalacji elektrycznej w budynku. Sprawa kompleksowego projektu i budowy takiej instalacji jest szczególnie skomplikowana dla obiektów użyteczności publicznej, gdzie pojawiają się liczne urządzenia systemów komunikacji, teleinformatyki czy instalacji alarmowych. W efekcie w budynkach gdzie zastosowano tradycyjny sposób podejścia do budowy instalacji elektrycznej (tzn. stosowanie oddzielnych obwodów dla np. oświetlenia, zasilania, automatyki itd.) dochodzi do

sytuacji, w której staje się ona coraz bardziej rozbudowana, skomplikowana i w ostatecznym rezultacie mało przejrzysta, trudna w utrzymaniu oraz ewentualnej rozbudowie. Przykład tego typu instalacji, z wydzielonymi obwodami zasilania, systemu alarmowego oraz sieci teleinformatycznej, dla pojedynczej kondygnacji budynku mieszkalnego pokazuje rysunek 1.



**Rysunek 1 - Przykład nowoczesnej instalacji elektrycznej i alarmowej wykonanej metodą konwencjonalną**

Odpowiednio zaprojektowana instalacja realizowana w sposób tradycyjny, przy zastosowaniu najnowszych technik i urządzeń, może zapewnić realizację wszystkich wymagań użytkownika. Niejednokrotnie okazuje się jednak, iż wielkość nakładów finansowych poniesionych w trakcie jej budowy, a szczególnie w dalszym okresie użytkowania jest znaczna i w ostatecznym rozrachunku czyni całą inwestycję dość kosztowną. Wysokie koszty eksploatacji wynikają przede wszystkim z faktu konieczności dostosowania tego typu instalacji do zmieniających się wymagań użytkownika oraz do wymogów funkcjonalnych, jakie powinna spełniać współczesna sieć automatyki budynkowej, począwszy od sterowania, regulacji i monitoringu stanu wybranych urządzeń technicznych, po optymalizację zużycia i gospodarowania energią elektryczną oraz cieplną [63].

W rozwiązaniach opartych na tradycyjnym podejściu projektowym systemy sterowania i automatyki (regulacja temperatury, oświetlenia, żaluzji itp.), jak również monitoringu, nadzoru i alarmu, realizowane są poprzez oddzielne sieci. Każda z nich składa się z niezależnego toru

sterującego (sygnałowego) i zasilającego. Tego typu rozwiązania konstrukcyjne określa się mianem „rozwiązań wyspowych” [8], [63]. Ich podstawową wadą, prócz znaczących kosztów utrzymania, jest fakt, iż wprowadzenie w przyszłości jakichkolwiek zmian w instalacji, dołączenie nowych urządzeń, zmiana aranżacji wnętrza, wiążą się z koniecznością instalowania nowych linii sterujących i zasilających, zamontowania dodatkowych urządzeń automatyki itp. Sieć staje się więc coraz bardziej skomplikowana, a komplikacja ta oraz koszty utrzymania wzrastają jeszcze bardziej w momencie, gdy zachodzi konieczność zintegrowania, połączenia w jedną wspólną całość, funkcji realizowanych przez poszczególne obwody i systemy. Nie-jednokrotnie taka integracja może być w ogóle niemożliwa. Dla współczesnego budynku z nowoczesnymi rozwiązaniami komfortu i bezpieczeństwa, instalacja elektryczna w swej dotychczasowej, konwencjonalnej postaci, staje się zbyt kosztowna, jednocześnie ograniczając swobodę działania projektanta i końcowego użytkownika, na skutek małej elastyczności i trudności w rozbudowie [63].

### **1.2. Instalacje magistralowe, systemy otwarte**

#### **1.2.1. Nowoczesne instalacje budynkowe – instalacja magistralowa**

Współczesny, szybki rozwój elektroniki oraz technik mikroprocesorowych umożliwił zintegrowanie „wyspowych” sieci elektrycznych, dzięki stworzeniu systemów szybkiego przetwarzania i wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi elementami instalacji zasilania, alarmowej, dozoru oraz teleinformatycznej. Systemy takie noszą nazwę systemów magistralowych. Specjalna magistrala pozwala na bezpośrednią komunikację pomiędzy elementami pełniącymi funkcję czujników (przyciski, łączniki, czujniki ruchu, podczerwieni itp.), wyrobników<sup>1</sup> (elementy wykonawcze – silniki elektryczne, zawory CO, wyłączniki, przekaźniki itp.) oraz innymi elementami systemowymi (elementy sterujące, zasilacze, elementy sprzągające, konwertery itp.). Proces wymiany informacji odbywa się tu bez udziału nadzorującej jednostki centralnej, co oznacza, że systemy magistralowe są systemami rozproszonymi (zdecentralizowanymi). Każde urządzenie komunikujące się przez magistralę wyposażone jest w układ mikroprocesorowy z wydzieloną pamięcią programu, co pozwala zarówno na jego działanie autonomiczne jak i współpracę z innymi urządzeniami [38], [49]. W ten sposób system

---

<sup>1</sup> W niniejszej pracy przyjęto jednolitą nomenklaturę nazw elementów magistralnych: czujniki, wyrobniki, elementy systemowe. Jest ona zgodna z nazewnictwem stosowanym przez firmę TEMA w swoich katalogach urządzeń niemieckiej firmy GIRA. W publikacjach dotyczących systemów inteligentnego budynku stosowane są również odpowiednio nazwy: sensor, aktor i elementy systemowe [63], [45].

magistralowy, po zaprogramowaniu urządzeń, staje się siecią automatyki (sterowania). Instalacje tego typu przyjęło się nazywać powszechnie systemami inteligentnego budynku<sup>2</sup>.

Ważna cecha systemów magistralowych, to całkowity rozdział torów zasilania i informacji. Przewody zasilające mogą być prowadzone bezpośrednio z rozdzielnicy do urządzeń w budynku, co przyczynia się do ograniczenia zużycia kabli oraz uproszczenia topologii połączeń sieci elektrycznej. Sterownie tych urządzeń, posiadających unikalne adresy sieciowe oraz wymiana informacji między nimi, odbywa się za pośrednictwem jednego, wspólnego toru informacyjnego. Niektóre rządzenia wykonawcze i systemowe w sieci automatyki mogą być również zasilane napięciem istniejącym w magistrali informacyjnej, bez konieczności doprowadzania do nich dodatkowego, zewnętrznego zasilania. Przejrzystość, prostota budowy oraz elastyczność umożliwiające łatwą rozbudowę, to niezaprzeczalne walory tego typu systemów. Jasna, podlegająca prostym regułom, logika przesyłu informacji, oparta na rozsyłaniu komunikatów po całej sieci i precyzyjnym adresowaniu urządzeń (dany komunikat odbiera tylko urządzenie, do którego jest on adresowany), pozwala użytkownikowi, przy niewielkim nakładzie pracy, na dowolne przekonfigurowanie systemu. Np. odpowiednie zmiany adresów mogą spowodować, że przycisk pracujący dotychczas jako wyłącznik światła, staje się regulatorem położenia żaluzji lub rolet. Również w przypadku rozbudowy sieci o nowe funkcje lub elementy, nakład koniecznych prac i kosztów jest nieporównanie mniejszy w stosunku do instalacji tradycyjnych. Niezbędne jest jedynie dołączenie nowego odcinka przewodu magistrali informacyjnej oraz ewentualnie doprowadzenie zasilania zewnętrznego [8], [63]. Opisane cechy systemów magistralowych decydują o tym, że instalacje elektryczna i informatyczna w nowoczesnym budynku, stają się bardziej przejrzyste i nie wprowadzają tak znaczących ograniczeń technologicznych dla użytkownika, jak to miało miejsce w przypadku instalacji konwencjonalnych.

Oprócz omawianego dotychczas aspektu technicznego, który zdecydowanie przemawia na korzyść stosowania systemów magistralowych w budynkach, istnieje również niemniej ważny, a może w obecnych czasach nawet najważniejszy, aspekt finansowy takiego przedsięwzięcia. Budowa nowoczesnej magistralowej instalacji w budynku nie jest inwestycją tanią, jednak zawsze należy rozpatrywać ją w dłuższym okresie, z uwzględnieniem czasookresu eksploatacji budynku. Inwestor ponosi największe koszty w trakcie projektowania i budowy, co wynika z konieczności zakupu elementów składowych instalacji (niestety obecnie dość drogich) oraz wynajęcia instalatorów-programistów, którzy skonfigurują całą sieć, zgodnie z

---

<sup>2</sup> Ang. Intelligent Building Systems.

wymaganiami inwestora lub użytkownika końcowego. Zyski oraz znaczne korzyści finansowe w porównaniu z instalacjami wykonywanymi metodą tradycyjną, pojawiają się dopiero w dalszym okresie użytkowania budynku. Cały system wykazuje dużą niezawodność, a przede wszystkim, o czym wspominano już wcześniej, olbrzymią elastyczność i możliwość praktycznie nieograniczonego przeprogramowywania i dostosowania systemów automatyki do zmieniających się w czasie potrzeb użytkowników budynku [41], [50].

### 1.2.2. Systemy otwarte

Przy projektowaniu, ewentualnej rozbudowie magistralowej instalacji automatyki budynku lub w razie konieczności zrealizowania bardzo wyszukanych funkcji automatyki, niebagatelną rolę odgrywa również „otwartość” instalacji magistralowych, czyli możliwość wykorzystania w jednym systemie urządzeń pochodzących od kilku producentów. Fundamentem umożliwiającym pojawienie się systemów otwartych było stworzenie standardowych protokołów komunikacyjnych (model ISO/OSI<sup>3</sup>) oraz wykorzystanie kilku mediów komunikacyjnych. Zarówno projektant, inwestor jak i użytkownik nie są już zmuszeni do zakupu sprzętu oraz korzystania z usług tylko jednej firmy, która dyktuje ceny i uzależnia odbiorcę jedynie od swoich produktów. Integracja urządzeń pracujących w tym samym standardzie, nie wymaga żadnych specjalnych działań ze strony producentów czy programistów oraz stosowania specjalistycznego oprogramowania systemowego, pochodzącego od konkretnego producenta. Mowa tu o podstawowej własności systemów otwartych, jaką jest zdolność do współdziałania różnych urządzeń<sup>4</sup>. Oznacza ona, że urządzenia i systemy pochodzące od wielu producentów, przeznaczone do realizacji różnych zadań, mogą być swobodnie łączone, tworząc elastyczne, funkcjonalne sieci sterowania. [10], [48], [50], [41]. Jest to szczególnie istotne, gdy weźmiemy pod uwagę fakt, iż u niektórych producenci oferują urządzenia spełniające określone funkcje automatyki, a u innych takich urządzeń nie ma. Chodzi tu np. o pewne bardziej zaawansowane moduły monitoringu, pomiaru zużywanej energii, komunikacji, zdalnej obsługi i nadzoru systemu automatyki itp. Otwartość nowoczesnych instalacji i bezpośrednio z nią związana standaryzacja protokołów komunikacyjnych, są zatem kolejnym czynnikiem redukującym koszty ich wykonania i eksploatacji [38].

---

<sup>3</sup> Model ten został szczegółowo omówiony w dalszej części pracy, w rozdziale 2.2.3 opisującym system LonWorks.

<sup>4</sup> Ang. Interoperability.

### **1.2.3. Rozwój systemów automatyki budynkowej**

Podsumowując przedstawione informacje dotyczące ewolucji systemów sterowania w budynkach, można pokusić się o zapisanie historii rozwoju instalacji inteligentnego budynku w kilku etapach [54], [38], [42]:

- I etap: niezależnie działające systemy specjalizowane – automatyka oparta o układy styczniowo-przełącznikowe, dyskretne elementy elektroniczne i układy scalone niskiej skali integracji. Usługi funkcjonalne w budynku (system wykrywania i sygnalizacji pożaru, system oświetlenia, systemy HVAC, itp.) realizowane były przez autonomiczne układy z własnym okablowaniem. Niezależnie funkcjonowały również systemy komunikacyjne tj. telefonia, telewizja dozorowa, systemy audiowizualne itp.
- II etap: systemy scentralizowane – nadzór i sterowanie wszystkimi systemami w budynku powierzone zostało komputerowi o dużej mocy obliczeniowej. Dzięki scentralizowanemu sterowaniu zarządzanie dużymi budynkami stało się tańsze i skuteczniejsze. Wadą tego typu sieci automatyki była jednak silna zależność poprawności ich działania od niezawodności głównego komputera, którego ewentualna awaria paraliżowała praktycznie pracę całego systemu.
- III etap: systemy rozproszone – zastosowanie urządzeń zawierających w sobie układy mikroprocesorowe oraz pamięć, umożliwiające ich autonomiczną pracę w oparciu o własny program oraz komunikację z innymi urządzeniami w sieci sterowania poprzez dedykowaną magistralę komunikacyjną (systemy magistralowe). Wprowadzenie idei systemów rozproszonych znacznie zwiększyło ich niezawodność (awaria jednego z urządzeń nie pociąga za sobą awarii całego systemu).
- IV etap: integracja systemów rozproszonych – wprowadzenie standardów komunikacyjnych dla systemów rozproszonych (systemy otwarte). Integracja dokonuje się na trzech poziomach: sprzętu, oprogramowania oraz mediów transmisji sygnałów.
- V etap: ewolucja systemów w kierunku komunikacji bezprzewodowej oraz mobilnego zarządzania siecią sterowania – wykorzystanie najnowszych technologii komunikacyjnych i transmisyjnych (Internet, technika radiowa, telefonia komórkowa) do nadzorowania i zarządzania sieci automatyki budynkowej.

## **1.3. Budynek inteligentny i Facility Management**

### **1.3.1. Pojęcie inteligencji w budynku**

Wraz pojawiением się magistralnych systemów otwartych, umożliwiających realizację i integrację zaawansowanych układów automatyki oraz sieci komunikacyjnych w budynkach,

pojawiło się pojęcie systemów inteligentnego budynku, używane niejednokrotnie w formie skróconej – inteligentny budynek (IB). Budynek jest jednak obiektem nieożywionym, więc nie może on być obdarzony tradycyjnie pojmowaną inteligencją. Czymże więc jest inteligencja rozumiana jako cecha budynku, szczególnie, że staje się ona sloganem często wykorzystywany przez producentów przy opisie powstających nowoczesnych budynków, urządzeń AGD, sprzętu TV? Termin ten jest trudny w jednoznacznym zdefiniowaniu. Skoro jednak niemal powszechnie funkcjonuje on w środowisku technicznym oraz w całym społeczeństwie, nie pozostaje nic innego jak spróbować określić dla niego pewne ramy terminologiczne w odniesieniu do urządzeń i budynków [15]. Co zatem należy rozumieć pod pojęciem „inteligentny” budynek i jakie są cechy charakterystyczne klasyfikujące określone budynki do tej właśnie grupy? Czy „inteligentny” budynek to obiekt wyposażony w zaawansowany system automatyki i naszpikowany nowoczesną elektroniką oraz systemami informatycznymi? Czy może jest to obiekt wyposażony w sztuczną inteligencję, rozumianą jako zespół odpowiednio zaprogramowanych i współpracujących ze sobą maszyn (komputerów, mikroprocesorów), których efekty działania przypominają reakcje człowieka na zmieniające się warunki środowiskowe [75]?

Koncepcja inteligentnego budynku stworzona została w Ameryce Północnej przez sprzedawców systemów automatyki budynkowej, jako termin opisujący budynki wyposażone w technologie mikroprocesorowe poprawiające ich funkcjonalność. Początkowo odnosił się on wyłącznie do walorów technicznych budynku i dopiero z czasem zaczął nabierać szerszego znaczenia, w kategoriach jakości i komfortu użytkowania. W okresie ostatnich kilkunastu lat, gdy idea inteligentnego budynku zaczęła nabierać realnych kształtów, podjęto próby dokładniejszego zdefiniowania tejże „inteligencji”. Jedna z pierwszych definicji została sformułowana przez P. Robathan'a [47], [56], [57], [76] w brzmieniu: „Inteligentny budynek to taki, który zapewnia produktywne i efektywne ze względu na koszty środowisko pracy, poprzez optymalizację czterech podstawowych elementów: struktury (konstrukcji), systemów, usług i zarządzania – oraz ich wzajemnych powiązań. Inteligentny budynek pomaga właścicielom, administratorom i użytkownikom realizować ich cele przy uwzględnieniu kosztów, komfortu, bezpieczeństwa i długoterminowej zdolności adaptacyjnej (elastyczności) i atrakcyjności rynkowej”. D. Boyd [11], [47] określa inteligentny budynek jako obiekt ze skomputeryzowanym systemem operacyjnym i systemem zarządzania. Jeszcze inny przykład definicji inteligencji budynku sformułowany został przez grupę EIBG<sup>5</sup> [56], [87]: „Inteligentny budynek stwarza

---

<sup>5</sup> Ang. European Intelligent Building Group.

warunki do osiągnięcia zamierzonych celów biznesowych, maksymalizuje efektywność i skuteczność działań jego użytkowników i jednocześnie pozwala na efektywne zarządzanie zasobami ludzkimi przy zachowaniu minimalnych kosztów eksploatacji". Już na przykładzie tych kilku sformułowań widać wyraźnie jak w miarę rozwoju technologii informatycznych i elektroniki, ewoluje sens inteligencji w budynku. Początkowo inteligencja postrzegana była jedynie jako sprawnie działający system automatyki, samoczynnie reagujący na zmiany, sygnałów odbieranych z czujników lub urządzeń zadających (przyciski, wyłączniki itp.). Taki punkt widzenia kreowany był najczęściej przez producentów tego typu systemów (tzw. systemy firmowe), koncentrujących się głównie na możliwościach technicznych swoich produktów i na tym właśnie polu prześcigających się w oferowaniu coraz to nowych funkcji, ułatwiających użytkowanie budynku. Czy jednak takie rozumienie terminu inteligencji w odniesieniu do budynku wyczerpuje całość zagadnienia? W większości dotychczasowych rozwiązań zanych przez ich twórców intelligentnymi, komunikacja taka była ograniczona jedynie do łączności jednostronnej, polegającej na sygnalizowaniu przez system pojawiających się zagrożeń [4], [82]. W ostatnich jednak latach, gdy technologia praktycznie nie stanowi już żadnej bariery w realizacji dowolnych funkcji automatyki, oraz gdy w automatyce budynkowej pojawiły się tzw. systemy otwarte o inteligencji rozproszonej, coraz więcej uwagi poświęca się nie tylko aspektom technicznym, ale również czynnikowi ludzkiemu. Człowiek znajdujący się w określonym środowisku (np. budynek) nie jest bowiem tylko biernym odbiorcą zmian zachodzących w tymże środowisku zewnętrznym, ale powinien mieć możliwość reakcji na nie oraz przystosowania się. Reakcja ta jest najczęściej różna dla różnych osób i w znacznej mierze zależy od ich upodobań, charakteru oraz doświadczeń życiowych. Dobre samopoczucie, komfort osobisty człowieka, jego zdrowie są sprawami najbardziej istotnymi i decydującymi o satysfakcji z wykonywanej pracy oraz wysokim morale i zaangażowaniu w proces produkcji. Przy tworzeniu nowoczesnego systemu automatyki budynku w pierwszym rzędzie powinny być więc określone wymagania użytkownika co do zakresu funkcji jakie ma realizować taki system. Liczy się jego otwartość, niezawodność, prostota obsługi oraz elastyczność i możliwość łatwej rozbudowy. Dawniej systemy automatyki zwiększały przede wszystkim bezpośrednio zdolności produkcyjne, systemy dzisiejsze oraz te wyłaniające się dopiero zza horyzontu wyobrażeń, poszerzają zdolności, pomysłowość, w tworzeniu nowych idei, myśli i wynalazków i w ten sposób rośnie potencjał produkcyjny danej grupy pracowników [15]. Taką wizję inteligencji w budynkach promują głównie naukowcy zaangażowani w rozwój dziedziny intelligentnych budynków, w pełni utożsamiając się z definicjami inteligencji podanymi przez P. Robathan'a oraz grupę EIBG.

Korzyści z tak pojmowanej inteligencji budynku są niewątpliwe i choć część z nich pojawiła się już w tekście, warto wymienić je powtórnie w sposób usystematyzowany [5], [82]:

- Korzyści ekonomiczne
  - Dostosowanie kosztów i zakresu inwestycji do niezbędnego poziomu dla zakładanego standardu eksploatacji IB
  - Redukcja i optymalizacja kosztów ewentualnej rozbudowy lub przebudowy IB dzięki modułowości, elastyczności i otwartości systemów automatyki budynkowej
  - Optymalizacja kosztów technologicznej eksploatacji budynku poprzez racjonalizację zużycia energii i materiałów oraz redukcja kosztów obsługi systemu
- Korzyści technologiczne
  - Wysoka jakość, bezpieczeństwo i niezawodność systemu IB
  - Łatwość bieżącej kontroli stanu systemu dzięki zastosowaniu stacji podglądu i monitoringu (wizualizacja)
  - Możliwość niemalże natychmiastowej reakcji personelu obsługi na drobne niesprawności i awarie – uniknięcie poważnych awarii, przestojów, niskie koszty konserwacji i napraw (w tym możliwość zdalnego usuwania niektórych niewielkich awarii)
  - Ułatwiona modernizacja modułów tworzących sieć i reorganizacja sieci bez wpływu na moduły już eksploatowane
- Korzyści socjalne użytkowników budynku
  - Możliwość dostosowania warunków technicznych stanowiska pracy do wymagań lub potrzeb poszczególnych pracowników (elastyczność sieci umożliwiająca spełnienie zmieniających się potrzeb użytkownika systemu automatyki)
  - Dostosowanie komfortu klimatycznego i środowiskowego (temperatura, oświetlenie itp.) w pomieszczeniu, zależnie od indywidualnych wymagań użytkownika
  - Bezpieczeństwo pracy i zabezpieczenie mienia w budynku, dzięki rozbudowanym systemom ochrony, dozoru i kontroli dostępu
  - Zapewnienie użytkownikowi swobody doboru najlepszych dla danego zadania modułów użytkowych sprzężonych z systemem (system otwarty)

Powyższe rozważania można krótko podsumować podając jeszcze jedną zwięzłą definicję inteligentnego budynku sformułowaną w Intelligent Building Institute w Waszyngtonie [57], [101]: „Inteligentny budynek jest budynkiem, który integruje różne systemy, aby skutecznie, w sposób skoordynowany, zarządzać zasobami w celu zapewnienia jak najlepszego funkcjonowania jego użytkowników, maksymalizować oszczędności w zakresie inwestycji i kosztów operacyjnych oraz umożliwiać maksymalną elastyczność”.

Inteligentny budynek staje się dziś czymś więcej niż tylko zastosowane w nim zaawansowane technologie. Budynek inteligentny, jako kwintesencja zaangażowania automatyki i techniki z zakresu IT, to coraz bardziej wyrafinowane urządzenie, automatycznie reagujące na zmieniający stanu czynników zewnętrznych i wewnętrznych budynku (np. temperatura, poziom oświetlenia, ruch itp.). Jego konstrukcja i sieć instalacji elektrycznych musi mieć zdolności adaptacyjne, by móc sprostać możliwym ciągłym zmianom koncepcji wykorzystania pomieszczeń w trakcie długiego okresu eksploatacji [5], [15], [58], [50], [41]. Ten aspekt inteligencji budynku, uwzględnia jeszcze jedna definicja podana przez P. Petykiewicza [68]: „Inteligentny budynek – to budynek, który w sposób celowy i właściwy, samoistnie reaguje na występujące w jego otoczeniu zdarzenia i zmieniające się czynniki zewnętrzne (np. czas)”. Tak trafnie sformułowane określenie umożliwia zawarcie w nim zarówno poszczególnych systemów instalacyjnych, sieci automatyki jak również szczególnych rozwiązań architektonicznych, a także wpływu środowiska panującego wewnątrz budynku na użytkowników.

Po przedstawieniu powyższych, różnorodnych definicji inteligentnego budynku, autor proponuje przyjęcie sformułowania wynikającego z połączenia dwóch ostatnich, jako najlepiej odpowiadającego omawianym w niniejszej pracy zagadnieniom, w brzmieniu: „Inteligentny budynek to taki, który integruje różne systemy i który w sposób celowy i właściwy, samoistnie reaguje na występujące w jego wnętrzu zdarzenia oraz zmieniające się czynniki zewnętrzne tak, aby skutecznie, w sposób skoordynowany zarządzać zasobami, w celu zapewnienia jak najlepszego funkcjonowania jego użytkowników, maksymalizacji oszczędności w zakresie inwestycji i kosztów operacyjnych oraz umożliwienia maksymalnej elastyczności”. Takie określenie, choć nieco rozbudowane w treści, zawiera w sobie praktycznie całe spektrum zagadnień związanych z pojęciem „inteligencji” budynku, które stanowiły przedmiot rozważań w niniejszym podrozdziale.

### **1.3.2. Inteligentny budynek w aspekcie marketingowym oraz badawczo-dydaktycznym**

Obecny stan wiedzy dotyczący inteligentnych budynków kształtuje się już od bez mała 30 lat. W tym czasie wiele instytucji i organizacji prowadziło i wciąż prowadzi wielokierunkowe badania jakościowe i techniczne powstających rozwiązań i różnych standardów technologicznych. Do podstawowych badań w tym zakresie zaliczyć należy programy badawcze grupy ABSIC<sup>6</sup>, wspomnianej już wcześniej grupy EIBG, naukowców z Uniwersytetu Świętej Katarzyny w Brazylii [9] oraz prowadzonych na Uniwersytecie Lund w Szwecji [95]. Jako

---

<sup>6</sup> Ang. Advanced Building Systems Integration Consortium – Konsorcjum Integracji Zaawansowanych Systemów Budynkowych, działające przy Carnegie Mellon University w Pittsburghu - USA.

podstawę oceny jakościowej zastosowano metodę POE (Post-Occupancy Evaluation) opracowaną przez Preisera, Rabinowitza i White'a w latach 80-tych [69], [70]. Metoda ta ujmowała potrzeby użytkownika budynku przede wszystkim w trzech kategoriach: technicznej, funkcjonalnej i behawioralnej<sup>7</sup> (samopoczucie użytkownika). Prowadzone liczne programy badawcze w tej dziedzinie, doprowadziły do rozszerzenia kategorii jakościowych, które obecnie dzieli się na: kategorię jakości przestrzeni, jakości technicznej i funkcjonalnej, behawioralnej, jakości ekonomicznej oraz organizacyjnej [32], [56], [58]. Dla wielu projektantów systemów automatyki budynkowej najistotniejszym aspektem fazy projektowania budynku była, a niejednokrotnie jest nadal, przede wszystkim najwyższa jakość techniczna oferowanych urządzeń, postrzegana często w zupełnym oderwaniu od pozostałych kategorii jakościowych. W efekcie tak ograniczonego pojmowania kwestii jakości budynku występują pewne negatywne zjawiska, które możemy zakwalifikować jako [56]:

- Syndrom chorego budynku<sup>8</sup> – terminem tym określamy sytuację w której samopoczucie mieszkańców, użytkowników budynku jest ogólnie złe; pojawia się poczucie dyskomfortu związane bezpośrednio z faktem przebywania w określonym pomieszczeniu, strefie budynku lub ogólnie w całym budynku. Nie wywołuje ono jednak konkretnej choroby, a jego przyczyny nie dają się jednoznacznie zidentyfikować. Objawami występowania tego właśnie syndromu mogą być bóle głowy, podrażnienie nosa, gardła, suchy kaszel, kłopoty z koncentracją. Jako czynniki wywołujące takie objawy wymienia się najczęściej: niesprawną lub źle zaprojektowaną wentylację (klimatyzację), zanieczyszczenia chemiczne pochodzące z urządzeń lub materiałów znajdujących się wewnątrz budynku (kopiarki, odkurzacze, kleje, farby, dywany, obicia, elementy drewniane), zanieczyszczenia chemiczne dochodzące z zewnątrz (spaliny, opary, wyziewy z kuchni czy łazienek) oraz zanieczyszczenia biologiczne (bakterie, pleśń, pyłki, kurz itp.) [17], [96].
- Zbyt szczelny system ochrony i kontroli dostępu zainstalowany w budynku, wywołujący trudności w momencie konieczności nagłego, nieprzewidzianego opuszczenia budynku – pożar, awaria, atak terrorystyczny itp. lub też niekorzystne poczucie ciągłego „śledzenia” miejsca pobytu pracownika.
- Przerost formy nad treścią – niewykorzystanie przez użytkowników budynku wszystkich zainstalowanych urządzeń, pełnych różnorodnych funkcji automatyki; użytkownik albo ich po prostu nie potrzebuje lub są one zbyt kosztowne w długoterminowej eksploatacji.

---

<sup>7</sup> Ang. Behavior – zachowanie, postępowanie.

<sup>8</sup> Ang. Sick Building Syndrome.

Genezy tych zjawisk można dopatrywać się w tym, iż ta dziedzina rynku zaawansowanych technologii i architektury jest jeszcze stosunkowo młoda, zwłaszcza na gruncie polskim. Wydaje się, że rynek producentów i dealerów sprzętu jeszcze nie okrzepł, nie uzyskał stabilnej rynkowej pozycji, wciąż boryka się z problemem szerokiego dotarcia do klienta i obecnie nie jest w stanie podjąć nowych wyzwań czy problemów o strategicznym znaczeniu dla jego dalszego rozwoju. Wciąż brak jest współpracy różnych branż związanych z budownictwem, technologiami budynków, informatyką, automatyką i elektroniką, zmierzającej do stworzenia pewnych kompleksowych rozwiązań czy opracowań modelowych, które umożliwiłyby lepsze przygotowanie architektów, pracowników technicznych do ścisłej współpracy ze specjalistami innych dziedzin w fazie projektowania budynków. Integracja działań przedstawicieli tych branż pozwoliłaby na znaczne obniżenie kosztów projektu jak również uniknięcie licznych konfliktów w trakcie jego realizacji [50].

W Polsce zakres szczegółowych badań naukowych związanych z instalacjami inteligentnego budynku, ich wpływu na atmosferę i środowisko pracy człowieka, jest jak dotąd niewielki. Prace w tym zakresie prowadzone są obecnie głównie na Politechnice Śląskiej w Gliwicach oraz pod patronatem IFMA<sup>9</sup> Polska. Rozwój tego obszaru badań leży w interesie firm związanych z branżą IB, które coraz śmielej wychodzą z nie tak dawno zamkniętych kręgów własnych interesów marketingowych, podejmując współpracę z licznymi ośrodkami akademicznymi w kraju, wspierając ich prace badawcze i dydaktyczne w tym zakresie, czego osobiście doświadczyl autor w trakcie realizacji prac związanych z niniejszą pracą doktorską.

Wydaje się, że polem szeroko zakrojonych badań powinien stać się również sam rynek inteligentnego budownictwa z uwzględnieniem następujących aspektów [56]:

- Potrzeby różnych grup użytkowników (np. mieszkańcy budownictwa jednorodzinnego, wielorodzinnego, pracownicy biur, instytucji społecznych, szkół, uniwersytetów itp.)
- Możliwości nabycie określonych grup społecznych
- Bariery we wprowadzaniu systemów automatyki budynkowej i nowoczesnych technologii (np. mentalne, finansowe, lęk przed zmianami, remontem itp.)
- Koszty utrzymania budynków inteligentnych oraz sposoby ich obniżenia

Powyższa analiza, jak również wcześniejsze rozważania, wskazują na konieczność rozposzerzenia znajomości szerokiego spektrum technik oceny jakości budynku inteligentnego, jak również doprowadzenia do większej współpracy projektantów-techników odpowiedzialnych za stronę technologiczną instalowanych systemów automatyki, ze specjalistami w dzie-

---

<sup>9</sup> Ang. IFMA - International Facility Management Association.

dzinie architektury, zagospodarowania przestrzennego wnętrz, psychologii pracy, ekonomii oraz środowiskiem akademickim, zainteresowanym budynkami intelligentnymi, zarówno w aspekcie technologicznym jak i architektonicznym. Istnieje konieczność interdyscyplinarnych badań nad złożonymi problemami, jakie wiążą się z komfortem użytkowania budynków.

### 1.3.3. Facility Management

Na podstawie dotychczasowych rozważań, stwierdzić można, iż przy zarządzaniu intelligentnym budynkiem pojawiają się różnorakie problemy [57]:

- Zarządzanie i nadzór urządzeń w budynku, czyli urządzeń technicznych, systemów elektrycznych, elektronicznych i informatycznych
- Zarządzanie strukturą przestrzenną budynku
- Stworzenie, utrzymanie i podnoszenie jakości budynku, która pozwala spełnić wymagania użytkowników przez zapewnienie im odpowiedniego komfortu, warunków wszechstronnego rozwoju i bezpieczeństwa
- Zapewnienie jak najniższych kosztów utrzymania budynku.

Wymagania powyższe odnoszące się do zarządzania budynkiem, w znacznym stopniu przekraczają możliwości przeciętnego zarządcy budynku, którego rolą jest utrzymanie go w technicznej sprawności i czystości. Pojawienie się budynków intelligentnych, z wyrafinowaną technologią i specyficznymi, wysokimi wymaganiami użytkowników, spowodowało powstanie nowej dziedziny wiedzy praktycznej, a obecnie również naukowej, jaką jest „Facility Management” (FM). Termin ten przysparza wiele trudności w bezpośrednim tłumaczeniu zarówno na język polski jak i inne języki, wynikające przede wszystkim z wieloznaczności słowa „facility” oznaczającego: ułatwienie, udogodnienie, urządzenie, narzędzie, narzędzie ułatwiające wykonanie jakieś czynności<sup>10</sup>. Słowo to w języku technicznym może być także rozmiane jako część budynku, lub zespół budynków tworzących obiekt oraz jako urządzenie lub „udogodnienie” zamontowane wewnątrz budynku np. windy, HVAC (system ogrzewania i klimatyzacji), system bezpieczeństwa itp. [57], [58]. Zdaniem autora trafną definicję pojęcia „Facility Management podaje IFMA: „Facility Management to profesja obejmująca wiele dyscyplin dla zapewnienia funkcjonalności środowiska zabudowanego, poprzez integrację ludzi, miejsca, procesów i technologii”. Inna powszechna w środowisku technicznym definicja, usankcjonowana przez umieszczenie jej w zbiorach Biblioteki Kongresu Amerykańskiego USA mówi, że FM to „praktyka koordynowania fizycznego miejsca pracy z ludźmi i pracą

---

<sup>10</sup> Ang. facility – quality which makes learning or doing things easy or simple; aids, circumstances, which make it easy to do things. Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English, Oxford 1992, str. 305.

organizacji; integruje zasady administrowania przedsiębiorstwem (ekonomia, organizacja, zarządzanie), architektury, nauk behawioralnych (socjologia, psychologia) oraz nauk inżynierskich". FM zajmuje się więc wieloma istotnymi aspektami funkcjonowania nowoczesnego budynku:

- Aspekt fizyczny (poziom zużycia eksploatacyjnego budynku, bezpieczeństwo ludzi iienia)
- Aspekt użyteczności (funkcje budynku, wyposażenie, wykorzystanie przestrzeni)
- Aspekt organizacyjny (zapewnienie pomieszczeń i usług ułatwiających pracę w budynku, wyposażenie w sprzęt np. technologie IT, komunikacja, automatyka)
- Aspekty z zakresu psychologii środowiskowej (satysfakcja użytkowników, prywatność, bezpieczeństwo)
- Aspekt finansowy (dostosowywanie planów konserwacji i modernizacji budynku do aktualnych możliwości finansowych, obniżanie kosztów utrzymania budynku przy równoczesnym podnoszeniu jego jakości) [57].

Jakie są więc zadania zarządcy dużego, nowoczesnego budynku? Praca takiej osoby – facility manager'a – oraz zadania jakie ona realizuje, wynikają bezpośrednio z wymienionych powyżej aspektów i polegają między innymi na sprawnym zarządzaniu przestrzenią budynku, zmianami w nim zachodzącymi, tak by zapobiec tzw. „zgonowi” budynku na skutek jego technicznej i funkcjonalnej przestarzałości. Istotnym problemem jest również okresowe podnoszenie jakości i komfortu w budynku, przy jednoczesnym zmniejszaniu kosztów jego utrzymania oraz zwiększaniu dochodu z zarządzanej nieruchomości. Prawidłowe, przemyślane przestrzenne rozmieszczenie personelu i jego technologiczne wsparcie zwiększa efektywność pracy, co stanowi o sukcesie firm czy organizacji korzystających z budynku. W świetle powyższych informacji można stwierdzić, że w działaniach facility manager'a bardzo ważną rolę odgrywa kompleksowa wiedza o budynkach, o ich budowie, zastosowanych w nich technologiach, systemach elektrycznych i informatycznych, o znaczeniu budynku w prowadzeniu biznesu, zasadach pracy w budynku, poznawaniu jego wad i zalet oraz metod poprawy jakości i komfortu [7], [57], [58], [59]. Realizacja zadania poprawy jakości i obniżania kosztów utrzymania budynku, nie byłaby praktycznie możliwa bez zastosowania omawianej już wcześniej tzw. „inteligencji” budynku, dzięki której budynek może być monitorowany, sterowany i kontrolowany, co pozwala na osiągnięcie wyższego poziomu komfortu, przy obniżonych kosztach utrzymania.

FM obejmuje problemy komunikowania się IT, działanie urządzeń w budynku oraz oceny jakości i innowacje, które oznaczają zarówno innowacje w jakości przestrzeni, jak i we wprowadzaniu coraz nowszych udogodnień oraz unowocześnianiu budynku od strony technicznej. Trzeba mieć również świadomość, że wykonanie wielu z tych zadań nie byłoby możliwe bez zastosowania tychże właśnie technologii. Właściwie prowadzony Facility Management jest więc gwarancją wysokiej satysfakcji ludzi, użytkowników budynków z przebywania w nich, a ponadto gwarantuje szybkie wprowadzenie w budynkach nowoczesnych technologii. By sprostać tym zadaniom, konieczne staje się kształcenie ludzi przygotowanych do ich realizacji, świadomych swej misji i dysponujących szerokim, interdyscyplinarnym potencjałem wiedzy, dotyczącej budynków oraz „inteligencji” w budynkach, ze szczególnym uwzględnieniem informacji o najnowocześniejszych technologiach i systemach informatycznych, o ocenach jakościowych, wymaganiach użytkowników oraz potrzebach funkcjonalnych, estetycznych, a także z zakresu psychologii środowiskowej. Sprawa ta jest szczególnie istotna na gruncie polskim. Pracujący obecnie w tym charakterze ludzie są najczęściej samoukami, niejednokrotnie przeszkolonymi na kursach zagranicznych, bądź też pracownikami profesjonalnych, zagranicznych firm zajmujących się FM. Takie firmy pojawiają się już również w Polsce, a z ich ofertą można zapoznać się na kilku stronach internetowych lub w biuletynach dotyczących FM<sup>11</sup> [56].

### **1.3.4. Przyszłość systemów inteligentnego budynku**

Kształcenie odpowiednich kadr zarządców budynku nabiera jeszcze większego znaczenia w aspekcie przewidywanych już dziś kierunków rozwoju technik budynkowych. Rozwój ten będzie ściśle związany z wciąż rosnącymi możliwościami technik informatycznych, elektronicznych i telekomunikacyjnych. Przyszłość technologii budynków jest już dziś dość jasno sprecyzowana. Informacje czy artykuły pojawiające się zarówno w czasopismach fachowych jak i popularnych oraz liczne wizje filmowców, ukazują domy, biura, budynki, których wyposażenie sterowane jest komendami głosowymi, przy czym przyszłość ta określana jest jako niezbyt odległa, bo mierzona zaledwie dwoma dziesięcioleciami [56]. Jako główne siły napędowe, inicjujące zmiany i rozwój nowoczesnych budynków wymienia się obecnie przede wszystkim techniki informatyczne i telekomunikacyjne, robotykę, szerokie zastosowanie nowoczesnych, „inteligentnych” materiałów oraz ekologię (minimalizacja wpływu funkcjonowania budynku na środowisko naturalne). Spodziewany jest również coraz bardziej znaczący wpływ na życie codzienne człowieka rozwijających się już dziś technologii mikroelektronicz-

---

<sup>11</sup> Przykład: firma GP Bis z Warszawy – strona WWW: [www.gpbis.pl](http://www.gpbis.pl).

nych, różnego rodzaju sensorów i mikrochipów kontrolujących na bieżąco np. stan jego zdrowia (temperatura, ciśnienie krwi itp.) oraz aplikacje tego typu układów w struktury nowoczesnych, intelligentnych budynków [15]. Już obecnie w niektórych środowiskach naukowych słychać głosy o możliwości wykorzystania systemów intelligentnego budynku chociażby w telemedycynie. We współczesnym świecie coraz bardziej zmienia się sposób postrzegania budynków i określania ich roli w życiu człowieka. Budynki wpływają bowiem na wiele aspektów ludzkiej działalności. Pomagają nam bardziej efektywnie pracować, stymulują nasze działania, pobudzają zmysły, umożliwiają również relaks i odpoczynek. Jeżeli taka wizja budynków, stanowiących integralną część naszego życia, stanie się powszechna, na pewno będzie ona zasadniczym punktem odniesienia dla wszystkich ludzi uczestniczących w procesie ich projektowania, realizacji i eksploatacji. Wizja taka powinna bowiem zgłębić ich samych, ich wysiłki. Powinni oni jeszcze ściślej współpracować ze sobą na wszystkich etapach „życia” budynku, dla podniesienia jego jakości, komfortu i wydajności.

W. Ballast [6] w swoim raporcie dotyczącym powstawania, kreowania i ewoluowania środowiska ludzkiego w przyszłości, w tzw. „wieku cyfrowym”, pisze o budynkach stanowiących swego rodzaju „cyfrowe węzły” w środowisku zurbanizowanym. Przy wciąż rozwijających się technikach komunikacji mobilnej, stosujących terminale przenośne, które wymagają ciągłej wymiany informacji pomiędzy sobą, wydaje się słuszne rozważenie koncepcji inteligencji niezwiązanej sztywno z pojedynczym budynkiem czy obiektem. W jej świetle budynek staje się jednym z węzłów zorganizowanej sieci, która umożliwia połączenie w jeden „organizm” kilku budynków należących np. do jednej korporacji czy organizacji. Połączenie tych budynków zarówno w aspekcie komunikacyjnym (przekazywanie danych, telekomunikacja) jak i sieci automatyki budynkowej, tworzy pewien „wirtualny budynek” (virtual building). W takiej sieci pracownicy tworzą grupę mobilnych profesjonalistów, mających swobodny wybór pomiędzy pracą w domu, w biurze, czy po prostu w ruchu, w trakcie przemieszczania się [15]. Nowoczesne budynki dnia dzisiejszego oraz intelligentne budynki przyszłości, wymagają od wszystkich osób związanych z branżą budownictwa coraz większych umiejętności, szerokiego spektrum wiedzy technicznej, psychologicznej, społecznej i ekonomicznej. Dobro klienta, jego bezpieczeństwo, dobre samopoczucie, komfort oraz zaspokojenie bieżących potrzeb powinny stać się dla nich zadaniem priorytetowym na każdym etapie rozwoju i eksploatacji budynku. Niezależnie od tego jak rozwinię się technika budynkowa w przyszłości, cel ten na pewno pozostanie niezmienny, bowiem zadowolony z usług klient to dla właściciela budynku oraz facility managera podstawowe źródło utrzymania, a źródła takie zawsze trzeba pozyskiwać, szanować i troszczyć się o ich zachowanie.

#### 1.4. Teza i cele pracy

Instalacje systemów inteligentnego budynku stają się coraz bardziej popularne w naszym kraju. Dotyczy to w szczególności nowych i modernizowanych budynków użyteczności publicznej. Wciąż wzrasta również liczba obszarów możliwego wykorzystania sieci automatyki budynkowej, m.in. w pomiarach i kontroli stanu sieci zasilającej w budynkach.

Dlatego też **tezę** niniejszej pracy autor formułuje w stwierdzeniu:

**Rozpatrywane w pracy systemy sterownia rozproszonego są podobne pod względem funkcjonalnym, a niewielkie różnice dotyczą głównie zasad komunikacji pomiędzy urządzeniami sieciowymi oraz łatwości stosowania i wymagań sprzętowych dla narzędzi i aplikacji programowych. Systemy te mają ograniczone możliwości zastosowania w kontroli parametrów jakości energii elektrycznej, istnieje jednak możliwość ich wykorzystania w monitorowaniu jej zużycia oraz kontroli wybranych parametrów zasilania, takich jak: wartość skuteczna prądu i napięcia w fazach, moc czynna, bierna i pozorna czy współczynnik mocy.**

Udowodnienie niniejszej tezy wymagało podjęcia zadań stanowiących cele pracy:

- budowa stanowisk laboratoryjnych dla wybranych dwóch, najpopularniejszych obecnie standardów systemów inteligentnego budynku – EIB/KNX oraz LonWorks
- adaptacja stanowisk do realizacji zagadnień sformułowanych w tezie
- wykonanie niezbędnych obserwacji i pomiarów laboratoryjnych
- przeprowadzenie, na podstawie badań, szczegółowej analizy porównawczej funkcjonowania obu standardów automatyki budynkowej, z uwzględnieniem możliwości ich wykorzystania w pomiarach parametrów sieci zasilającej.

Porównanie obu wspomnianych systemów zrealizowano w oparciu o następujące kryteria:

- ocena podobieństw i różnic obu technologii na podstawie danych technicznych
  - topologia i możliwości rozbudowy sieci oraz budowa urządzeń sieciowych
  - zasady konfiguracji funkcjonalnej systemu
  - protokoły komunikacji oraz wymiana danych
  - dostępne media transmisyjne
  - aplikacja najnowszych technik komunikacyjnych w obu standardach
- łatwość obsługi i konfiguracji sieci obu standardów
- struktura komunikatów przesyłanych w trakcie transmisji przez magistralę systemową
- odporność na sygnały zaburzeń pojawiające się w magistrali komunikacyjnej

## Rozdział 1 – Wstęp

---

- możliwości wykorzystania oraz niezawodność urządzeń sieciowych jako elementów pomiarowych parametrów zasilania w budynku.

Kryteria powyższe wybrano w celu dokonania analizy porównawczej w jak najszerzym spektrum problemów związanych z wykorzystaniem systemów o inteligencji rozproszonej w budynkach.

Efekty realizacji postawionych celów przedstawiono w treści niniejszej pracy, ze szczególnym uwzględnieniem kwestii zawartych w przedstawionych kryteriach porównawczych.

## 2. TECHNOLOGIE I SYSTEMY AUTOMATYKI BUDYNKU

Jak już wspomniano wcześniej w ciągu ostatnich kilkunastu lat szybki rozwój technik elektronicznych, informatycznych i mikroprocesorowych, doprowadził do powstania i rozpowszechnienia się zaawansowanych technik automatyki budynkowej – systemów inteligentnego budynku. Rezultatem prac licznych grup inżynierskich, skupionych przy firmach zajmujących się szeroko rozumianą automatyką (automatyzacja procesów produkcyjnych, systemy sterowania i regulacji oświetlenia oraz temperatury w budynkach), było stworzenie kilku rodzajów systemów automatyki budynkowej. Spośród nich najbardziej rozpowszechnione są dwa systemy, oparte w swej architekturze o dedykowaną magistralę, służąca do przesyłu informacji pomiędzy połączonymi elementami sieci automatyki – standard amerykański Lon-Works oraz standard europejski EIB/KNX. Ze względu na ich popularność wśród producentów, jak i firm oferujących wykonanie systemów automatyki budynkowej, stały się one przedmiotem gruntownej analizy porównawczej w niniejszej pracy. Wcześniej jednak przedstawiono pokrótkę niektóre z innych opracowanych technologii, które nie zdobyły tak znaczącej popularności, są jednak obecne na rynku systemów automatyki budynkowej.

### 2.1. Wybrane systemy automatyki budynkowej

Najczęściej pojawiającymi się standardami technologicznymi wykorzystywany mi do budowy sieci automatyki w obiektach przemysłowych i budynkach, prócz technologii Lon-Works i EIB/KNX, są: protokół komunikacyjny BACnet, CEBus oraz standard PROFIBUS [42], [68], [84].

#### 2.1.1. Protokół BACnet<sup>12</sup>

Protokół ten opracowany został przez specjalny komitet utworzony przy ASHARE<sup>13</sup> oraz wprowadzony przez amerykański instytut standaryzacji ANSI, jako standard umożliwiający integrację urządzeń pracujących w różnych systemach, produkowanych przez różnych producentów. Należy pamiętać, że BACnet nie jest specjalizowanym systemem automatyki, lecz jedynie standaryzowanym protokołem komunikacyjnym, czyli zbiorem pewnych zasad rządzących wymianą danych pomiędzy urządzeniami, który obejmuje pełne spektrum zagadnień począwszy od określenia rodzaju medium sieciowego, aż po zasady formułowania kon-

---

<sup>12</sup> Ang. Building Automation and Control Network – sieć automatyki i sterowania budynkiem.

<sup>13</sup> Ang. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Grzejnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji.

kretnych komunikatów i rozkazów dla urządzeń. Czynnikiem decydującym o przydatności protokołu BACnet dla systemów sterowania budynkami jest fakt, że jego reguły i zasady komunikacji zawierają standardowe, specjalizowane polecenia i rozkazy wymagane w tego typu instalacjach jak np.: konstrukcja zapytania o poziom temperatury, definicja reżimu i sekwencji czasu pracy wentylatorów, wysłanie alarmu o nieprawidłowym stanie pracy pompy itp. Dla osiągnięcia poprawnej współpracy pomiędzy sprzętem pochodząącym od różnych producentów, specyfikacja protokołu BACnet zawiera trzy zasadnicze części:

- Część I – opis standardowych metod prezentacji dowolnego typu urządzeń automatyki budynkowej; każdy typ urządzenia (np. wejścia i wyjścia analogowe lub cyfrowe, timer, sterowniki, układy logiczne, urządzenia alarmowe) zdefiniowano jako „obiekt” z przyporządkowanym zbiorem odpowiednich, charakteryzujących go, parametrów. Przykładowo dla obiektu „wejście analogowe” parametrami tymi są: aktualna wartość sygnału na wejściu, typ czujnika przyłączonego do tego wejścia, lokalizacja, graniczna wartość alarmowa itp. Część parametrów jest konieczna do ustawienia w czasie programowania systemu, część jest opcjonalna. Najważniejszym z parametrów urządzenia i bezwzględnie koniecznym do jego prawidłowej pracy w sieci, jest identyfikator, czyli numerycznie wyrażona jego niepowtarzalna „nazwa”. Identyfikator taki pozwala protokołowi BACnet na jednoznaczną identyfikację urządzenia w sieci i poprawną z nim komunikację.
- Część II – definicje standardowych komunikatów, jakie mogą być przesyłane przez komputerową sieć dla monitoringu i sterowania urządzeń automatyki; obecnie w dokumentacji protokołu BACnet zdefiniowano 35 typów komunikatów (usług<sup>14</sup>) podzielonych na 5 klas. Klasa pierwsza zawiera komunikaty dotyczące dostępu i ustawień parametrów urządzeń (np. żądanie odczytu wybranych parametrów urządzenia – „ReadProperty”), zaś kolejne klasy to: zdarzenia i alarmy, ładowanie i pobieranie plików, zarządzanie operacjami realizowanymi przez urządzenia sterowane zdalnie oraz funkcje terminali wirtualnych (dostęp do sieci i urządzeń poprzez terminal podłączany bezpośrednio lub przez laptop). Zauważać należy, że twórcy standardu, który zasadniczo tworzony był dla urządzeń typu HVAC, postąpili bardzo rozsądnie definiując tak wiele typów komunikatów sieciowych, które znacznie przekraczają potrzeby urządzeń wentylacji i ogrzewania, zarządzania komfortem termicznym pomieszczeń. Dzięki temu protokół BACnet umożliwia łatwą rozbudowę sieci o nowe urządzenia i funkcje, które nie zawsze są do końca określone w mo-

---

<sup>14</sup> Ang. Services.

mencie projektowania i realizacji systemu automatyki budynku i mogą ewoluować w dalszym okresie jego rozbudowy czy eksploatacji.

- Część III – zespół standardów sieci komunikacyjnych typu LAN, możliwych do wykorzystania w tworzeniu sieci automatyki w oparciu o protokół BACnet; twórcy protokołu dopuszczają pięć rodzajów technologii:
  - Ethernet 10 Mbps i 100 Mbps – standard międzynarodowy; umożliwiający szybką transmisję danych, najpopularniejsza obecnie technologia budowy lokalnych sieci komputerowych; łatwy dostęp do sieci w budynkach użyteczności publicznej.
  - ARCNET 2,5 Mbps – standard ANSI
  - MS/TP (master-slave/token passing) – standard ANSI; technologia zdefiniowana w standardzie BACnet dla sieci zawierających urządzenia o niższych wymaganiach co do szybkości transmisji (1 Mbps lub mniej); medium transmisyjne: para skręcona
  - LonTalk 1,25 Mbps – protokół transmisji opracowany przez firmę Echelon (dedykowany dla sieci LonWorks<sup>15</sup>); dla połączenia urządzeń pracujących w standardzie LON.
  - PTP (point-to-point) szybkość do 56 kbps – protokół zdefiniowany specjalnie dla systemu BACnet, umożliwia komunikację z wykorzystaniem tradycyjnej linii telefonicznej [31], [55], [89], [93].

Jeżeli system automatyki w budynku bazuje na podsystemach wykorzystujących standardy dopuszczane w specyfikacji technicznej protokołu BACnet, to łączy się je w sieć (do rdzenia sieci – backbone<sup>16</sup>) za pomocą routerów. Jeżeli łączone podsystemy pracują w innych standardach telekomunikacyjnych, wówczas ich wzajemnego połączenia dokonuje się za pomocą dedykowanych bram łączeniowych (gateway) [16], [68], [89]. Protokół BACnet jest obecnie dość szeroko rozpowszechniony w Stanach Zjednoczonych, gdzie niemal każdy producent urządzeń dla automatyki i systemów sterowania budynkiem wytwarza produkty zgodne z tym standardem.

### 2.1.2. Standard PROFIBUS

Profibus to międzynarodowy standard magistralnej sieci przemysłowej wykorzystywany do komunikacji pomiędzy urządzeniami automatyki, najczęściej w lokalnych sieciach przemysłowych. Bazuje on na europejskim standardzie IEC 61158/EN 50170 Volume 2, PROFIBUS i zapewnia otwarty system magistralny, umożliwiający połączenie elementów pochodzących od różnych producentów, które odpowiadają zdefiniowanemu standardowi

---

<sup>15</sup> Szersze omówienie w rozdziale 2.2.3.

<sup>16</sup> Ang. backbone – szkielet sieci komunikacyjnej. Sieć szkieletowa jest szybką siecią łączącą ze sobą poszczególne obszary podsieci [16].

[43], [68], [81], [100]. Obecnie, ze względu na rosnące wymagania użytkowników oraz coraz szersze spektrum zastosowań systemów automatyki, w ramach standardu Profibus, wydzielono pięć specjalizowanych sekcji:

- Profibus DP (Decentralized Peripherals) – Factory Automation – wykorzystywany w automatyce przemysłowej. Komunikacja w standardzie Profibus DP oparta jest o architekturę typu master/slave, przy czym możliwe jest wykonanie sieci w dwu wariantach: mono i multi master (tzn. w danej sieci może występować jedno centralne urządzenie typu master lub kilka takich urządzeń, przyporządkowanych wyodrębnionym obszarom sieci). Nadziedna jednostka kontrolna (master) dla określonego obszaru sieci, cyklicznie od czytuje informacje z urządzeń znajdujących się w jej obszarze (slaves), a następnie wysyła odpowiednie wartości wyjściowe dla tych urządzeń. W systemach tego typu możliwa jest szybkość transmisji do 12 Mbps. Fizycznie, do przesyłu danych stosowane są trzy technologie:
  - Synchroniczna transmisja danych zgodna ze standardem IEC 61158-2; medium transmisji: ekranowana para skręcona; szybkość transmisji: 31,25 kbps
  - Asynchroniczna transmisja RS 485; medium transmisji: kable transmisyjne typu A – D dostępne na rynku; szybkość transmisji: 9,6 Mbps i 12 Mbps
  - Technika światłowodowa; szybkość transmisji: 9,6 Mbps i 12 MbpsProtokół komunikacyjny DP opracowany został specjalnie do bardzo szybkiej wymiany danych pomiędzy urządzeniami znajdującymi się w wydzielonym obszarze sieci automatyki. Stosuje się go w komunikacji pomiędzy programową jednostką sterującą dla danej strefy (np. sterownik programowy PLC itp.), a urządzeniami rozmieszczonymi w strefie (układy wej/wyj, analizatory, napędy itp.). Komunikacja realizowana jest przez szybkie łącze szeregowe. Protokół DP ma kilka wersji, obecnie najbardziej zaawansowaną jest DP-V2 wzbogacona w stosunku do poprzednich o wiele funkcji niezbędnych przy sterowaniu układami napędowymi. Wersja ta umożliwia również komunikację pomiędzy urządzeniami w sieci z pominięciem nadziednej jednostki sterującej (komunikacja typu slave-to-slave) [43], [68], [100].
- Profibus PA (Process Automation) – protokół stosowany w automatyce procesów technologicznych, oparty bezpośrednio na systemie Profibus DP, zawierający pewne specyficzne funkcje i kryteria wymagane w sieciach automatyki budowanych dla specjalnych zastosowań, takich jak: zakłady chemiczne, obszary zagrożone wybuchem itp. Charakterystyczną cechą tej sekcji jest zasilanie i sterowanie urządzeń przez jedną wspólną magistralę.

lę sieciową. Fizyczne technologie komunikacji identyczne jak dla sekcji Profibus DP [43], [100].

- Profinet (Industrial Ethernet) – do budowy sieci automatyki w oparciu o lokalne sieci tele-informatyczne Ethernet. Może być on zaimplementowany zarówno na poziomie urządzeń nadzorzących (sterujących, zarządzających i kontrolnych) w sieci automatyki, jak również na poziomie sieciowych urządzeń strefowych (kontrolujących podsieci), a także do komunikacji z urządzeniami sterującymi napędami przyłączonymi do sieci automatyki. Ze względu na tak szerokie spektrum zastosowań tej sekcji standardu Profibus, konieczne było wprowadzenie kilku rodzajów protokołów komunikacyjnych:
  - TCP/IP dla komunikacji pomiędzy urządzeniami nadzorowanymi (zarządzającymi), gdzie czas i szybkość transmisji nie są parametrem ograniczającym stosowanie (wolniejsza transmisja nie wpływa na jakość pracy całej sieci automatyki)
  - SRT<sup>17</sup> dla komunikacji pomiędzy urządzeniami, gdzie wymagana jest bardzo szybka transmisja danych; najczęściej stosowany w kontrolerach strefowych, bazujących na zapisanym w nich programie
  - IRT<sup>18</sup> dla komunikacji i sterowania napędów oraz obiektów w ruchu; protokół ten umożliwia bardzo szybką komunikację w czasie rzeczywistym; tym samym pozwala na sterowanie np. napędów elektrycznych o okresie obrotu ok.  $1\mu\text{s}$

System Profinet najczęściej znajduje zastosowanie w przemyśle, przy automatyzacji procesów produkcyjnych, przy produkcji samochodów, produkcji i pakowaniu żywności lub napojów itp. Bardzo użyteczną i ułatwiającą pracę operatora procesu technologicznego wyposażonego w ten rodzaj sieci automatyki cechą, jest integracja narzędzi sieci Web. Pozwala to na kontrolę i zarządzanie siecią Profinet z podłączonego do niej w dowolnym miejscu komputera PC z zainstalowaną standardową przeglądarką internetową. System oferuje również specjalny interfejs, ułatwiający pracę osoby programującej i integrującej tworzoną sieć. Interfejs ten pozwala na bardzo proste łączenie poszczególnych urządzeń pochodzących od różnych producentów, bez konieczności pisania skomplikowanego programu, a jedynie poprzez graficzne połączenia ich na ekranie komputera. Ogólna topologia sieci jest identyczna jak dla lokalnych sieci komputerowych [72], [73].

- Profidrive (Motion Control) – sterowanie i synchronizacja pracy napędów elektrycznych i innych urządzeń elektrycznych poruszających się. W standardzie tym wyróżnia się kilka klas, zależnych od konkretnego praktycznego zastosowania. Takie zróżnicowanie pozwala

---

<sup>17</sup> Ang. Soft Realtime.

<sup>18</sup> Ang. Isochronous Realtime.

na wykorzystanie standardu Profidrive praktycznie w każdym systemie sterowania napędami elektrycznymi, począwszy od najprostszych, gdzie sterujemy jednym lub kilkoma prostymi silnikami (regulacja prędkości, załączanie, hamowanie), aż po najnowocześniejsze układy cyfrowych serwomechanizmów (sterownie pozycją, praca krokowa itp.), czy też złożone, zsynchronizowane układy napędowe np. przy taśmach produkcyjnych, skomplikowanych procesach przemysłowych. Do przesyłania danych wykorzystywany jest protokół DP-V2. [71]

- Profisafe (Safety) – sieci tzw. automatyki bezpieczeństwa; nowa gałąź automatyki przemysłowej, umożliwiająca budowanie sieci inteligentnego bezpieczeństwa, zabezpieczenia urządzeń przemysłowych oraz ochrony zdrowia i życia człowieka. System ten stanowi integralną część systemu Profibus, a wszelkie pomiary związane z bezpieczeństwem urządzeń realizowane są programowo w obrębie 7 poziomu (poziom aplikacji, dodatkowo: Safety Layer) modelu protokołu ISO/OSI. Moduły odpowiedzialne za bezpieczeństwo pracy urządzeń podłączane są do tej samej sieci automatyki, co urządzenia standardowe i komunikują się bezpośrednio z dodatkowym „sterownikiem bezpieczeństwa” lub z urządzeniem łączącym w sobie funkcje sterownika standardowego i sterownika bezpieczeństwa. Zastosowanie tak wyrafinowanego systemu bezpieczeństwa zintegrowanego z siecią sterowania, pozwala na uzyskanie pełnego, sprawnie działającego systemu zarządzania procesem technologicznym, o dużej dynamice i wysokich wymaganiach co do niezawodności pracy (szybka reakcja na pojawienie się stanu awaryjnego i tym samym ochrona innych urządzeń dołączonych do sieci). System Profisafe umożliwia spełnienie wszelkich, nawet dość restrykcyjnych norm dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy człowieka oraz ochrony środowiska.

Najbardziej rozwiniętymi, popularnymi w zastosowaniach i funkcjonalnie zbliżonymi do innych systemów magistralnych, są sekcje Profibus DP oraz Profinet. Do obszaru automatyki budynkowej systemy te trafiły za sprawą niektórych producentów urządzeń typu HVAC, którzy wykorzystali ten rodzaj protokołu do komunikacji pomiędzy swoimi urządzeniami. System Profibus DP wykorzystywany jest przez niektórych producentów m.in. do komunikacji pomiędzy sterownikami programowalnymi w automatyce przemysłowej. Sieć tego typu często bywa również stosowana w automatyce budynkowej jako sieć nadziedzona, łącząca różne systemy automatyki rozmieszczone w kilku dużych obiektach budowlanych [2], [71], [81], [100].

### 2.1.3. System CEBus<sup>19</sup>

CEBus to standard komunikacyjny dla domowych sieci, łączących różne urządzenia elektroniczne pracujące w domu (pochodzące od wielu producentów), w jeden wspólny „organizm”. System został opracowany przez organizacje EIA<sup>20</sup> oraz CEMA<sup>21</sup> i oficjalnie zaprezentowany w roku 1992, po blisko dziesięcioletnim okresie formułowania zasad jego funkcjonowania i protokołów komunikacyjnych. System CEBus jest standardem otwartym, co umożliwia budowę urządzeń pracujących w tym standardzie każdemu zainteresowanemu tym producentowi urządzeń elektroniki użytkowej dla gospodarstw domowych. W standardzie możliwe do wykorzystania są następujące media transmisyjne:

- Istniejąca sieć zasilająca 110 V AC (standard amerykański) – w tej komunikacji wykorzystywana jest technologia szerokiego widma częstotliwości nośnej, dla przezwyciężenia przeszkód i utrudnień występujących w typowych sieciach zasilających<sup>22</sup>. Sygnał transmitywany jest z wykorzystaniem kilku częstotliwości nośnych, przełączanych zgodnie z ustaloną algorytmem lub kodem [29]
- Para skręcona przewodów (skrótka)
- Kabel koncentryczny
- Częstotliwość radiowa (RF) i łącza podczerwieni

Ze względu na to, iż standard ten nie jest obecnie bardzo rozpowszechniony, na rynku występuje niewielka ilość urządzeń dostosowanych do tego protokołu komunikacji. W Stanach Zjednoczonych najczęściej pojawiają się urządzenia w standardzie CEBus wykorzystujące komunikację poprzez istniejącą sieć zasilania oraz w paśmie częstotliwości radiowej [14], [86].

## 2.2. Technologia LonWorks

Technologia LonWorks oparta o standard LON, jest owocem prac prowadzonych na przełomie lat 80. i 90. XX wieku w Stanach Zjednoczonych przez firmę Echelon, powołaną do istnienia przez firmy: Motorola i Toshiba, w celu opracowania kompletnej technologii dla otwartych, rozproszonych systemów automatyki. Głównym założeniem twórców tego systemu była przede wszystkim standaryzacja komunikacji pomiędzy poszczególnymi elementami

---

<sup>19</sup> Ang. Consumer Electronic Bus.

<sup>20</sup> Ang. Electronic Industry Association – Organizacja Elektroniki Przemysłowej.

<sup>21</sup> Ang. Consumer Electronics Manufacturers Association – Organizacja Producentów Urządzeń Elektroniki Użytkowej.

<sup>22</sup> Więcej o technologii szerokiego widma (wide spread) oraz o zaburzeniach i zakłócenach pojawiących się w sieciach zasilających w obiektach budynkowych, a także o przyczynach ich powstawania, można przeczytać w publikacjach autora [67].

złożonego systemu sterowania w budynku, pochodząymi niejednokrotnie od różnych producentów. U podstaw koncepcji budowy systemu LonWorks legły trzy zasadnicze założenia [19], [94]:

- Systemy automatyki mają wiele wspólnych wymagań, bez względu na to gdzie są one realizowane czy aplikowane
- System sterowania zbudowany w oparciu o sieć przekazu informacji jest znacznie bardziej elastyczny, wszechstronny niż układy budowane w sposób tradycyjny (nie łączone w zintegrowaną sieć) oraz posiada możliwość prostej rozbudowy
- Końcowy użytkownik systemu, zarządzający systemem i całym budynkiem sterowanym przez sieć automatyki, w długim okresie użytkowania, ponosi znacznie mniejsze koszty utrzymania w stosunku do rozwiązań tradycyjnych.

Opracowany system i protokół transmisji danych, pozwalają na pełną integrację urządzeń tworzących rozproszoną sieć automatycznego sterowania w ramach jednego systemu elektronicznego i teleinformatycznego [12], [51], [68]. Uzyskana w ten sposób sieć automatyki (LON), łącząca ze sobą elementy podobne pod względem funkcji, osiągów, rozmiarów i wymagań komunikacyjnych, przypomina swą budową i zasadami funkcjonowania znane powszechnie sieci komputerowe LAN. Różnice i podobieństwa pomiędzy siecią LAN i LON przedstawiono w tabeli 1 [12], [19], [63], [94]:

**Tabela 1 - Właściwości sieci LAN i LON**

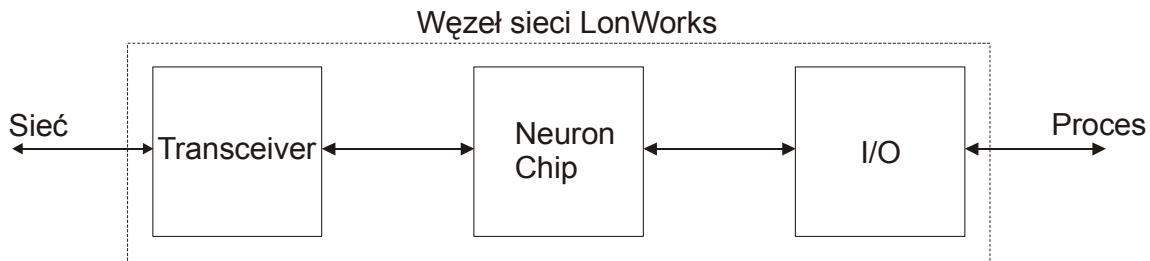
LAN	LON
Sieć komputerowa przeznaczona dla technologii informatycznych (IT). Dane przesyłane siecią to najczęściej teksty, liczby, grafika, strumienie danych (TV, radio) itp. Przyłączane urządzenia: komputery, drukarki, skanery itp. Szybkość działania (osiągi) przedstawiane są w postaci współczynników transmisji danych i mierzone w Mbps (do 100 Mbps).	Sieć operacyjna stosowana w sterowaniu urządzeń. Dane mają postać zmiennych sieciowych niosących w sobie informacje o wartości lub stanie wybranych parametrów (np. temperatura, załączenie/wyłączenie, pozycja, czas itp.). Przyłączane urządzenia: czujniki (sensory), urządzenia wykonawcze (aktory, wyrobniki) i sterowniki. Szybkość działania określa współczynnik transmisji lub ilość operacji na sekundę. Dla sieci o transmisji 1,25Mbps, ilość tych operacji może wynosić nawet do 700 oper/sek.

Sieć automatyki w systemie LonWorks składa się z kilku podstawowych elementów. Wszystkie urządzenia w sieci, zwane węzłami<sup>23</sup>, połączone są między sobą w celu wzajemnej komunikacji, poprzez jedno z dostępnych w standardzie mediów transmisyjnych. Sam proces wymiany informacji pomiędzy urządzeniami realizowany jest przy użyciu protokołu LonTalk, opracowanego specjalnie dla standardu LonWorks.

<sup>23</sup> Ang. Node.

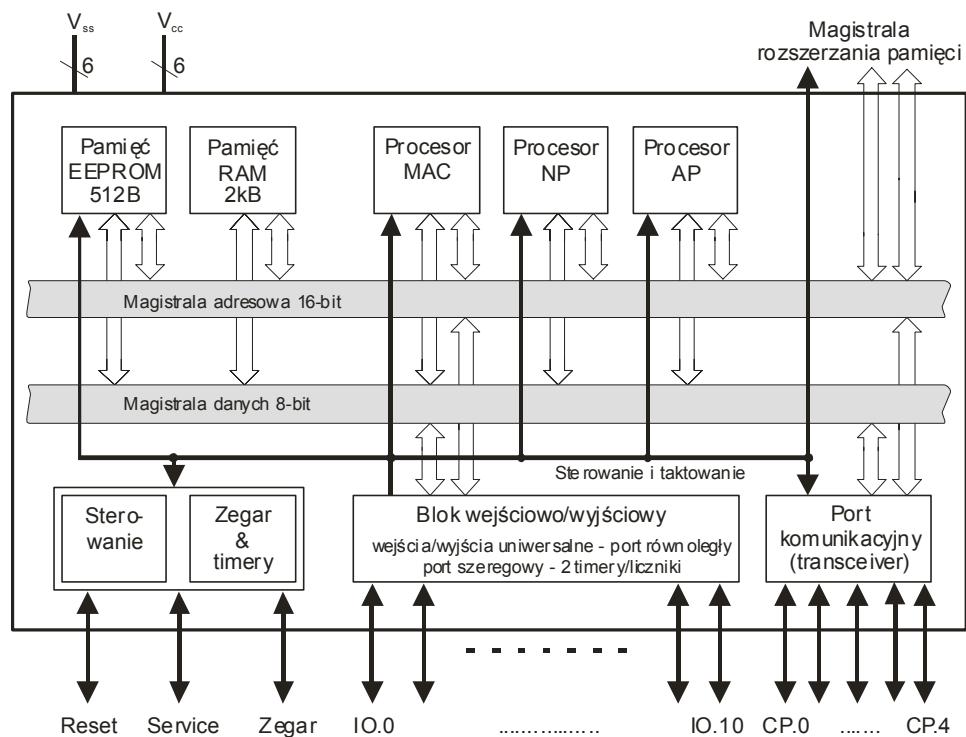
### 2.2.1. Podstawowe elementy składowe oraz język programowania aplikacji w sieciach typu LonWorks

Węzeł sieci to inteligentne urządzenie, którym może być zarówno czujnik, wyrobnik (urządzenie wykonawcze) jak i sterownik. Każdy węzeł składa się z kilku podstawowych elementów: transceiver'a, specjalizowanego mikroukładu Neuron-Chip oraz obwodów wej/wyj (I/O); rysunek 2.



Rysunek 2 – Schemat blokowy węzła sieci LonWorks

Najważniejszym elementem węzła jest układ Neuron-Chip, którego strukturę wewnętrzną przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3 - Wewnętrzna struktura układu Neuron-Chip [93]

Każdy układ Neuron-Chip zawiera [12], [49], [51], [63], [94], [100]:

- Trzy dedykowane jednostki centralne (procesory) realizujące określone funkcje:

- Procesor nr 1 – dostępu do medium transmisyjnego (MAC<sup>24</sup>); obsługuje on transmisję na poziomie medium transmisyjnego tzn. bezpośrednia obsługa linii transmisyjnych oraz algorytmu wykrywania i unikania kolizji w medium transmisyjnym
- Procesor nr 2 – sieciowy (NP<sup>25</sup>); obsługuje zmienne sieciowe i konfiguracyjne. Realizuje zarządzanie siecią, adresowanie, przetwarzanie informacji sieciowych, obsługę programowych układów czasowych, potwierdzenia zgodności i funkcje routera.
- Procesor nr 3 – aplikacji (AP<sup>26</sup>); obsługuje prace systemu operacyjnego oraz realizację programu zadanego przez użytkownika dla danego węzła
- Elektrycznie programowalną pamięć programu EEPROM (512B/2KB zależnie od wersji układu), gdzie zostaje zapisany program użytkownika, dane konfiguracyjne oraz unikalny adres węzła
- Pamięć danych RAM (2KB/1KB)
- Układ sterujący i układ taktujący wraz z licznikami czasu
- Uniwersalny, programowalny blok wej/wyj (11 linii)
- Port komunikacyjny (5 linii).

Układy Neuron-Chip, dzięki swym zawansowanym funkcjom i rozbudowanemu układowi wej/wyj, umożliwiają konstruowanie nie tylko węzłów obsługujących pojedyncze elementy w systemie automatyki, ale również rozbudowanych pod względem funkcyjnym, obsługujących np. inteligentne sterowniki pomieszczenia, sterujące kilkoma urządzeniami rozmieszczonymi w pokoju lub biurze. Za pośrednictwem układu Neuron-Chip oraz transceiver'a, każde urządzenie może dostarczać do sieci LonWorks informacje o swoim stanie oraz odbierać informacje od innych urządzeń w sieci za pośrednictwem tzw. zmiennych sieciowych, wykorzystywanych w programach aplikacyjnych własnego węzła oraz innych węzłów w sieci [49], [63]. Do konfigurowania poszczególnych węzłów sieci używany jest pakiet projektowo-wdrożeniowy NodeBuilder, a podstawowym językiem programowania układów Neuron-Chip i tworzenia aplikacji dla węzłów jest język Neuron C, będący modyfikacją powszechnie znanego języka ANSI C, zoptymalizowany i dostosowany do potrzeb rozproszonych systemów sterowania w technologii LonWorks. Neuron C zapewnia obsługę komunikacji sieciowej, układów wej/wyj oraz obsługę zdarzeń w sieci sterowania (reakcja na zmianę stanu urządzenia). Podstawowe modyfikacje języka w stosunku do ANSI C można zatrzymać w następujących punktach:

---

<sup>24</sup> Ang. MAC – Media Access Control.

<sup>25</sup> Ang. NP. – Network Processor.

<sup>26</sup> Ang. AP – Application Processor.

- Nowy model komunikacji sieciowej bazujący na zmiennych sieciowych typu SNVT i blokach funkcyjnych, znacznie upraszczający wymianę danych pomiędzy urządzeniami; dostęp do zmiennych sieciowych jest zoptymalizowany, stanowią one obiekty języka Neuron C
- Standaryzacja typów zmiennych sieciowych oparta o pliki źródłowe dostarczane przez każdego z producentów, pozwalająca na łatwą współpracę urządzeń pochodzących z różnych firm
- Zorganizowany sposób konfiguracji sieci oparty o bloki funkcjonalne, odpowiednie parametry konfiguracyjne oraz wielozadaniowy program szeregowania i zarządzania zadaniami, ułatwiający programiście prawidłową organizację współpracy równoległych zadań sterowania (tzw. interoperacyjność)
- Poszerzony i zorganizowany dostęp do obiektów obsługujących linie wej/wyj, umożliwiający maksymalne wykorzystanie funkcji oferowanych przez układy Neuron-Chip oraz różnorakie transceiver'y (różne media komunikacyjne)
- Obsługa zdarzeń (zmian stanu) urządzeń w sieci oparta o komendę WHEN języka Neuron C i wbudowaną bibliotekę funkcji obsługi zdarzeń
- Zorganizowana obsługa układów czasowych (timerów), nadawania i odbioru wiadomości przez sieć oraz dodatkowych funkcji sterujących układem Neuron-Chip

Obsługa języka Neuron C wbudowana jest w oprogramowanie firmowe układów Neuron-Chip i umieszczona w ich pamięci stałej ROM. W języku Neuron C pominięto niektóre z obiektów i standardowych bibliotek języka ANSI C, ze względu na brak konieczności ich wykorzystania w aplikacjach przeznaczonych dla węzłów sieci sterowania w technologii LonWorks [20], [49], [51], [63].

Jak wspomniano już powyżej język Neuron C wraz z protokołem komunikacyjnym systemu LonWorks, wykorzystują do przesyłania informacji pomiędzy urządzeniami w sieci oraz ich poprawnej i optymalnej konfiguracji, tzw. zmienne sieciowe, ustawienia konfiguracyjne<sup>27</sup> oraz bloki funkcyjne.

- Zmienna sieciowa – ciąg określonych danych zawierających informacje o temperaturze, położeniu przełącznika, aktualnym stanie urządzenia wykonawczego itp., jakich dane urządzenie w sieci oczekuje od innych urządzeń dla wykonania swoich zadań (zmienne wejściowe) lub, jakie urządzenie ma zamiar udostępnić innym urządzeniom przyłączonym do sieci sterowania (zmienne wyjściowe). Zmienne sieciowe stanowią logiczne wejścia i

---

<sup>27</sup> Ang. Configuration Properties.

wyjścia węzła sieciowego, a ich liczba i przypisane funkcje, uzależnione są od konkretnego programu aplikacyjnego urządzenia. W programach aplikacyjnych mogą występować standardowe zmienne sieciowe (SNVT) lub zmienne definiowane przez użytkownika dla konkretnego zastosowania (UNVT). Zalecane jest stosowanie zmiennych standardowych – ich typy zebrane na liście zmiennych SNVT podanej przez Stowarzyszenie LonMark<sup>28</sup> [21] – kiedy tylko jest to możliwe. Definiowanie własnych zmiennych sieciowych i ich kodów źródłowych przez producenta konkretnego urządzenia, dopuszczalne jest jedynie w szczególnych sytuacjach, dla zapewnienia kompatybilności danego urządzenia załączanego do sieci z innymi węzłami. Przykładowy sposób definicji zmiennych sieciowych w programie aplikacyjnym zapisano poniżej:

<i>(deklaracja i standardowa nazwa zmiennej)</i>	<i>(oznaczenie i nazwa funkcyjna w programie)</i>
Network input SNVT_temp	nviTemperature;
Network output SNVT_temp	nvoTemperature;

Typ zastosowanej zmiennej określa jednoznacznie stosowane jednostki, zakres zmian wartości zmiennej i rozdzielcość oraz strukturę i format pakietu danych, jakim są one wysyłane poprzez sieć. Szczegółowe informacje na temat tych parametrów zmiennych sieciowych podane są również w liście zmiennych. Oznaczenie zmiennej występujące przed jej nazwą funkcyjną, określa rodzaj pamięci do jakiego jest ona fizycznie adresowana oraz dodatkowo czy jest to zmienna wejściowa, wyjściowa lub konfiguracyjna, według następującego porządku [21], [94]:

- |                                       |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| ○ Nvi zmienna sieciowa wejściowa      | rodzaj pamięci: RAM    |
| ○ Nvo zmienna sieciowa wyjściowa      | rodzaj pamięci: RAM    |
| ○ Nci zmienna sieciowa konfiguracyjna | rodzaj pamięci: EEPROM |
| ○ Nro zmienna sieciowa wyjściowa      | rodzaj pamięci: ROM    |

Należy zwrócić szczególną uwagę na typy zmiennych w momencie konfigurowania sieci – dla dwóch lub kilku urządzeń należy łączyć zmienne tych samych typów. Przykładowe typy i nazwy zmiennych SNVT podano poniżej:

- |              |  |
|--------------|--|
| SNVT_amp     | - informacja o wartości prądu,                           |
| SNVT_freq_hz | - informacja o aktualnej częstotliwości, mierzonej w Hz, |
| SNVT_volt    | - informacja o wartości napięcia.                        |

Zastosowanie takiego modelu komunikacji w sieciach LonWorks, znacznie upraszcza proces łączenia i konfigurowania sieci oraz realizacji złożonych zadań przez konkretne

---

<sup>28</sup> Ang. LonMark – LonMark Interoperability Association – stowarzyszenie zajmujące się określeniem i utrzymaniem „czystości” standardu LonWorks, zwłaszcza standaryzacją urządzeń oferowanych na rynku przez różnych producentów. Więcej informacji na stronie WWW: [www.lonmark.org](http://www.lonmark.org).

urządzenia. Program aplikacyjny węzła sieci nie wymaga podania specjalnych instrukcji dotyczących wysyłania, odbierania czy formowania pakietów danych zmiennych sieciowych. Aplikacja zajmuje się tylko realizacją algorytmu zapisanego przez programistę dla danego urządzenia [20], [21]. Obsługa operacji wysyłania, odbioru i obróbki pakietów danych pomiędzy węzłem, a siecią to zadanie protokołu komunikacyjnego LonTalk, opisanego w dalszej części pracy.

- Ustawienia konfiguracyjne – zbiory danych, ułatwiające konfigurację sieci automatyki budynkowej w systemie LonWorks, poprzez standardowy interfejs komunikacyjny między narzędziem do konfigurowania sieci, a poszczególnymi jej węzłami. Podobnie jak w przypadku zmiennych sieciowych, Stowarzyszenie LonMark zdefiniowało zbiór wielu rodzajów ustawień konfiguracyjnych wykorzystywanych w sieciach LonWorks, noszących nazwę SCPT. Producenci urządzeń sieciowych mogą również definiować własne typy ustawień konfiguracyjnych (UCPT), tworząc odpowiednie pliki źródłowe w programie NodeBuilder, w trakcie produkcji określonego urządzenia. Ustawienia konfiguracyjne, używane w wielu profilach funkcyjnych, zależnie od swego typu, mogą określać np. szerokość pętli histerezy, wartości standardowe (default value) zmiennych, minimalne i maksymalne wartości tychże zmiennych itp.

Ustawienia konfiguracyjne mogą być zaimplementowane przy zastosowaniu dwóch rodzajów technik:

- *Konfiguracyjne zmienne sieciowe* – wykorzystanie specjalnych zmiennych sieciowych jako nośników informacji o ustawieniu konfiguracyjnym urządzenia. Zaletą stosowania tej techniki jest możliwość wprowadzania zmian konfiguracji przez inne urządzenia w sieci oraz określone zmienne sieciowe w trakcie eksploatacji całego systemu. Niestety istotnym czynnikiem działającym na niekorzyść tejże techniki jest ograniczenie wszystkich możliwych do wykorzystania przez urządzenie zmiennych sieciowych do 62. Poniżej zamieszczono przykład zastosowania zmiennej sieciowej do skonfigurowania parametru maksymalnego czasu wysyłania informacji

```
network input config SNVT_elapsed_tm nciMaxSendT;
```

- *Pliki konfiguracyjne* – zamiast stosowania oddzielnych zmiennych sieciowych dla ustawienia poszczególnych parametrów konfiguracyjnych urządzenia w sieci, można wszystkie niezbędne parametry zebrać w pliku konfiguracyjnym, złożonym z jednego lub dwu bloków danych, zwanych plikami wartości<sup>29</sup>. Pliki konfiguracyjne ładowane są do pamięci w węźle, współdzielonej z programem aplikacyjnym; jeżeli plik składa

---

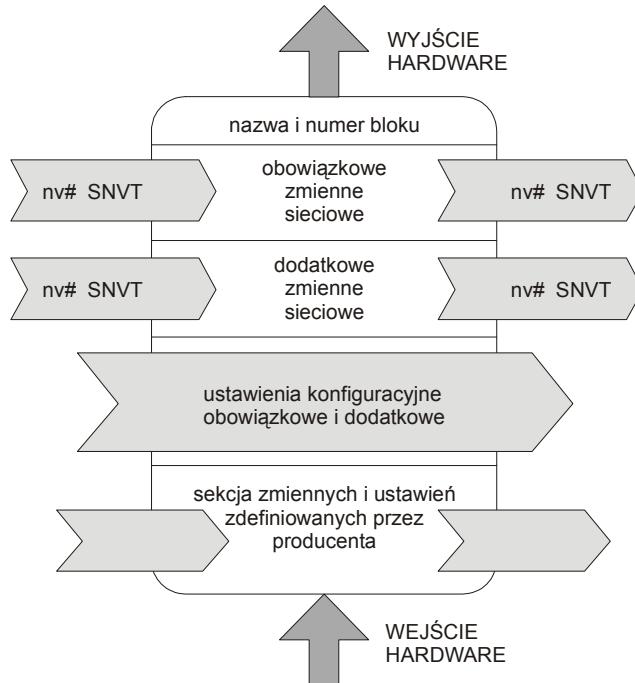
<sup>29</sup> Ang. Value files.

się z dwóch bloków danych, pierwszy z nich zawiera dane zapisywane (z możliwością ich „nadpisania”), a drugi tylko dane konfiguracyjne przeznaczone do odczytu. W blokach danych przesyłana jest również dodatkowa tablica znaków opisujących każdy z elementów pliku konfiguracyjnego. Tablica ta umożliwia uzyskanie dostępu do parametrów konfiguracyjnych w pliku przez urządzenia sieciowe (konfiguracja sieci). Podstawowa zaleta stosowania plików konfiguracyjnych w konfigurowaniu sieci to praktycznie nieograniczony rozmiar parametrów lub brak ograniczeń w ich liczbie. Elementem niekorzystnym jest brak dostępu i możliwości oddziaływanego na parametry konfiguracyjne przez inne urządzenia podłączone do sieci; wszelkie zmiany parametrów w urządzeniu możliwe są tylko z wykorzystaniem specjalnych narzędzi sieciowych – oprogramowania konfiguracyjnego[21].

- **Bloki funkcyjne** – to określone zbiory zmiennych sieciowych i ustawień konfiguracyjnych, używanych wspólnie do wykonania określonego zadania. Opisują one cały interfejs urządzenia sieci LonWorks, tzn. jego współpracę z siecią, rodzaj realizowanych funkcji, parametry wejściowe i wyjściowe. Zmienne sieciowe oraz ustawienia konfiguracyjne przyporządkowane do określonych bloków, zwane są elementami bloku funkcyjnego<sup>30</sup>. Bloki funkcyjne definiuje się poprzez tzw. profile funkcjonalne, które podawane są w postaci odpowiednich plików źródłowych, określających obowiązkowe i dodatkowe (opcjonalne) zmienne sieciowe oraz ustawienia konfiguracyjne dla danego bloku funkcyjnego. W bloku funkcyjnym uwzględnione mogą być również zmienne i parametry szczegółowe, definiowane wyłącznie dla danego urządzenia sieciowego przez jego producenta. Ogólny schemat struktury bloku funkcyjnego przedstawiono na rysunku 4.

---

<sup>30</sup> Ang. Functional Block Members.



Rysunek 4 - Schemat bloku funkcyjnego standardu LonMark

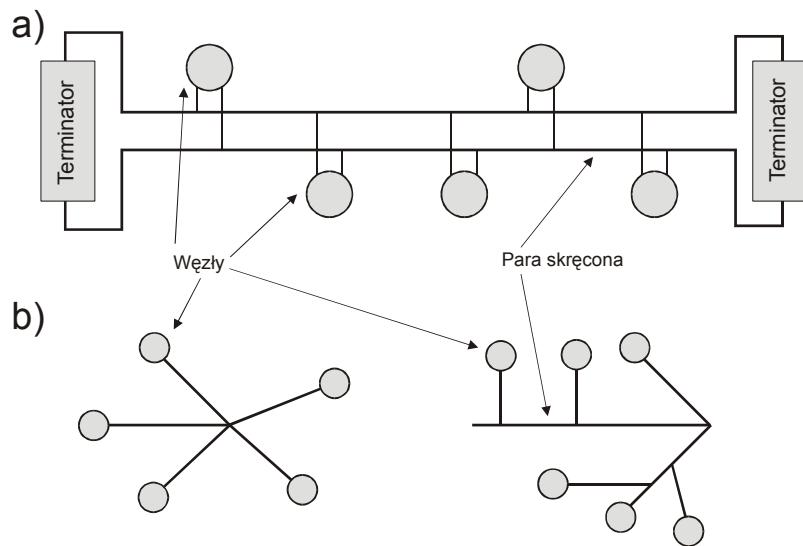
Blok taki musi wykorzystywać w pracy urządzenia wszystkie parametry i zmienne o statusie koniecznych, w razie potrzeby zmienne i parametry opcjonalne oraz może posługiwać się zmiennymi nieokreślonymi w profilu funkcyjnym, a zadanimi dla danego urządzenia przez jego producenta. Wspomniane wyżej pliki źródłowe mogą być plikami standardowymi, zaakceptowanymi wcześniej i udostępnionymi ogólnie producentów przez Stowarzyszenie LonMark, jak również istnieje możliwość zdefiniowania własnych plików, chociażby w trakcie tworzenia aplikacji dla danego węzła w języku Neuron C. Do tego właśnie celu służy specjalna komenda `fblock` – deklaracji bloku funkcyjnego. Każdy program aplikacyjny może zawierać jeden lub kilka bloków funkcyjnych, które działają niezależnie od siebie. Bloki funkcyjne i związane z nimi bezpośrednio profile nie służą standaryzacji konkretnych urządzeń w sieci, a jedynie funkcji przez nie wykonywanych, tym samym ułatwiając osobie konfigurującej całą sieć sterowania jej właściwe logiczne i funkcjonalne połączenie [19], [20], [42], [94].

### 2.2.2. Media komunikacyjne w systemie LonWorks

Technologia LonWorks pozwala na zastosowanie wielu różnych mediów transmisyjnych umożliwiających połączenie urządzeń w sieci sterowania. Wybór określonego rodzaju medium transmisyjnego winien być dokonywany każdorazowo dla określonej instalacji i przemyślany pod kątem występujących w danym budynku urządzeń elektrycznych i telein-

formatycznych, mogących pojawiać się okresowo lub stale zewnętrznych pól magnetycznych i elektromagnetycznych, możliwości rozbudowy i poszerzenia istniejącej już w budynku struktury okablowania itp. Możliwe do zastosowania rodzaje mediów przedstawiono poniżej [19], [42], [43], [44], [49], [63], [67], [94]:

- Para skręcona przewodów – maksymalna szybkość transmisji od 78 kbps do 1,25 Mbps; ilość urządzeń jakie mogą być przyłączone do sieci wynosi: 64, zaś maksymalna odległość pomiędzy urządzeniami wymieniającymi dane to 320 do 750 m, zależnie od wybranego typu topologii połączeń w sieci (topologia typu *free* lub *bus* – rysunek 5). Dane te dotyczą najczęściej stosowanego kabla pary skręconej JY 2x2x0.8. Sieć w topologii typu *bus* stosowana jest rzadko, ze względu na konieczność instalowania dodatkowych tzw. terminatorów zapobiegających odbiciu sygnałów i generacji wewnętrznych drgań w sieci. Najczęściej, szczególnie w niewielkich instalacjach, stosuje się połączenia w sieci według zasad topologii typu *free*, przede wszystkim ze względu na znacznie niższe koszty wykonania samej instalacji, prostotę połączeń (sieć w kształcie drzewa) oraz znaczne uproszczenie procedury rozszerzania sieci w razie wystąpienia takiej konieczności w przyszłości.



Rysunek 5 - Dwa rodzaje topologii sieci LON: a) typu „bus”, b) typu „free”

- Para skręcona przewodów z zasilaniem – nowe rozwiązanie w systemie LonWorks, pozwalające na transmisję danych oraz zasilanie węzłów sieci przy użyciu przewodu magistralnego. Maksymalna prędkość transmisji ograniczona jest do 78 kbps. Przy zastosowaniu topologii sieci typu *free* w jednej linii może być połączone do 128 urządzeń, a maksymalna odległość między nimi jest identyczna jak przy zwykłej parze skręconej. Do ob-

sługi tego typu medium stosowane są specjalne transceivery LPT-10 lub nowsze LPT-11 umieszczane w węzłach sieci oraz zasilacze 48 V DC, przyłączane do linii transmisyjnej poprzez układy izolacji galwanicznej LPI-10. Transceivery LPT-11 zawierają również zasilacz wytwarzający napięcie 5 V DC, które może być wykorzystane do zasilania np. czujników czy układów wykonawczych przyłączonych do konkretnego węzła (obciążalność prądowa 100mA)

- Para przewodów zasilających (sieć energetyczna niskiego napięcia) 230 V AC – wykorzystanie techniki modulacji dodatkowej częstotliwości nośnej<sup>31</sup> w sieci zasilającej; osiągana szybkość transmisji ok. 4.8 kbps. Maksymalna liczba urządzeń w linii oraz odległość między nimi zależne są od danej sieci zasilającej, wykorzystywanej jako magistrala komunikacji. Istotnym ograniczeniem w stosowaniu tego rodzaju medium transmisji jest niska odporność na zaburzenia zewnętrzne oraz wewnętrzne; np. przyłączone do sieci zasilającej urządzenia elektryczne takie jak: silniki, ściemniacze oświetlenia, zasilacze impulsowe, mogą generować sygnały zaburzające o poziomie amplitudy i wartości częstotliwości, bliskich zastosowanej do transmisji częstotliwości nośnej (szerzej omówiono ten problem w dalszej części niniejszego rozdziału)
- Sieć Ethernet (z wykorzystaniem protokołu TCP/IP) – maksymalna szybkość transmisji determinowana bezpośrednio przez konfigurację i obciążenie sieci teleinformatycznej (od 10 Mbps do 100 Mbps). Podobnie rzecz ma się z maksymalną liczbą urządzeń w linii oraz odległością między nimi.
- Kable światłowodowe
- Łącza transmisji radiowej, technologia podczerwieni oraz ultradźwiękowa.

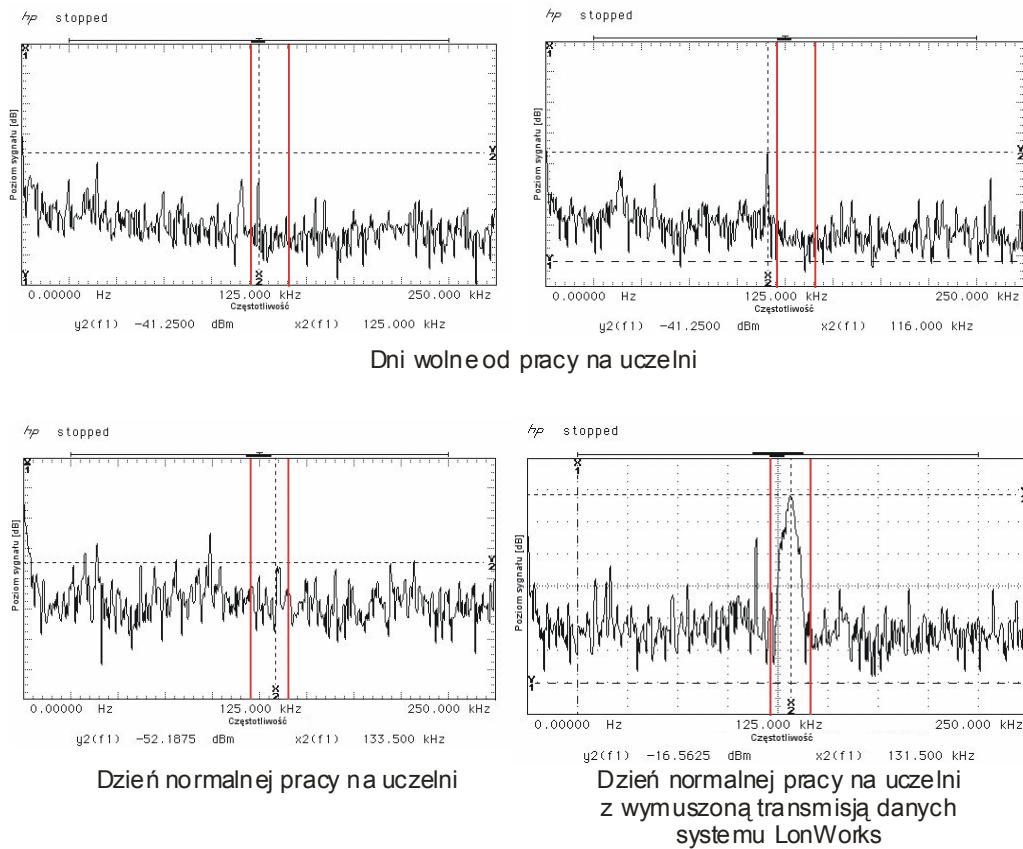
Obecnie w większości realizacji sieci systemu LonWorks jako medium transmisyjne dominuje para skręcona (popularna „skrętka”), zwłaszcza przy krótkich połączeniach (np. pomieszczenie, poszczególne kondygnacje budynku itp.). Przy większych odległościach najczęściej wykorzystuje się istniejącą sieć Ethernet (np. połączenia pomiędzy budynkami, połączenie: obszar sieci – stacja kontrolna, zdalne sterowanie siecią z terminali komputerowych z wykorzystaniem standardowych przeglądarek internetowych). Pozostałe rodzaje mediów spotykane są rzadziej i stosowane w szczególnych przypadkach lub w razie określonej potrzeby lub wymagania użytkownika końcowego.

Autor niniejszej pracy przeprowadził w latach 1999/2000 badania stanu sieci zasilającej 230 V AC, wykorzystanej początkowo jako medium transmisji danych w instalacji pilotażowej

---

<sup>31</sup> Częstotliwość nośna ok. 132 kHz, modulacja typu FM (frequency modulation).

systemu automatyki budynkowej LonWorks, zrealizowanej w budynku Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki krakowskiej AGH [68], [67], [88]. Jako elementy umożliwiające przyłączenie poszczególnych urządzeń sieci sterowania do medium transmisyjnego, wykorzystano transceivery PLT-21 firmy Echelon. Bezpośrednim impulsem do przeprowadzenia analizy stanu sieci zasilania było pojawienie się problemów z komunikacją pomiędzy węzłami sieci oraz przekłamań w transmitowanych ciągach danych, które były na tyle uciążliwe, iż spowodowały ostateczną rezygnację z tego typu medium transmisyjnego i przejście na tradycyjną parę skręconą. Analizę tę wykonano przy użyciu oscyloskopu cyfrowego z funkcją rozkładu widmowego sygnału wejściowego (FFT), pozwalającą na uzyskanie widma częstotliwościowego sygnału z sieci elektroenergetycznej 230 V AC. Wyniki pomiarów, z zaznaczeniem pasma 125 kHz – 140 kHz, wykorzystywanego do transmisji w systemie LonWorks, przedstawiono na rysunku 6.



**Rysunek 6 - Wyniki obserwacji widma częstotliwościowego sieci zasilającej 230 V AC, wykorzystywanej jako medium transmisji danych systemu LonWorks**

Wszystkie pomiary wykonywane były przy jednakowych nastawach oscyloskopu. Na osi pionowej nie zaznaczono wartości poziomu sygnału w dB, gdyż nie była ona podawana na bezpośrednio na ekranie oscyloskopu oraz nie stanowiła istotnej informacji dla jakościowej,

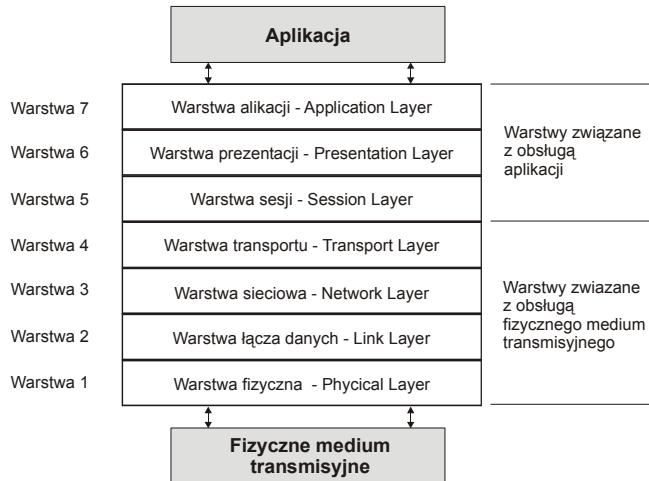
porównawczej oceny charakteru poszczególnych pomiarów. Wstępnie, przed przeprowadzeniem badań, jako prawdopodobną przyczynę błędów transmisji zakładano istnienie w sieci sygnałów zaburzających, występujących powszechnie w sieciach energetycznych, zwłaszcza w budynkach użyteczności publicznej (dołączone do sieci zasilacze impulsowe oraz elementy nieliniowe, a także urządzenia energoelektroniczne – w budynku znajduje się między innymi laboratorium energoelektroniki i układów automatyki napędów elektrycznych). Pomiary, już po pierwszych obserwacjach, potwierdziły te przypuszczenia. Na zarejestrowanych przebiegach z widmem rozkładu częstotliwości sygnału sieciowego, widać wyraźnie iż w pobliżu częstotliwości nośnej transmisji pojawiają się niejednokrotnie „prążki” częstotliwości pasożytniczych. Ich amplituda osiąga niekiedy poziom nawet 75% - 80% amplitudy sygnału częstotliwości użytkowej w paśmie transmisyjnym, co stwarza realne zagrożenie pojawiienia się zakłóceń, a nawet przerw, w prowadzonej na bieżąco przez sieć transmisji danych.

### **2.2.3. Protokół komunikacyjny LonTalk – wymiana danych i zasady adresowania w sieciach standardu LonWorks**

Dla potrzeb systemu LonWorks opracowano specjalny protokół komunikacyjny o nazwie LonTalk, będący integralną częścią oprogramowania firmowego znajdującego się w każdym układzie Neuron-Chip. Protokół ten dostarcza standaryzowany zbiór usług komunikacyjnych, pozwalający programowi aplikacyjnemu węzła, na wysyłanie i odbiór komunikatów od i do innych urządzeń przyłączonych do sieci sterowania, bez konieczności szczegółowej wiedzy o ich nazwach, adresach, realizowanych funkcjach oraz procesie fizycznej transmisji danych przez sieć. Wiedza ta nie jest również konieczna dla programisty tworzącego poszczególne programy aplikacyjne. Opcjonalnie protokół LonTalk może obsługiwać również usługi sprawdzania potwierdzeń przesłania wiadomości, priorytetowej obsługi dostarczenia poszczególnych wiadomości w sieci oraz ograniczenia czasu wymaganego do transmisji wiadomości. Zapisane w protokole usługi dotyczące zarządzania siecią automatyki LonWorks, pozwalają operatorowi oddziaływać na poszczególne urządzenia w sieci, poprzez jej zdalną rekonfigurację, zmianę wybranych parametrów i adresów, załadowanie do pamięci urządzeń nowych programów aplikacyjnych, uruchamianie/zatrzymanie/reset określonych aplikacji oraz monitoring i raportowanie stanu sieci (alarmy, błędy itp.) [19], [42], [43], [94]. Protokół LonTalk opracowany został w oparciu o siedmiowarstwowy model protokołu komunikacyjnego, dedykowany dla otwartych systemów sterownia OSI. Model ten stworzono na początku lat 80. XX wieku w Międzynarodowej Organizacji Standardów ISO i zapisano pod numerem ISO 7498. Jak wspomniano wyżej protokół składa się z siedmiu wydzielonych

## Rozdział 2 – Technologie i systemy automatyki budynku

warstw funkcyjnych, przy czym sam program aplikacyjny urządzenia oraz fizyczne medium transmisyjne, nie stanowią warstw modelu ISO/OSI [16], [18], [19], [38], [42], [43], [45], [94], [100]. Schemat struktury omawianego modelu protokołu przedstawiono na rysunku 7.



**Rysunek 7 - Warstwy modelu ISO/OSI z uwzględnieniem programu aplikacyjnego i medium fizycznego**

Aplikację tego modelu dla protokołu LonTalk i wynikające z tego przypisania konkretne funkcje realizowane przez poszczególne jego warstwy, opisano w tabeli 2.

**Tabela 2 - Warstwy modelu ISO/OSI dla protokołu LonTalk**

Warstwa ISO/OSI	Funkcja warstwy	Usługi/funkcje warstwy	Procesor Neuron-Chip
7 – Aplikacji	Kompatybilność z aplikacją	SNVT – odpowiednie zmienne sieciowe	Procesor 3 – Aplikacji
6 – Prezentacji	Interpretacja danych	Zmienne sieciowe, Komunikaty jawne	Procesor 2 – Sieciowy
5 – Sesji	Kontrola transmisji danych w sieci	Żądanie - Odpowiedź, Autentyczność, Zarządzanie siecią	Procesor 2 – Sieciowy
4 – Transportu	Niezawodność transmisji	Kontrola potwierdzeń, Autentyczność, Kolejność realizacji, Detekcja duplikatów	Procesor 2 – Sieciowy
3 – Sieciowa	Adresowanie	Adresowanie, Routing	Procesor 2 – Sieciowy
2 – Łącza danych	Dostęp do medium	Odkodowanie danych, Formowanie pakietów z danymi do wysłania, Wykrywanie kolizji w sieci – algorytm CSMA/CA, Opcjonalnie – nadawanie priorytetu dla komunikatu	Procesor 1 – kontroli dostępu do medium MAC
1 – Fizyczna	Połączenie elektryczne	Obsługa łącza fizycznego, Algorytmy modulacji sygnału do sieci	Procesor 1 – kontroli dostępu do medium MAC

- Warstwa fizyczna – najbardziej podstawowa warstwa modelu ISO/OSI, odpowiedzialna za transmisję strumienia danych w postaci bitowej przez kanał transmisyjny (medium transmisji). Obsługuje różne typy złączy, sygnalizację oraz współużytkowanie kanału transmisyjnego. Protokół LonTalk funkcjonuje niezależnie od zastosowanego medium transmisyjnego, dlatego też w tej warstwie zawarto wiele różnych zasad konwersji danych do i z postaci bitowej, wykorzystywanych zależnie od wybranego medium transmisji. Pamiętać należy, iż każdy węzeł łączony jest fizycznie z medium komunikacyjnym za pomocą odpowiedniego transceiver'a.
- Warstwa łącza danych – ściśle funkcjonalnie związana z warstwą fizyczną, odpowiada za skuteczny transport informacji w tejże warstwie. Określa zasady dostępu do medium transmisji oraz kodowania i dekodowania danych. W tej warstwie dokonywany jest również proces podziału strumienia danych na mniejsze zbiory<sup>32</sup>, wykrywania błędów transmisji, unikania kolizji pakietów danych w sieci oraz nadawania priorytetu wiadomościom.
- Warstwa sieciowa – zapewnia obsługę programową interfejsu pomiędzy wyższymi warstwami modelu, a warstwą łącza danych i fizyczną. Określa zasady przesyłania pakietu informacji pomiędzy źródłem, a urządzeniami odbiorczymi, definiuje nazwy i adresy konkretnych urządzeń w sieci dla zapewnienia poprawnej transmisji informacji.
- Warstwa transportu – zapewnia niezawodny transport pakietów wiadomości, wymienianych pomiędzy urządzeniami z wykorzystaniem funkcji potwierdzenia odbioru. Urządzenie nadające wiadomość oczekuje potwierdzenia jej odbioru przez określone urządzenie odbiorcze. W przypadku braku potwierdzenia, wysyłanie wiadomości jest ponawiane. W tej warstwie zdefiniowano również zasady wykrywania zduplikowanych wiadomości oraz odrzucania informacji powielanych, ze względu na brak sygnału potwierdzenia odbioru.
- Warstwa sesji – określa dodatkowe zabezpieczenia i procedury kontrolne dla danych obrabianych w niższych warstwach (1 do 4). Funkcje tej warstwy umożliwiają dwóm aplikacjom w sieci porozumiewanie się między sobą w celu realizacji zaawansowanych procedur bezpieczeństwa, rozpoznawania nazw, sprawdzenia autentyczności i autoryzacji źródła informacji przez urządzenia odbiorcze. W warstwie tej zdefiniowano również zasady zdalnej obsługi urządzeń w sieci, poprzez procedury zapytania/odpowiedzi.
- Warstwa prezentacji – w niej następuje procedura ostatecznego dekodowania informacji dostarczonych przez warstwy niższe. W systemie LonWorks wiadomość może być zdekodowana jako: zmienna sieciowa typu SNVT, komunikat jawnym (wiadomość aplikacyj-

---

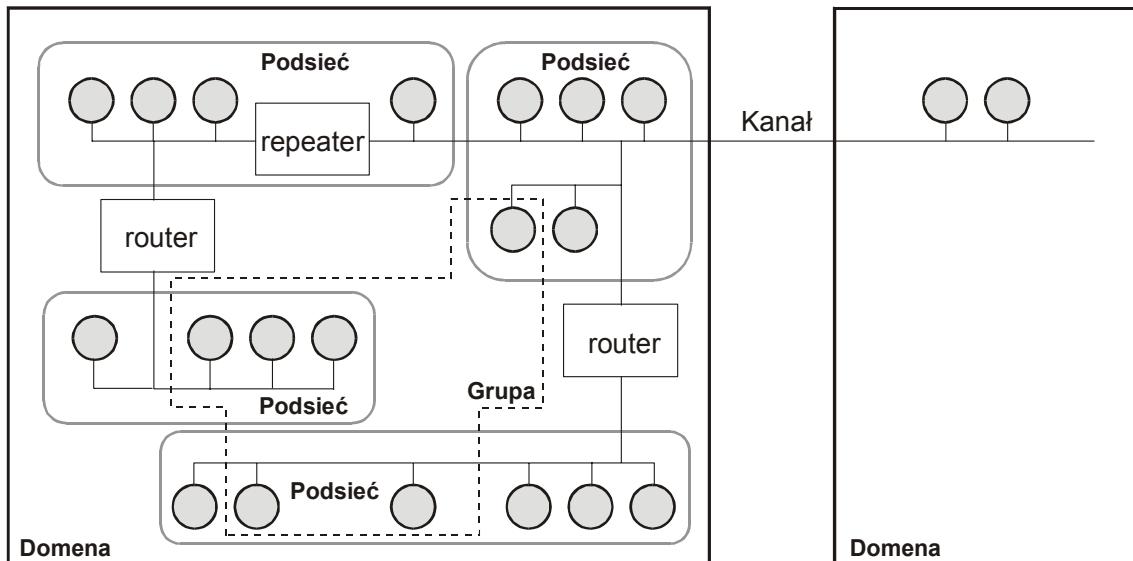
<sup>32</sup> Ang. frame, framing – ramka, ramki, „ramkowanie”.

na) lub tzw. blok (frame) obcy. Warstwa ta, w szczególności w połączeniu z warstwą aplikacji, odpowiedzialna jest za sposób prezentacji danych i wiadomości w interfejsie użytkownika (np. monitor komputera, panel sterujący itp.).

- Warstwa aplikacji – definicje nazw i komend używanych w trakcie programowania. Zawiera interfejs pomiędzy użytkownikiem, a siecią. Standardowe obiekty używane w komunikacji oraz aplikacjach tworzonych w oparciu o język Neuron C, zapewniają wzajemną współpracę i wymianę danych pomiędzy urządzeniami pracującymi w sieci LON. Warstwa ta określa również protokół transmisji plików danych, używany przy transferze strumieni danych pomiędzy poszczególnymi aplikacjami.

Z protokołem komunikacyjnym związane są bezpośrednio przyjęte w standardzie Lonworks zasady adresowania urządzeń oraz funkcje zapewniające bezpieczeństwo transmisji [100].

- Adresowanie – algorytm adresowania określa jak pakiety z danymi będą wysyłane z urządzenia nadawczego do pojedynczego lub kilku urządzeń odbiorczych, pakiety danych mogą być bowiem adresowane do pojedynczego odbiornika, grupy odbiorników bądź też do wszystkich urządzeń w sieci. Dla zapewnienia tak różnorodnych możliwości, protokół LonTalk obsługuje kilka typów adresów, od najprostszego fizycznego, po adresy określające duże grupy urządzeń. Dostępne rodzaje adresów podano poniżej, a schematyczny wygląd sieci LON z oznaczeniem logicznych grup adresowych pokazano na rysunku 8:



Rysunek 8 - Schemat topologii fizycznej i grup adresowania logicznego w sieci LonWorks

- *Adres fizyczny*<sup>33</sup> – każde urządzenie sieci LonWorks posiada unikalny 48 bitowy identyfikator nazywany Neuron ID. Identyfikator ten nadawany jest zwykle w procesie produkcji urządzenia i nie może być zmieniony w czasie jego użytkowania.
- *Adres urządzenia*<sup>34</sup> – adres ten służy do identyfikacji konkretnego urządzenia w sieci i nadawany jest poszczególnym urządzeniom w momencie ich montażu już w określonej, konkretnej sieci sterowania. Używany jest on zamiast adresu fizycznego, ze względu na możliwość formatowania i zmiany tego adresu przez osobę konfigurującą sieć oraz ułatwienie ewentualnej wymiany zepsutego urządzenia. Nadanie własnych adresów urządzeń ułatwia również ich logiczną segregację i uszeregowanie w bazie adresowej urządzeń obsługiwanych przez daną sieć. Adres urządzenia składa się z trzech części: identyfikatora (ID) domeny, identyfikatora podsieci, identyfikatora węzła<sup>35</sup>. ID domeny jest pierwszym składnikiem w hierarchii adresu i określa grupę urządzeń, które mogą ze sobą współpracować. Urządzenia muszą być w tej samej domenie, by móc wymieniać pomiędzy sobą komunikaty, a w jednej domenie może występować aż do 32 385 urządzeń. ID podsieci definiuje grupę do 127 urządzeń, które połączone są w sieci jednym rodzajem kanału (medium) transmisyjnego lub kanałami połączonymi ze sobą za pomocą repeaterów. Ten składnik adresu wspomaga szczegółowo proces routingu pakietów przesyłanych w dużych sieciach sterowania. W pojedynczej domenie może być zawarte do 255 podsieci. ID węzła identyfikuje poszczególne urządzenia znajdujące się w podsieciach.
- *Adres grupowy*<sup>36</sup> – określa logiczne (funkcjonalne) połączenie pomiędzy urządzeniami z domeną. W przeciwieństwie jednak do ID podsieci, urządzenia mogą należeć do grupy bez względu na medium transmisyjne, jakim są przyłączone do sieci. W pojedynczej domenie można określić do 256 grup, a ilość urządzeń w grupie ograniczona jest do 64, przy komunikacji z potwierdzeniem odbioru i nieograniczona w komunikacji bez potwierdzenia.
- *Adres programowy/komunikacyjny*<sup>37</sup> - identyfikuje wszystkie urządzenia należące do grupy lub domeny. Adres tego typu znacznie zwiększa skuteczność komunikacji w dużych sieciach z wieloma urządzeniami i czasem bywa używany zamiast adresów grupowych, w celu ich zaoszczędzenia (ilość adresów grupowych jest ograniczona).

---

<sup>33</sup> Ang. Physical Address.

<sup>34</sup> Ang. Device Address.

<sup>35</sup> Ang. domain ID, subnet ID, node ID.

<sup>36</sup> Ang. Group Address.

<sup>37</sup> Ang. Broadcast Address.

Każdy pakiet danych transmitowany przez sieć LonWorks zawiera adres urządzenia nadawczego oraz odbiorczego, które mogą być zarówno adresami fizycznymi, urządzeń, jak i grupowymi lub programowymi/komunikacyjnymi [19], [46], [94].

- Bezpieczeństwo wymiany danych – za tę część procesu transmisji odpowiedzialne są tzw. usługi wiadomości<sup>38</sup>. Protokół LonTalk dostarcza trzy podstawowe usługi dla bezpieczeństwa transmisji oraz dodatkowo procedurę kontroli autentyczności [62], [94].
  - *Transmisja wiadomości z potwierdzeniem*<sup>39</sup> – urządzenie nadawcze wysyła wiadomość do pojedynczego urządzenia lub grupy urządzeń (1 grupa – do 64 urządzeń) i oczekuje indywidualnych sygnałów potwierdzenia odbioru wiadomości od każdego z odbiorników. Jeżeli nie ma sygnału potwierdzenia od wszystkich urządzeń, nadajnik oczekuje pewien czas i ponawia transmisję. Czas oczekiwania przez nadajnik na potwierdzenia oraz ilość prób powtórnej transmisji, są parametrami konfigurowalnymi. Sygnały potwierdzeń generowane są przez procesor w odbiorniku bez żadnej ingerencji w program aplikacyjny realizowany w węźle.
  - *Transmisja powtarzana*<sup>40</sup> – wiadomość wysyłana jest przez nadajnik do określonych urządzeń kilkakrotnie, bez oczekiwania na sygnały potwierdzenia odbioru. Ten rodzaj zabezpieczenia transmisji wykorzystywany jest często zamiast transmisji z potwierdzeniem, szczególnie w dużych sieciach sterowania, gdzie wiadomość może być adresowana do znacznej liczby urządzeń. Przy zastosowaniu w takim przypadku transmisji z potwierdzeniem, otrzymanie wiadomości przez odbiorniki mogłoby doprowadzić do jednoczesnej generacji przez nie sygnałów potwierdzeń i znacznego przeciążenia w sieci.
  - *Transmisja wiadomości bez potwierdzenia*<sup>41</sup> – wiadomość wysyłana jest przez nadajnik tylko jeden raz, bez oczekiwania na sygnał potwierdzenia odbioru. Ten rodzaj transmisji stosuje się, gdy w sieci wymagany jest wysoki współczynnik przepustowości lub gdy transmitowane komunikaty zawierają znaczną ilość danych. Pamiętać jednak należy o możliwości utraty lub przekłamania wiadomości transmitowanych w ten sposób, dlatego też ten rodzaj transmisji stosuje się tylko w aplikacjach nie czujących na straty pojedynczych komunikatów.

---

<sup>38</sup> Ang. Message Services.

<sup>39</sup> Ang. Acknowledged Massaging.

<sup>40</sup> Ang. Repeated Messaging.

<sup>41</sup> Ang. Unacknowledged Massaging.

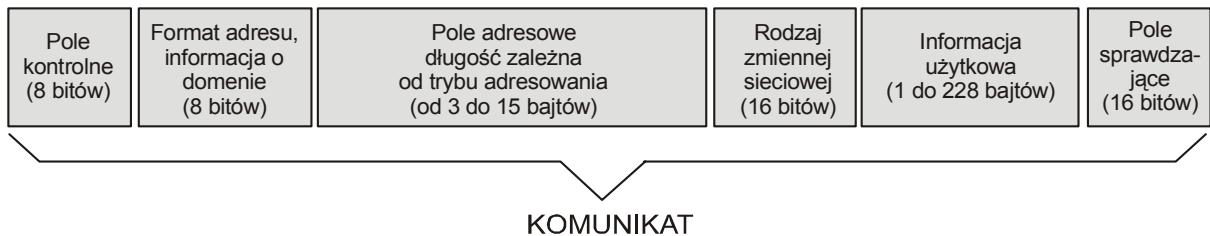
- *Kontrola autentyczności*<sup>42</sup> – procedura ta zapewnia maksymalne bezpieczeństwo komunikacji w sieci sterowania. Odbiornik ma możliwość sprawdzenia „tożsamości” urządzenia nadawczego i tym samym ustalenia czy posiada ono autoryzację dostępu do sieci. Kluczem identyfikującym jest 48 bitowy numer, jednakowy dla nadajnika i odbiornika, implementowany tym urządzeniom w procesie instalacji w sieci. Odbiornik w momencie otrzymania autoryzowanej wiadomości wysyła do nadajnika losowo wybraną liczbę z żądaniem przeprowadzania procedury autentyczności. Nadajnik używa klucza identyfikującego, danych z wysłanej wiadomości oraz liczby otrzymanej z urządzenia odbiorczego i realizuje algorytm procedury autentyczności. Wynik końcowy wysyłany jest do odbiornika, który porównuje go z wynikiem własnej procedury autentyczności i gdy są one zgodne, wiadomość zostaje zrealizowana.

Bezpieczeństwo transmisji danych w magistrali komunikacyjnej gwarantuje również realizowany w warstwie drugiej modelu ISO/OSI algorytm dostępu do medium oraz unikania kolizji – MAC i CSMA/CA. MAC (ang. Media Access Control) to standardowy algorytm implementowany w warstwie modelu ISO/OSI obsługujący transmisję pakietów danych w oparciu o adresy fizyczne węzłów sieci. CSMA/CA to algorytm unikania kolizji w sieci transmisyjnej w przypadku próby wysłania danych przez co najmniej dwa urządzenia sieciowe jednocześnie. Każde z równouprawnionych urządzeń „nasłuchuje” sieć i w przypadku stwierdzenia iż nie ma w niej aktualnie żadnej transmisji, możliwe jest wysłanie danych z urządzenia. Jeżeli zaś magistrala komunikacyjna jest zajęta węzeł oczekuje pewien okres czasu (ang. backoff factor) i ponawia próbę transmisji, aż do skutku [38], [101]. Algorytm ten zapobiega utratom danych w wyniku ich nakładania się oraz odciąża magistralę komunikacyjną. W przypadku wystąpienia kolizji transmisja zostanie zawsze zakończona sukcesem dla jednego z komunikujących się partnerów. Unika się w ten sposób nadmiernej retransmisji pakietów danych.

Jak już wspomniano wymiana informacji między urządzeniami sieciowymi w standardzie LonWorks odbywa się poprzez wymianę tzw. komunikatów, zawierających w swej strukturze przede wszystkim dane niosące informację, adresy urządzenia nadawczego i odbiorczego oraz tzw. pola kontrolne wykorzystywane w procedurach kontroli poprawności komunikacji. Schematyczna struktura ramowa komunikatu używanego w systemie LonWorks przedstawiona została na rysunku 9.

---

<sup>42</sup> Ang. Authenticated Service.



**Rysunek 9 – Budowa komunikatu standardu LonWorks**

Pole informacji użytkowej (dane) może mieć różną długość słowa, zależnie od wykorzystanego w komunikacie typu standardowej zmiennej sieciowej [18].

#### 2.2.4. Budowa, konfiguracja i zarządzanie sieci LON – narzędzia

Do stworzenia poprawnie funkcjonującej sieci automatyki w systemie LonWorks niezbędne jest właściwe zaprogramowanie poszczególnych węzłów sieci, czyli stworzenie dla nich aplikacji w języku Neuron C, które umieszczane są w pamięci EEPROM urządzeń, a następnie ich fizyczne i logiczne (funkcjonalne) połączenie. Do każdej z tych czynności niezbędne są odpowiednie narzędzia, zarówno sprzętowe jak i programowe. Technologia LonWorks jest kompletną platformą sprzętowo-programową, zapewniającą wszystkie niezbędne elementy do tworzenia i sprawdzenia prawidłowości działania aplikacji dla urządzeń sieciowych oraz do łączenia, konfiguracji, zarządzania i analizy komunikacji sieci sterowania [19], [22], [94].

Podstawowymi narzędziami wykorzystywanyimi w tym celu są aplikacje:

- NodeBuilder Development Tool, LonBuilder Developer's Workbench - tworzenie i testowanie aplikacji dla węzłów sieci.

NodeBuilder umożliwia tworzenie aplikacji dla pojedynczych węzłów sieci LonWorks oraz ich wstępne przetestowanie; często bywa stosowany na stanowiskach szkoleniowych dla programistów aplikacji języka Neuron C. Zawiera on również dodatkowo zintegrowany edytor aplikacji Neuron, z rozszerzeniem instrukcji do komunikacji sieciowej oraz zaawansowanych funkcjonalnie urządzeń sieciowych. Program testujący (debugger) pakietu pozwala na szybkie sprawdzenie prawidłowości zapisu tworzonej aplikacji, a dołączona przeglądarka zmiennych sieciowych (browser), pozwala na monitorowanie oraz ustawianie wartości dowolnych zmiennych sieciowych w aplikacji.

LonBuilder to zaawansowane środowisko programowe, które współpracując z komputerem klasy PC, pozwala na kompletne stworzenie i przetestowanie aplikacji dla węzłów sieci oraz instalację i zarządzanie całą siecią systemu LonWorks. Część sprzętową pakietu

LonBuilder stanowi: Interface Adapter – do komunikacji między stacją bazową, a komputerem; Control Procesor – element konieczny każdej stacji bazowej, zawierający obsługę zarządzania siecią i analizy protokołu – zapewnia prawidłową komunikację między stacją bazową, a przyłączonymi procesorami Neuron Chip; Neuron Emulator – układ symulujący pracę układu Neuron Chip, wraz z układami I/O oraz odpowiednimi obszarami pamięci; LonBuilder Router – urządzenie umożliwiające połączenie pomiędzy dwoma kanałami komunikacyjnymi (dwa rodzaje mediów komunikacyjnych). Część programowa środowiska LonBuilder to kilka aplikacji, połączonych dla wzajemnej współpracy przez tzw. zintegrowane środowisko<sup>43</sup>, czyli wspólną platformę dla wszystkich narzędzi programowych.

- LonMaker for Windows Integration Tool, LNS DDE Server – konfiguracja, zarządzanie i monitoring sieci automatyki w standardzie LonWorks.

LonMaker to pakiet oprogramowania umożliwiający zaprojektowanie całej sieci sterowania w systemie LonWorks, a więc rozmieszczenie oraz logiczne połączenie wszystkich węzłów tworzących daną sieć oraz późniejsze jej zarządzanie i kontrolę stanu [23]. Pakiet ten został wykorzystany na stanowisku laboratoryjnym w ramach niniejszej pracy doktorskiej, dlatego też omówiono go szerzej w rozdziale poświęconym opisowi stanowisk badawczych (rozdział 3.1.2).

LNS DDE Server Application wykorzystywany jest do monitoringu i kontroli stanu sieci LonWorks, uprzednio poprawnie skonfigurowanej i uruchomionej. Aplikacja ta umożliwia między innymi [19], [94]:

- Odczyt oraz zmianę wartości dowolnej zmiennej sieciowej
- Monitoring i zmianę ustawień konfiguracyjnych
- Odbiór i wysyłanie komunikatów od/do aplikacji w węzłach
- Testowanie oraz blokowanie i odblokowywanie obiektów w sieci
- Testowanie i sterowanie urządzeniami w sieci

LNS to otwarty system operacyjny do zarządzania sieciami LON, bazujący na architekturze typu klient-serwer, dzięki czemu umożliwia wielu zarządców czy operatorom sieci sterowania dostęp i wprowadzanie zmian w bazie danych, zawierającej informacje o stanie pracy sieci LON. Oprogramowanie LNS DDE Server współpracuje z wieloma popularnymi środowiskami programowymi do nadzoru i kontroli sieci sterowania (np. Wonderware's InTouch, National Instruments' LabView, Microsoft Visual Basic, Microsoft Excel), co umożliwia pobieranie danych pomiarowych z sieci LonWorks (przetwarzanych

---

<sup>43</sup> Ang. Integrated Development Environment – IDE.

z wybranych zmiennych sieciowych) i gromadzenie ich np. w arkuszach programu Excel oraz dalszą obróbkę (np. obliczanie parametrów statystycznych, generowanie wykresów zmienności danego parametru itp.). Możliwa jest również współpraca pakietu z opracowanymi wcześniej graficznymi interfejsami użytkownika<sup>44</sup>, ułatwiającymi obsługę zwłaszcza rozbudowanych sieci sterowania [24], [94].

### **2.2.5. Technologia LonWorks w dobie Internetu i zaawansowanych technologii**

Dynamiczny rozwój technik informatycznych oraz zaawansowanych technologii cyfrowych implikuje konieczność ciągłych zmian i udoskonalania systemów sterowania oraz przesyłu informacji. We wszystkich współczesnych budynkach użyteczności publicznej budowane są sieci wewnętrzne, łączące serwery, komputery oraz inne urządzenia teleinformatyczne. Najczęściej sieci te łączone są również z globalną siecią komputerową – Internet, w której stosuje się protokół komunikacyjny TCP/IP. W związku z tym pod koniec ubiegłego wieku zrodziła się idea wykorzystania sieci informatycznych jako medium transmisyjnego dla systemów automatyki budynkowej. Takie rozwiązanie pozwala na oszczędność materiałów oraz umożliwia, przy odpowiednim zaprogramowaniu urządzeń łączonych w sieć, zdальną kontrolę i nadzór nad systemem sterowania z dowolnego miejsca w budynku oraz poza nim. Cały system staje się dzięki temu bardziej elastyczny oraz pozwala na jeszcze ścislejszą integrację wielu podsystemów funkcjonujących w budynku. Wymiana informacji może następować bezpośrednio pomiędzy urządzeniami pomiarowymi, HVAC, sterowania oświetleniem, monitoringu stanu bezpieczeństwa osób w budynku itp. [13], [94]. Firma Echelon oferuje obecnie kilka urządzeń wykorzystywanych do komunikacji w sieciach LAN i Ethernet. Urządzenie o nazwie iLON 1000 Internet Server to nic innego jak router protokołu LonTalk i IP, umożliwiający wykorzystanie dowolnej sieci informatycznej IP jako kanału transmisji komunikatów systemu LonWorks. iLON 1000 zawiera w sobie serwer sieciowy na którym mogą być umieszczone strony WWW użytkownika, pozwalające na monitoring i kontrolę zmiennych sieciowych systemu LonWorks za pomocą standardowej przeglądarki internetowej. Dodatkowo, dzięki wbudowanym zabezpieczeniom (hasło), kontrola ta możliwa jest z dowolnego miejsca w sieci Internet. W ten sposób można również sterować siecią automatyki, zmieniać wybrane parametry itp. [26].

Podobne urządzenie to iLON 100 Internet Server o nieco zredukowanych w stosunku do iLON 1000 możliwościach dostępu do zmiennych sieciowych (np. brak możliwości tworzenia własnych stron WWW – można korzystać tylko z wbudowanych). Urządzenie jest tańsze od

---

<sup>44</sup> Ang. HMI – human machine interface.

poprzedniego i dlatego też przeznaczone dla mniej wymagających odbiorców, wykorzystujących np. niewielkie sieci informatyczne do połączenia elementów systemu LonWorks [26]. Najprostszym urządzeniem wykorzystującym protokół IP do komunikacji z siecią LonWorks jest iLON 10. Moduł ten opisano szczegółowo w dalszej części pracy, dotyczącej budowy stanowiska laboratoryjnego systemu LonWorks (rozdział 3.1.1), stanowi on bowiem jego integralną część. W ofercie firmy Echelon jest również pakiet programowy umożliwiający tworzenie aplikacji monitoringu sieci sterowania (aplikacja LNS), w oparciu o standard Java. Pakiet pozwala na szybkie tworzenie aplikacji komunikujących się bezpośrednio z serwerem LNS zbierającym informacje i komunikaty z całej sieci LON [24], [94].

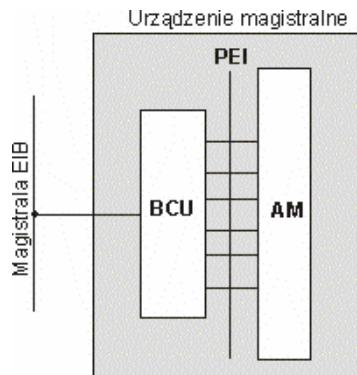
### **2.3. Technologia EIB/KNX**

Standard EIB/KNX opracowany został na początku lat 90. XX wieku przez Stowarzyszenie EIBA, zawiązane przez wiodących producentów europejskich z branży instalacji elektrycznych i automatyki. Obecnie Stowarzyszenie to zrzesza ponad 100 firm dostarczających produkty zgodne ze standardem EIB/KNX, co decyduje o tym iż jest to najpopularniejszy system automatyki budynkowej w Europie. Jednocześnie na przełomie lat 2003/2004 nastąpiły pewne przekształcenia strukturalne w samym Stowarzyszeniu, noszącym obecnie nazwę KONNEX, zaś przy nazwie standardu EIB/KNX pojawił się skrót KNX. Główne założenia twórców tego standardu były podobne jak przy opracowywaniu systemu LonWorks. System EIB/KNX to zdecentralizowany system elektroinstalacyjny służący do załączania, sterowania, sygnalizacji stanu, regulacji i nadzoru urządzeń elektrycznych i elektrotechnicznych, a pośrednio również innych elementów technicznego wyposażenia budynków i ich otoczenia. Każde urządzenie w sieci automatyki, zwane elementem magistralnym, posiada własny układ odpowiadający za wymianę informacji pomiędzy nim, a magistralą systemową. Opracowany standard i protokół transmisji danych, pozwalają na niezależną pracę urządzeń połączonych w sieć sterowania oraz na wymianę informacji pomiędzy nimi. Ta wymiana realizowana jest za pomocą elektronicznych telegramów (ciągów danych). Projektant instalacji oraz jej końcowy użytkownik ma możliwość wyboru urządzeń oferowanych przez różne firmy, pod warunkiem iż pracują one w przyjętym standardzie EIB/KNX [68], [78], [90], [102]. Wymienione elementy standardu EIB/KNX, zostały szczegółowo omówione w poniższych podrozdziałach.

### 2.3.1. Podstawowe elementy i budowa sieci w standardzie EIB/KNX

Jak już wspomniano podstawowymi elementami tworzącymi sieć w systemie EIB/KNX są tzw. urządzenia magistralne<sup>45</sup> które, podobnie jak węzły sieci w systemie LonWorks, mogą pełnić funkcje czujnika (sensor), wyrobnika (aktor) jak i elementu sterującego lub logicznego (realizacja funkcji logicznych). Oprócz urządzeń magistralnych w sieciach systemu EIB/KNX występują również elementy systemowe i funkcyjne. Elementy systemowe są niezbędne do realizacji wewnętrznych połączeń logicznych i fizycznych pomiędzy liniami i obszarami sieci, do prawidłowego jej funkcjonowania oraz np. do selekcji telegramów przesyłanych przez magistralę. Są to zasilacze, złącza liniowe i obszarowe, szyny danych, złączki modułowe. Elementy funkcyjne pozwalają na realizację dodatkowych funkcji automatyki. Tego typu urządzenie to np.: moduł czasowy realizujący takie funkcje jak opóźnienie załączania lub wyłączenia, automat schodowy itp. [63].

Każde urządzenie magistralne składa się z trzech podstawowych członów: modułu łączeniowego BCU<sup>46</sup>, modułu aplikacji AM<sup>47</sup> oraz programu aplikacyjnego AP<sup>48</sup>. Dwa pierwsze człony to elementy hardware'owe, ostatni to software dla danego urządzenia. Schemat urządzenia magistralnego pokazano na rysunku 10.



*Rysunek 10 – Schemat budowy elementu magistralnego*

BCU to moduł łączeniowy, który może stanowić integralną część urządzenia magistralnego (kompaktowa, wspólna obudowa dla modułu BCU i AM) lub też może występować oddzielnie – wtedy bywa on nazywany modułem dostępowym BAC<sup>49</sup> i łączony jest z modułem aplikacyjnym poprzez odpowiedni interfejs zewnętrzny PEI<sup>50</sup> (najczęściej złącze 10-cio pinowe). Sercem modułu BCU jest mikrokontroler. BCU odpowiada za dekodowanie przesyłanych

<sup>45</sup> Ang. Bus device.

<sup>46</sup> Ang. Bus Coupling Unit.

<sup>47</sup> Ang. Application Module.

<sup>48</sup> Ang. Application Program.

<sup>49</sup> Ang. Bus Access Unit.

<sup>50</sup> Ang. Physical External Interface.

magistralą telegramów na odpowiednie sygnały sterujące modułem aplikacji, gdy urządzenie magistralne jest wyrobnikiem, lub zakodowanie i wygenerowanie odpowiednich telegramów do sieci sterowania na podstawie sygnałów odbieranych z modułu aplikacji, gdy urządzenie jest czujnikiem [27], [53], [83], [85]. Każdy moduł BCU zawiera:

- Transceiver – którego typ zależny jest od stosowanego medium transmisji danych. Umożliwia on bezpośrednie połączenie modułu BCU do magistrali EIB/KNX.
- Jednostkę kontrolną BCC<sup>51</sup> (mikrokontroler) – złożoną z mikroprocesora, przetwornika A/C oraz kilku rodzajów pamięci. Pamięć ROM zawiera informacje producenta i ustawienia producenta, pamięć EEPROM pozwala na zapisanie programów aplikacyjnych dla określonego urządzenia, zaś pamięć RAM przechowuje bieżące wyniki obliczeń procesora. W skład jednostki kontrolnej wchodzą również: układ taktujący, interfejs szeregowy, układy I/O. Obecnie w urządzeniach EIB/KNX stosowane są trzy układy mikrokontrolerów firmy Motorola, różniące się budową wewnętrzną oraz interfejsem [27], [77]:
  - *Mikrokontroler Motorola 68HC05B6* – interfejs BIM<sup>52</sup> M 111 wyposażony w przycisk programowy i informacyjną diodę LED. Jest to tzw. standardowy BCU, często oznaczany w literaturze i specyfikacjach technicznych jako BCU 1.
  - *Mikrokontroler Motorola 68HC05BE12* – interfejs BIM M 113 nazywany BCU 2, bazuje na interfejsie BCU 1 (to samo jądro), jest jednak dedykowany specjalnie dla instalacji EIB/KNX (stąd oznaczenie „E” w nazwie mikrokontrolera) oraz ma zwiększone obszary pamięci ROM, RAM, EEPROM („12” w nazwie – 12kbajtów pamięci ROM). Ten typ mikrokontrolera obsługuje wszystkie aplikacje programowe zgodne z interfejsem BCU 1 oraz dodatkowo komunikację poprzez tzw. obiekty EIB/KNX<sup>53</sup>.
  - *Mikrokontroler Motorola 68HC11E9* – interfejs BIM M 112 to moduł znacznie różniący się od interfejsów BCU 1 i BCU 2, a właściwie stanowiący specjalizowany układ sterujący EIB/KNX. W tym mikrokontrolerze mogą być implementowane zaawansowane zadania sterowania i kontroli, podobnie jak w sterownikach programowalnych, dlatego też znajduje on zastosowanie np. w aplikacjach symulacji obecności, funkcjach logicznych i czasowych itp.
- Moduł aplikacji AM to konkretne dedykowane urządzenie elektryczne umożliwiające fizyczną realizację zadań określonych w programie aplikacyjnym AP umieszczonym bądź

---

<sup>51</sup> Ang. Bus Coupling Controller.

<sup>52</sup> Ang. Bus Interface Module.

<sup>53</sup> Obiekty EIB/KNX zostały opisane szczegółowo w dalszej części pracy.

w pamięci EEPROM modułu BCU, bądź też w pamięci modułu aplikacyjnego (dla aplikacji zaawansowanych, które wymagają np. stosowania własnych procesorów) [27], [77]. Zależnie od zastosowanej jednostki centralnej (procesora) w module łączniowym BCU oraz oferowanych przez producenta procesora narzędzi programowych (asembler, kompilator, emulator itp.), programy aplikacyjne mogą być tworzone w dowolnym języku programowania. Ze względu na znaczną popularność języka ANSI C, stowarzyszenie KONNEX oferuje dla producentów urządzeń zintegrowane środowisko projektowe, dedykowane dla standardu EIB/KNX, umożliwiające tworzenie aplikacji w tymże języku oraz testowanie ich prawidłowej pracy [85]. W celu standaryzacji komunikacji pomiędzy różnymi urządzeniami sieci w systemie EIB/KNX wprowadzono tzw. standardy EIS oraz określone typy zmiennych EIB/KNX i obiekty komunikacyjne.

Standardy EIS to piętnaście zdefiniowanych specjalizowanych obiektów, stanowiących podstawę jednolitego sposobu przekazywania informacji oraz kompatybilności pomiędzy urządzeniami pochodząymi od różnych producentów. EIS definiują jednoznacznie format danych dla różnych funkcji realizowanych przez urządzenia sieciowe i obejmują wszystkie rodzaje funkcji wykorzystywanych w sterowaniu budynkami [28], [77], [92]:

- EIS 1 – przełączanie, wykorzystywane również w operacjach logicznych; 1 bit
- EIS 2 – ściemnianie, zawiera trzy podfunkcje: przełączanie (włącz/wyłącz) – 1 bit, bezpośrednie zadawanie poziomu jasności światła – 1 bajt, oraz zadawanie poziomu jasności z uwzględnieniem aktualnego, wcześniej ustawionego poziomu – 4 bity;
- EIS 3 – czas; 3 bajty, przekazywanie czasu (dzień, godziny, minuty, sekundy)
- EIS 4 – data; 3 bajty, przekazywanie informacji o dacie (dzień, miesiąc, rok)
- EIS 5 – wartość; 2 bajty, wartości mierzone: np. temperatura, natężenie światła
- EIS 6 – wartości względne<sup>54</sup>; 1 bajt, np. 0=0%, min: 1=0,4%, max: 255=100%
- EIS 7 – sterowanie napędem (np. żaluzje); 1 bit, zawiera dwie podfunkcje: ruch i krok
- EIS 8 – priorytet; 1 lub 2 bity, dotyczy poleceń przymusowego zadziałania z wymuszeniem priorytetu wykonania
- EIS 9 – wartości zmiennoprzecinkowe; 4 bajty, przekazywanie wyników pomiarów przekraczających zakres w standardzie EIS 5
- EIS 10 – licznik; 16 bitów, zakres: 0 do 65535 lub -32768 do +32767
- EIS 11 – licznik; 32 bity; zakres: 0 do 4294967295 lub od -2147483648 do +2147483647

---

<sup>54</sup> Ang. Relative values.

- EIS 12 – kontrola dostępu; 4 bajty, sterowanie załączaniem i wyłączaniem systemów z kontrolą dostępu, współpraca z programami wizualizacji, sterowanie dostępem
- EIS 13 – znak ASCII; 1 bajt, transmisja znaków ASCII (7 segmentowe)
- EIS 14 – wartość wyliczana; 8 bitów, transmisja wartości wyliczanych bez znaku (0 do 255) lub ze znakiem (-128 do 127)
- EIS 15 – ciąg znaków; 14 bajtów, transmisja maksymalnie 14 znaków ASCII

Standardy EIS ujednolicają przekazywanie informacji tego samego typu, np. ściemnianie lub pomiar temperatury. Nie obejmują one jednak parametrów działania poszczególnych urządzeń. Parametry te są wewnętrzna sprawą producenta i nie podlegają standaryzacji EIS.

Rolę programowego interfejsu pomiędzy warstwami związanymi z fizyczną obróbką danych do komunikacji z magistralą, a konkretną aplikacją w urządzeniu, pełnią tzw. obiekty komunikacyjne oraz obiekty EIB/KNX. Do przekazywania i ustawiania wartości nastaw i parametrów wykorzystuje się typy zmiennych EIB/KNX oraz parametry dodatkowe.

Obiekty komunikacyjne to specjalne, określone obszary pamięci RAM i EEPROM w modułach łączeniowych każdego urządzenia magistralnego, w których zapisywane są adresy grupowe<sup>55</sup>. Adresy te są logicznymi połączeniami pomiędzy elementami sieci sterowania i umożliwiają komunikację obiektu z magistralą. Obiekty komunikacyjne stanowią integralną część standardów EIS (np. dla EIS 10 obiekt komunikacyjny ma długość 16 bitów). W każdym obiekcie komunikacyjnym oprócz adresu grupowego zapisany jest typ obiektu, priorytet z jakim nadawany będzie telegram oraz zbiór tzw. flag (znaczników stanu – bieżącego statusu obiektu). Flagi decydują o tym czy dany obiekt może komunikować się z siecią, czy jego stan może być odczytany przez inne obiekty, czy reaguje on na zmiany stanu obiektu itp. Znaczenie i symbole flag podano w tabeli 3 [77], [92].

**Tabela 3 - Flagi w obiektach komunikacyjnych systemu EIB**

Flaga	Symbol (oznaczenie)		Znaczenie
	Niemieckie	Angielskie	
Komunikacja	K	C	Obiekt ma połączenie z magistralą EIB
Odczyt	L	R	Möglichy jest odczyt stanu obiektu z magistrali (np. wizualizacja)
Zapis	S	W	Möglicha jest zmiana stanu obiektu przez telegram z magistrali (np. ustawienie nowego stanu w wyrobniku)
Transmisja (zmiana)	Ü	T	Zapewnia wysłanie telegramu do sieci po zmianie stanu obiektu (istotne w czujnikach – ruch, przyciski itp.)
Aktualizacja	A	U	Zapewnia zmianę stanu obiektu po otrzymaniu telegramu z sieci

<sup>55</sup> Stosowane w systemie EIB/KNX sposoby adresowania i komunikacji pomiędzy urządzeniami magistralowymi omówiono szczegółowo w podrozdziale nr 2.3.3 dotyczącym protokołu komunikacyjnego systemu EIB/KNX.

Dla przykładu: wszystkie czujniki powinny mieć wpisane flagi K i Ü, zaś wszystkie wyrobniki flagi K i S. Obiekty posiadające funkcje czujnika i wyrobnika wymagają ustawienia flag K, Ü i S. Należy zauważyć również, że obiekty komunikacyjne elementów czujnikowych mogą nadawać telegramy tylko z jednym adresem grupowym, zaś obiekty związane z wyrobnikami mogą zawierać kilka adresów grupowych (np. reakcja na telegramy od kilku czujników).

Zmienne EIB/KNX z kolei przypisują określone standardowe symbole konkretnym wielkościom (dynam) niosącym informacje o temperaturze, położeniu przełącznika itp. tym samym jednoznacznie definiując format, zasady kodowania, jednostki i zakres wartości tych wielkości. Zmienne EIB/KNX, podobnie jak zmienne sieciowe LonWorks stanowią niejako logiczne wejścia i wyjścia aplikacji przypisanych urządzeniom magistralowym. Każda zmienna EIB/KNX jest oznaczana za pomocą dwóch 16 bitowych numerów. Przykładowe definicje zmiennych EIB/KNX przedstawiono poniżej w tabeli 4:

**Tabela 4 - Definicje zmiennych EIB/KNX (przykłady)**

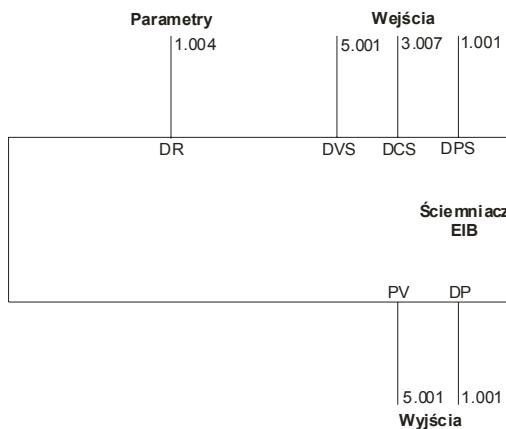
Kod	Symbol	Wartość 0	Wartość 1
1.006	EVT_BinaryValue	Stan niski	Stan wysoki
1.007	EVT_Step	Zmniejszenie	Zwiększenie
1.009	EVT_Direction2	Otwarty	Zamknięty

Parametry dodatkowe niezbędne są wówczas, gdy niektóre z aplikacji urządzeń magistralnych wymagają ustawiania w czasie programowania określonych parametrów pracy (np. czas opóźniania, ramp – współczynnik decydujący o kształcie charakterystyki ściemniacza itp.). Wartości tych dodatkowych parametrów są również przesyłane za pomocą zmiennych EIB/KNX, wyróżnia się je jednak jako osobną grupę wartości fizycznych.

Jak już wspomniano wcześniej w niektórych najnowszych urządzeniach systemu EIB/KNX, stosuje się moduły łączeniowe BCU2, posiadające szereg nowych możliwości. Między innymi umożliwiają one komunikację urządzeń za pośrednictwem tzw. obiektów EIB/KNX. Obiekty EIB/KNX są elementami komunikacji bezpośredniej (wykorzystują adresy fizyczne urządzeń), stanowiącymi pewne zorganizowane struktury danych, przyporządkowanych określonym funkcjom urządzenia. Każdy obiekt EIB/KNX zawiera pewne informacje, parametry lub wartości, niezbędne do komunikacji urządzenia z magistralą systemową. Na przykład kilka lub wszystkie parametry aplikacji mogą być przechowywane w specjalnym obszarze pamięci EEPROM i odczytywane lub zmieniane przez sieć EIB/KNX za pomocą protokołu komunikacyjnego obiektów EIB/KNX. Oznacza to, że jeżeli w czasie pracy systemu nastąpi zmiana parametrów aplikacji, nie wymaga to ładowania do pamięci urządzenia całej aplikacji. Każdy obiekt EIB/KNX może być zapisywany, odczytywany lub testowany. Obiekty te rzad-

ko wykorzystywane są do komunikacji pomiędzy czujnikami i wyrobnikami, zaś najczęściej do komunikacji tychże urządzeń z obiektami zbierania danych, kontroli stanu sieci oraz urządzeniami wizualizacyjnymi [32], [77].

Graficzną reprezentacją aplikacji realizowanej przez urządzenia magistralne są, podobnie jak w opisywanym już systemie LonWorks, bloki funkcyjne wraz z tabelą właściwości opisującą elementy bloku funkcyjnego. Blok funkcyjny w połączeniu z tabelą własności stanowi kompletny opis interfejsu logicznego danego urządzenia magistralnego. Poniżej na rysunku 11 i w tabeli 5 przedstawiono przykład bloku funkcyjnego systemu EIB/KNX dla wyrobnika ściemniającego (ściemniacz oświetlenia).



*Rysunek 11 - Blok funkcyjny dla wyrobnika ściemniającego EIB*

Właściwości bloku funkcyjnego posiadają własne numery identyfikacyjne ID, nazwy oraz określenie, czy dana własność jest konieczna czy opcjonalna dla danej aplikacji.

*Tabela 5 - Właściwości bloku funkcyjnego dla wyrobnika ściemniającego EIB*

ID	Nazwa	Skrót	Opis	Typ zmiennej	Opcje
1	PID_OBJECT_TYPE	OT	Object Type Value=54	EIB_PropDataType	Konieczny
<b>WEJŚCIA</b>					
51	PID_DIMMER_POSITION_SET	DPS	Włączony/ Wyłączony	1.001	Konieczny
52	PID_DIMMER_CONTROL_SET	DCS	Zwiększa/Zmniejsza Wartość	3.007	Konieczny
53	PID_DIMMER_VALUE_SET	DVS	Ustaw wartość bezpośrednio	5.001	Konieczny
<b>WYJŚCIA</b>					
54	PID_DIMMER_POSITION	DP	Status ściemniacza	1.001	Konieczny
55	PID_DIMMER_VALUE	DV	Aktualna wartość	5.001	Opcja
<b>PARAMETRY</b>					
56	PID_DIMMER_RAMP	DR	Typ przejścia (charakterystyka)	1.004	Opcja

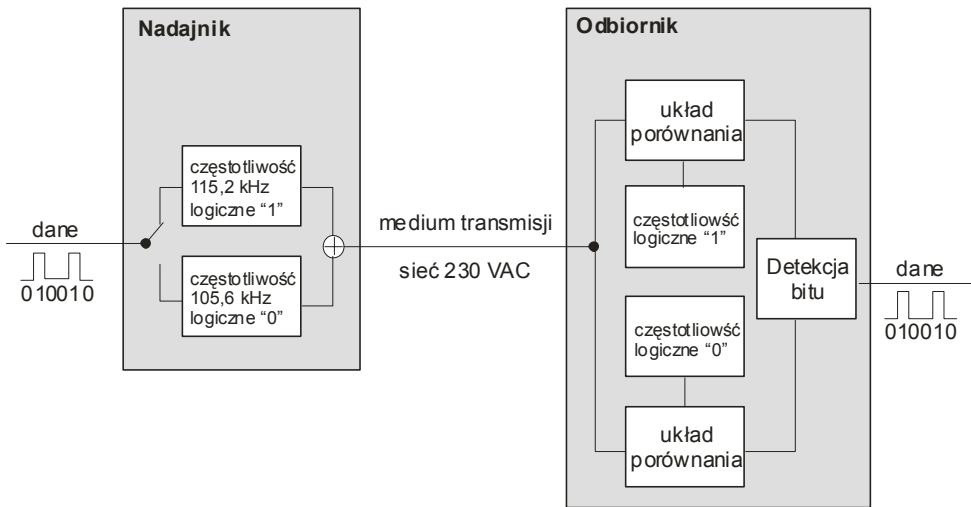
### 2.3.2. Media transmisyjne systemu EIB/KNX

Do fizycznego przesyłania informacji w sieciach EIB/KNX można wykorzystać różne media transmisyjne. Ich odpowiedni dobór w trakcie projektowania instalacji ma istotne znaczenie, wiąże się bowiem bezpośrednio z takimi parametrami sieci jak: szybkość transmisji, podatność na zaburzenia oraz koszt całej instalacji. Medium najczęściej wykorzystywany do budowy magistrali EIB/KNX jest skręcona para przewodów. Inne dostępne media to: sieć zasilająca, łącza radiowe, łącza podczerwieni oraz sieć Ethernet. Poniżej zamieszczono krótką charakterystykę tych mediów [36], [39], [44], [46], [63], [77], [83], [85].

- Para skręcona (EIB/KNX.TP – Twisted Pair), Instabus EIB/KNX – standardowo zalecany jest przewód ekranowany zawierający jedną lub dwie pary skręcone przewodów. System EIB/KNX wymaga tylko jednej pary, para druga pełni rolę rezerwy. Maksymalna długość pojedynczej linii magistralnej ograniczona jest do 1000 metrów, a liczba przyłączonych urządzeń magistralnych do 256<sup>56</sup>. Szybkość transmisji wynosi 9.6 kbps i wynika bezpośrednio z przyjętej metody unikania kolizji pomiędzy przesyłanymi w sieci telegramami. Zastosowano tu mechanizm wykrywania kolizji na poziomie bitów z dominującym logicznym zerem, oparty o algorytm CSMA/CA. W sieciach EIB/KNX magistrala TP wykorzystywana jest również jako sieć zasilająca urządzenia magistralne bezpiecznym napięciem stałym (SELV) 24 ÷ 30 V DC. Większość obiektów załączonych do sieci automatyki jest dostosowywana do tego poziomu zasilania (urządzenia o niskim poborze mocy). Dzięki takiemu rozwiązaniu ograniczono ilość kabli zasilających poszczególne urządzenia, a w połączeniu z jednolitym standardem komunikacji, uzyskano znaczną elastyczność całej instalacji oraz prostotę i przejrzystość jej budowy. Pamiętać jednak należy o właściwym łączeniu przewodów magistralnych.
- Elektryczna linia zasilająca (EIB/KNX.PL – Powerline), Powernet EIB/KNX – umożliwia wykorzystanie istniejącej sieci zasilania 230 V AC do komunikacji pomiędzy urządzeniami magistralnymi oraz do ich zasilania. Podobnie jak w systemie LonWorks częstotliwości wykorzystywane do transmisji danych w sieci leżą w paśmie 95 ÷ 125 kHz, dopuszczonym przez europejską i polską normę PN-EN 50065-1 do transmisji danych [29], [46], [67], [77], [97]. Dla zapewnienia bezpieczeństwa transmisji zastosowano nową metodę SFSK w której wykorzystuje się dwie częstotliwości do kodowania danych. Bity zerowe odpowiadają częstotliwości 105,6 kHz, bit yedynek częstotliwości 115,2 kHz. Metodę SFSK przedstawiono schematycznie na rysunku 12.

---

<sup>56</sup> Stosowaną w systemie EIB/KNX topologię sieci omówiono szczegółowo w dalszej części pracy – podrozdział 2.3.3.



Rysunek 12 -Technologia transmisji danych EIB/KNX w sieci elektrycznej 230 VAC

Dzięki zastosowaniu technologii porównania z wzorcem oraz złożonych procedur korekcyjnych, transmitowane sygnały mogą być „naprawione” w trakcie odbioru, nawet w przypadku wystąpienia szkodliwych interferencji w czasie przesyłu informacji. Proces transmisji zajmuje około 130 ms, a uzyskiwana szybkość transmisji sygnałów to 1,2 kbps. Maksymalny poziom sygnału wynosi 1,26 V wartości skutecznej. Wykorzystując sieć elektryczną jako medium transmisyjne szczególną uwagę należy zwrócić na zachowanie odpowiedniego poziomu kompatybilności elektromagnetycznej tej sieci ze środowiskiem zewnętrznym (urządzenia dołączone do sieci, pola elektromagnetyczne, inne sieci zasilania itp.). Maksymalna długość pojedynczej linii (bez repeater’ów) wynosi około 600 m.

- Fale radiowe (EIB/KNX.RF – Radio Frequency), Radio Bus – linie EIB/KNX.RF są fizycznie odseparowane poprzez zastosowanie różnych częstotliwości nośnych, z pasma  $868 \div 870$  MHz. Dane przeznaczone do transmisji modulują sygnał nośny (możliwe modulacje amplitudy, częstotliwości i fazy). Ten zmodulowany sygnał przesyłany jest pomiędzy nadajnikiem, a odbiornikiem. Szybkość transmisji utrzymuje się na poziomie 38.4 kbps, a więc znacznie wyższym niż dla połączeń przewodowych. Maksymalna odległość pomiędzy elementami nadawczo-odbiorczymi na otwartej przestrzeni nie może przekraczać 300 m. Wynika ona bezpośrednio z mocy stosowanych nadajników, która nie jest zbyt duża, tak aby system EIB/KNX.RF nie zakłócał pracy innych urządzeń znajdujących się w pobliżu. Telegramy wysyłane przez większość aplikacji systemu EIB/KNX są bardzo krótkie i najczęściej nie powodują powstawania szkodliwych sygnałów interferencyjnych. Stosunek czasu pracy urządzenia nadawczego do czasu kiedy nie transmitsuje ono

sygnału, nazywany jest cyklem pracy<sup>57</sup> i dla urządzeń EIB/KNX ma on najczęściej wartość mniejszą niż 3,6 s/h (cykl pracy podawany jest procentowo lub w stosunku do 1 godziny) [29], [44], [46], [77], [91].

- Łącze podczerwieni (EIB/KNX Bus-IR – Infrared) – najnowsze medium transmisji dla systemu EIB/KNX. W katalogach i podręcznikach technicznych znaleźć można tylko wstępne propozycje protokołu i zasad komunikacji z wykorzystaniem tego rodzaju medium.
- Sieci automatyki (EIB/KNX.net) – specyfikacja techniczna protokołu EIB/KNX.net pozwala na wykorzystanie wszystkich rodzajów mediów posiadających warstwę logicznego łącza zgodną ze standardem ISO/IEC 802-2, włącznie z sieciami typu Ethernet i Arcnet, w których komunikacja oparta jest o protokół komunikacyjny TCP/IP [36], [44], [46], [83], [85]. Coraz większa popularność tego typu sieci, zwłaszcza w budynkach użyteczności publicznej, pozwala na poszerzenie systemu automatyki i kontroli budynku o dodatkowe funkcje i możliwości:
  - Zdalna konfiguracja i sterowanie funkcjami sieci (z odległego miejsca w stosunku do lokalizacji sieci)
  - Szybki interfejs pomiędzy sieciami typu LAN i EIB/KNX
  - Połączenie sieci EIB/KNX z sieciami WAN

Medium transmisji typu EIB/KNX.net wykorzystuje się zatem do łączenia np. kilku podsieci sterowania EIB/KNX w jedną całość lub do połączenia sieci z odległą stacją roboczą (np. serwer lub komputer PC nadzorujący sieć).

Sieć z komunikacją typu EIB/KNX.net powinna zawierać przynajmniej:

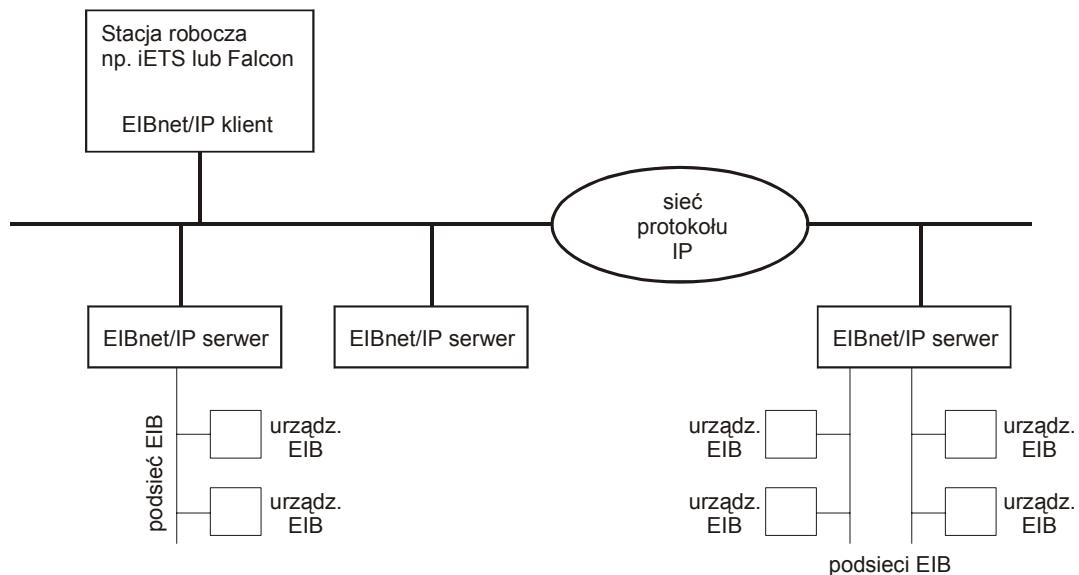
- Jedną linię magistralną EIB/KNX z kilkoma urządzeniami magistralnymi (magistrala – medium transmisji np. para skręcona)
- Urządzenie łączące sieć EIB/KNX z siecią z protokołem IP (tzw. EIBnet/IP serwer)
- oraz zwykle dodatkowo oprogramowanie obsługujące funkcje zdalnego sterowania i zarządzania siecią EIB/KNX (np. program iETS), umieszczone w stacji roboczej.

Na rysunku 13 pokazano typową sytuację, gdzie klient EIBnet/IP (np. stacja robocza z oprogramowaniem ETS), obsługuje poprzez sieć protokołu IP kilka podsieci systemu EIB/KNX (EIBnet/IP serwer). Klient EIBnet/IP ma możliwość dostępu do jednej lub kilku podsieci łączonych przez EIBnet/IP serwery. Również podsieci mogą komunikować

---

<sup>57</sup> Ang. Duty Cycle.

się pomiędzy sobą, bez udziału klienta. Przy wykorzystaniu sieci typu Ethernet możliwa jest komunikacja z prędkością 10 Mbps.



*Rysunek 13 – Przykład konfiguracji sieci EIB/KNX z wykorzystaniem medium typu EIB/KNX.net*

### 2.3.3. Protokół komunikacyjny systemu EIB/KNX – wymiana danych i zasady adresowania w sieciach standardu EIB

W systemie EIB/KNX, podobnie jak w standardzie LonWorks, wykorzystuje się protokół komunikacyjny zbudowany w oparciu o siedmiowarstwowy model OSI/ISO, dedykowany dla otwartych systemów sterownia. Protokół ten dostarcza standaryzowany zbiór usług komunikacyjnych, pozwalający programowi aplikacyjnemu umieszczonemu w pamięci urządzenia magistralnego na wysyłanie i odbiór komunikatów poprzez magistralę systemową bez konieczności szczegółowej wiedzy na temat fizycznej transmisji danych przez sieć.

Podstawową różnicę pomiędzy standardowym modelem OSI/ISO, a protokołem komunikacyjnym EIB/KNX, stanowi fakt niewykorzystania w tymże protokole 5 i 6 warstwy modelu (warstwa sesji i prezentacji) – patrz rysunek 7 w rozdziale 2.2.3. Warstwy te są przezroczyste<sup>58</sup> dla sąsiadujących z nimi pozostałych warstw modelu [46], [77]. Funkcje przypisane tym warstwom realizowane są w innych warstwach protokołu. Kontrola autentyczności oraz autoryzacja źródła informacji wykonywana jest w ramach procedur związanych z warstwą sieciową, zaś dekodowanie i identyfikacja informacji zawartych w telegramach realizowana jest w procesach związanych z warstwą siódmą – aplikacji.

<sup>58</sup> Ang. Transparent.

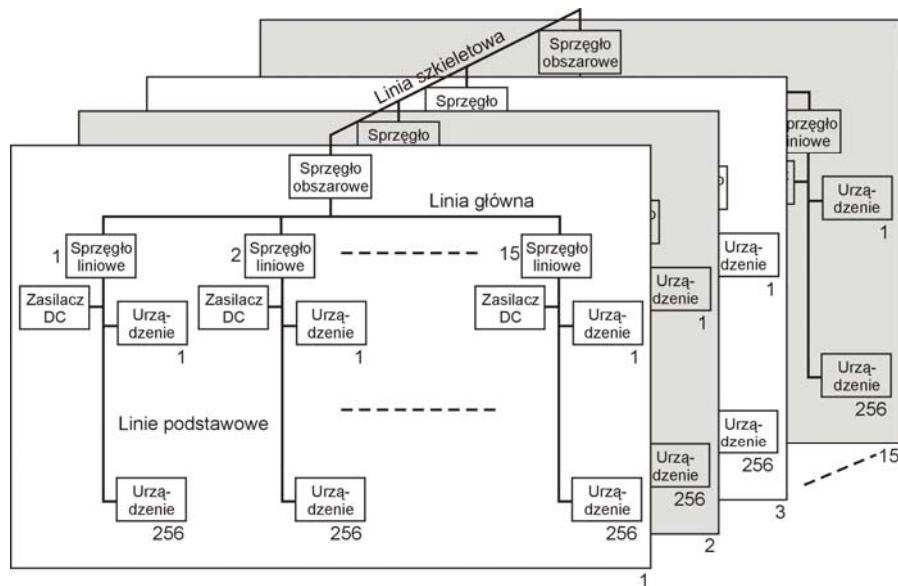
Pamiętać również należy, o czym wspomniano już przy omawianiu protokołu LonTalk, że sama aplikacja programowa oraz fizyczne medium transmisji, nie stanowią warstw modelu OSI/ISO. Dwie pierwsze warstwy determinują topologię łączenia elementów w sieci sterowania oraz zasady adresowania obowiązujące w standardzie EIB/KNX.

Topologia sieci w systemie EIB/KNX oparta jest o strukturę drzewa bez domkniętych pętli. Zależnie od zastosowanego medium transmisji, mogą występować pewne różnice dotyczące ilości możliwych do podłączenia urządzeń. Ogólne zasady tworzenia sieci podane zostaną poniżej dla najpopularniejszego medium transmisji – pary skręconej, zaś wszelkie ewentualne różnice podane zostaną w dalszej części.

Najmniejszym elementem instalacji EIB/KNX jest linia podstawowa do której równolegle przyłączane są urządzenia magistralne. Taka pojedyncza linia może być przyporządkowana np. konkretnemu pokojowi w budynku. Maksymalna liczba dołączonych do pojedynczej linii urządzeń wynosi do 256 (przy uwzględnieniułączenia wzmacniacza linowego). Każda linia musi zawierać zasilacz napięcia stałego 230 V AC/24 V DC (prąd 640 mA). Parametry te wystarczają dla urządzeń magistralnych pobierających moc nie większą niż 200 mW, zaś w przypadku większych poborów mocy konieczne jest stosowanie dwóch zasilaczy połączonych równolegle. W takim przypadku minimalna odległość między zasilaczami powinna wynosić 200 m. Ze względu na zastosowanie określonego medium oraz szybkości transmisji, pojawiają się pewne konstrukcyjne ograniczenia, wynikające ze spadków napięć oraz dopuszczalnego opóźnienia sygnałów [68], [77], [92], :

- Maksymalna sumaryczna długość przewodów w linii  $\leq 1000$  m
- Maksymalna odległość między dwoma elementami komunikującymi się ze sobą (licząc po przewodzie)  $\leq 700$  m
- Maksymalna odległość pomiędzy zasilaczem i najdalszym elementem magistralnym  $\leq 350$  m

Poszczególne linie podstawowe mogą być połączone ze sobą przez linię główną, obejmującą fizycznie np. jeden poziom w budynku. Jedna linia główna może zawierać do 15 linii podstawowych, tworząc tzw. obszar (area). 15 połączonych ze sobą obszarów, wraz z tzw. linią szkieletową (backbone) stanowi domenę, która tworzy sieć sterowania całego budynku. Elementy specjalne, służące do połączenia poszczególnych części systemu – poszczególnych linii z linią główną oraz linii głównej z linią szkieletową – nazywamy sprzęgłami (coupler) [29], [27]. Z przytoczonych powyżej liczb wynika, iż jedna sieć systemu EIB/KNX może zawierać ponad 57 600 urządzeń magistralnych. Opisaną strukturę zilustrowano graficznie na rysunku 14.



Rysunek 14 -Topologia sieci EIB/KNX TP

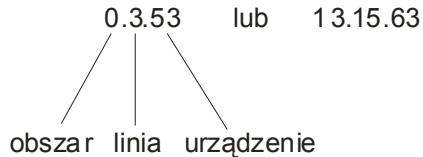
Komunikacja pomiędzy poszczególnymi urządzeniami magistralnymi odbywa się zazwyczaj w obrębie pojedynczej linii podstawowej. Komunikat generowany przez każde urządzenie rozchodzi się po linii, zaś sprzęgła liniowe zapobiegają jego rozprzestrzenianiu się po całej sieci sterowania. Jeżeli komunikat z danego urządzenia jest przeznaczony dla urządzenia w innej linii podstawowej, jest on przepuszczany i wzmacniany przez sprzęgła liniowe własnej linii, a następnie przez sprzęgło linii adresata. Sprzęgła pozostałych linii blokują taki komunikat. W chwili uruchamiania całej instalacji w sprzęgłach automatycznie zapisywane są odpowiednie tablice filtracyjne [68].

Przy zastosowaniu elektrycznej linii zasilającej (EIB/KNX Powerline) jako medium transmisyjnego, struktura sieci ograniczona jest do 8 obszarów, w każdym po 15 linii zawierających maksymalnie po 256 urządzeń.

Adresowanie w sieciach systemu EIB/KNX oparte jest o dwa rodzaje adresów: fizyczny i grupowy (logiczny). Umożliwiają one zarówno dokładną fizyczną identyfikację każdego urządzenia w sieci, jak i ich wzajemne logiczne, funkcjonalne połączenie w celu realizacji określonych zadań.

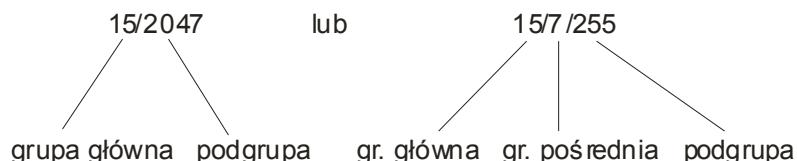
Adres fizyczny to niepowtarzalny numer identyfikacyjny, jaki otrzymuje urządzenie magistralne w trakcie projektowania i konfiguracji sieci sterowania. Urządzenie bez nadanego adresu fizycznego nie może zostać zaprogramowane. Nie jest to numer nadawany przez producenta w czasie produkcji określonego układu, lecz przez osobę integrującą całą sieć, może on

więc być zmieniany. Adres fizyczny ma trójczłonową strukturę zawierającą numer obszaru, linii oraz urządzenia [29], [68], [85]. Przykładowy adres ma postać:



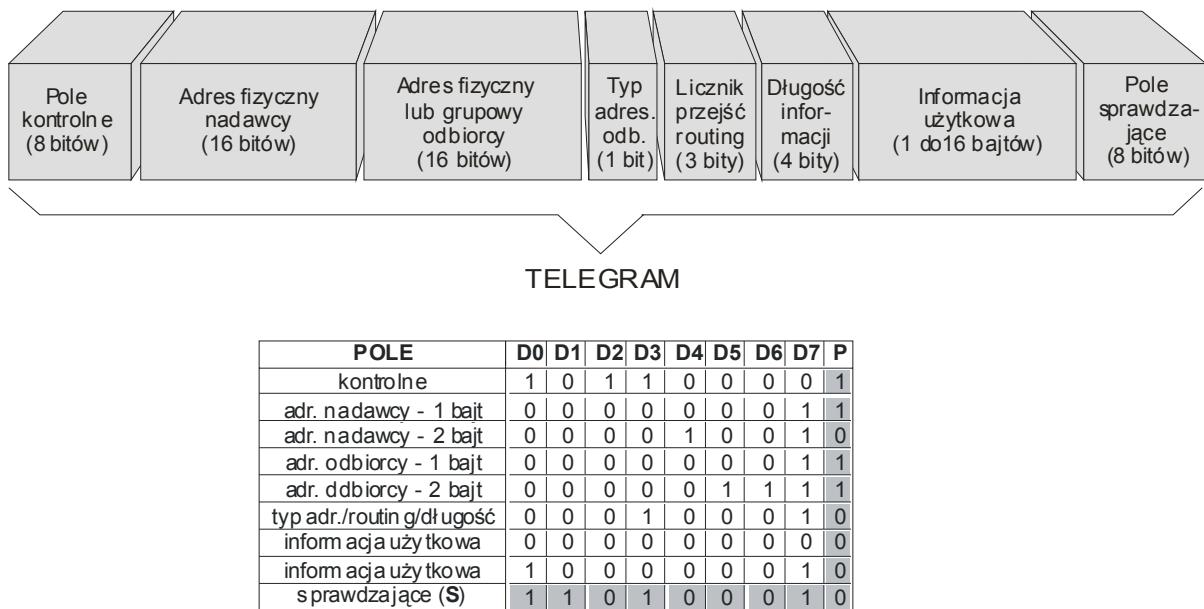
Urządzenia z numerem obszarowym lub liniowym „0” – to elementy umieszczone odpowiednio na linii obszarowej i głównej (zazwyczaj specjalne urządzenia systemowe).

Adres grupowy z kolei to numer nadawany w celu wzajemnego skojarzenia urządzeń współpracujących między sobą. Jeden adres grupowy może być przypisany do kilku urządzeń, nie może więc być wykorzystywany do ich identyfikacji w trakcie programowania systemu. Adresy grupowe stanowią integralną część komunikatów wysyłanych przez urządzenia magistralne, jako adresy docelowe. Adresy grupowe mogą być zapisywane w postaci dwu lub trójczłonowej. Postać trójczłonowa umożliwia bardziej szczegółowy opis adresu i tym samym np. rozróżnienie określonych części strukturalnych budynku itp. Przykładowy adres grupowy ma postać [29], [68]:



Komunikacja pomiędzy poszczególnymi urządzeniami w systemie EIB/KNX oparta jest na przesyłaniu i odbiorze telegramów, stanowiących podstawową jednostkę informacyjną. Wysoką niezawodność tego typu komunikacji gwarantują zastosowane metody kontroli obciążenia sieci oraz unikania kolizji pomiędzy telegramami pochodzącyymi z wielu źródeł. Zastosowano tu podobne algorytmy unikania kolizji jak w systemie LonWorks - CSMA/CA dla asynchronicznej transmisji danych, oraz MAC [77]. Protokoły te zdefiniowano w obrębie warstwy łącza danych modelu OSI. W przypadku konieczności wygenerowania telegramu przez konkretne urządzenie sieciowe, sprawdzany jest stan sieci (czy zakończyły się poprzednie transmisje w sieci). Telegram wysyłany jest do sieci po pewnym czasie od zakończenia poprzedniej transmisji, a po przesłaniu telegramu nadajnik oczekuje na ścisłe określony sygnał potwierdzenia od urządzenia/urządzeń odbiorczych. Pewne mechanizmy zabezpieczające przed przekłamaniem lub utratą danych zastosowano również w konstrukcji samych telegramów. Każdy telegram składa się z dziewięciu pól wykorzystywanych do zapisu priorytetu wiadomości, adresu źródła informacji, adresu odbiorcy, informacji użytkowej (właściwej)

oraz bajtu kontroli parzystości. Schematycznie budowę telegramu standardu EIB//KNX przedstawia rysunek 15 [29], [28], [36], [77].



**Rysunek 15 - Budowa telegramu standardu EIB/KNX oraz ilustracja zasady sprawdzania krzyżowego**

Długość pola informacji użytkowej zależy od wykorzystanego w danym telegramie standardu EIS. Telegramy w trakcie transmisji poddawane są podłużnej i poprzecznej kontroli parzystości bitów w pakietach 8 bitowych (patrz rysunek 15): P – stanowi takie uzupełnienie sumy bitów w rzędzie poziomym, aby była ona równa „0”; S – stanowi takie dopełnienie sumy bitów z danej pozycji (kolumny pionowej), aby wynosiła ona „1”. Bity kontroli parzystości poprzecznej umieszczane są na końcu każdego pakietu, zaś bity kontroli parzystości podłużnej (pionowej) umieszczane są w ostatnim bajcie (pole sprawdzające) całego telegramu. Połączenie obu tych metod kontroli nazywa się metodą sprawdzania krzyżowego i zapewnia największą pewność wykrycia błędów transmisji [28], [28], [85], [92].

W standardzie EIB/KNX zastosowano również prosty mechanizm potwierdzenia otrzymania prawidłowego telegramu przez urządzenie odbiorcze. W przypadku otrzymania prawidłowej informacji urządzenie odbiorcze wysyła po określonym czasie (ok. 1.35 ms) zdefiniowany wcześniej sygnał tzw. ACK do węzła nadawczego. Jeżeli otrzymane dane nie były prawidłowe, wysyłany jest inny rodzaj potwierdzenia – sygnał NACK, co powoduje ponowne nadanie informacji przez węzeł nadawczy. W przypadku trzykrotnego otrzymania sygnału typu NACK, komunikacja zostaje zerwana i konieczne jest jej ponowne wywołanie [44], [62], [77], [92].

### **2.3.4. Konfiguracja i zarządzanie siecią systemu EIB/KNX – narzędzia**

Dla prawidłowego funkcjonowania sieci automatyki w systemie EIB/KNX konieczne jest jej właściwe skonfigurowanie, czyli fizyczne i logiczne połączenie wszystkich urządzeń tworzących sieć oraz umieszczenie w ich pamięci aplikacji programowych. Połączenie logiczne (funkcjonalne) węzłów sieci bazuje na przypisaniu konkretnych obiektów komunikacyjnych, opartych o standardy EIS, do określonych adresów grupowych. Czynności te wymagają odpowiednich narzędzi, zarówno hardware'owych jak i software'owych. Standard EIB/KNX zapewnia wszystkie te narzędzia, umożliwiając kompleksową konfigurację oraz zarządzanie siecią automatyki. Programy aplikacji przeznaczone dla poszczególnych urządzeń magistralnych tworzone są najczęściej w języku C przy wykorzystaniu odpowiednich oprogramowań – środowisk projektowych dostępnych dla producentów urządzeń w standardzie EIB/KNX, o czym była już mowa wcześniej. Producenci dostarczają lub udostępniają (na stronach WWW) odpowiednie aplikacje do swoich urządzeń w postaci gotowych bibliotek, importowanych do bazy danych programu ETS.

ETS to podstawowe oprogramowanie niezbędne do uruchomienia sieci sterowania opartej o standard EIB/KNX, umożliwiające jej konfigurację, testowanie, kontrolę oraz wprowadzanie wszelkich zmian w trakcie jej użytkowania [77]. Obecnie najbardziej rozpowszechnioną wersją tego oprogramowania jest ETS2, wykorzystywany początkowo również na stanowisku laboratoryjnym. W trakcie realizacji badań na rynku pojawiła się wersja ETS3, wykorzystana ostatecznie na stanowisku badawczym. Budowę obu pakietów programowych opisano w dalszej części pracy (rozdział 3.2.2). Dostęp do magistrali systemowej EIB/KNX możliwy jest również przy wykorzystaniu programu Falcon, który pozwala np. na wysyłanie telegramów grupowych, ładowanie aplikacji do urządzeń, dostęp do adresów fizycznych. Interfejs programu Falcon bazuje na zaawansowanych językach programowania jak: Visual C++, Visual Basic, Delphi. Na bazie oprogramowania Falcon opracowano standard komunikacji pomiędzy siecią i urządzeniami EIB/KNX, a aplikacjami i sterownikami systemu Windows. Standard ten zawarto w programie o nazwie EIB/KNX OPC<sup>59</sup> Server. Jest to przemysłowy standard komunikacji pomiędzy oprogramowaniem Windows, a urządzeniami lub sieciami zewnętrznymi. Zainstalowanie serwera OPC dla urządzenia lub magistrali, umożliwia stosowanie wielu aplikacji wizualizacyjnych, sterowniczych i administracyjnych – typu SCADA [38]. Do testowania zgodności urządzeń magistralnych ze standardem komunikacji systemu EIB/KNX opracowano program EITT (EIB/KNX Interworking Test Tool), wykorzystywany przede wszystkim przez producentów takich urządzeń do testowania aplikacji oraz do certyfikacji.

---

<sup>59</sup> Ang. OPC – Object Linking and Embedding for Process Control [77].

Oprogramowanie EITT pozwala np. na wysyłanie wadliwych telegramów, co daje możliwość sprawdzenia odporności urządzeń na tego typu niekorzystne zjawiska, mogące wystąpić w realnie funkcjonującej sieci sterowania. Możliwe jest również oczywiście sprawdzenie zgodności aplikacji urządzenia ze standardami EIS [30], [77], [103].

### **2.3.5. Sieć Internet i najnowsze technologie na usługach systemu EIB/KNX**

Podobnie jak dla systemu LonWorks, rozwój sieci Internet umożliwił kontaktowanie się z siecią automatyki systemu EIB/KNX i zarządzanie nią z dowolnego miejsca, wyposażonego w podłączenie do globalnej sieci informacyjnej. Protokół TCP/IP pozwala na zastąpienie powszechnie stosowanej komunikacji z siecią EIB/KNX przez łącze szeregowe, zapewniając dostęp do wszystkich urządzeń tworzących sieć, zmianę ich konfiguracji oraz realizowanych aplikacji. Łączność i zarządzanie siecią systemu EIB/KNX poprzez łącze internetowe umożliwia oprogramowanie iETS, różniące się od podstawowej wersji programu ETS jedynie sposobem podłączenia do komputera PC. W przypadku ETS2 jest to kabel szeregowy RS 232, zaś dla iETS może być to dowolne medium transmisyjne obsługujące protokół internetowy (Ethernet, linia telefoniczna itp.). W pakiecie ETS3 protokół TCP/IP został zintegrowany w ramach Programu ETS, z dopŁczeniem interfejsu USB. Technologicznie jak dotychczas, nie jest możliwe pełne, zdalne przekonfigurowanie sieci systemu EIB/KNX, ze względu na konieczność fizycznego przyciśnięcia przycisku programowego na konkretnym urządzeniu, w celu potwierdzenia jego adresu fizycznego. Możliwe, że tego typu funkcja pojawi się w kolejnych wersjach programu ETS [77], [103]. Widać więc wyraźnie, że zarysuje się tendencja, do pełnej integracji standardu EIB/KNX z siecią Internet oraz innymi nowoczesnymi technikami komunikacji i przesyłu informacji [30]. Niezależnie od komputerów z oprogramowaniem iETS, niektóre firmy produkujące urządzenia standardu EIB/KNX oferują tzw. bramki umożliwiające sterowanie, wizualizację oraz transport danych instalacji EIB/KNX za pośrednictwem nowoczesnych urządzeń telekomunikacyjnych jak: komputery i sieci komputerowe, telefony komórkowe WAP, urządzenia z przeglądarkami internetowymi (język Java). Zapewnia to światowy zasięg i dostęp do określonej sieci sterowania budynkiem, bez dodatkowego oprogramowania. Informacje o zakłóceniach, wartości pomiarowe i stan pracy czujników i wyrobników mogą być przesyłane za pomocą poczty elektronicznej lub wiadomości SMS. Możliwe jest stworzenie wizualizacji systemu dla przeglądarek internetowych, zapewniające prostą obsługę i kontrolę stanu systemu sterowania EIB/KNX [33], [60], [61].

## 2.4. Porównanie systemów LonWorks i EIB/KNX na podstawie danych technicznych obu systemów

Przedstawione w niniejszym rozdziale techniczne informacje dotyczące standardów LonWorks oraz EIB/KNX pozwoliły na wstępne ich porównanie z uwzględnieniem sformułowanych we wstępnie kryteriów.

### 2.4.1. Topologia sieci, możliwości rozbudowy oraz budowa urządzeń sieciowych

Dla obu standardów przyjęto podobną strukturę połączenia fizycznego sieci w postaci drzewa, bez możliwości tworzenia zamkniętych pętli. Struktura tego typu umożliwia stosowanie komunikacji typu „każdy z każdym” (ang. peer-to-peer) przy użyciu odpowiednich adresów (numerów identyfikacyjnych) dla poszczególnych urządzeń tworzących sieć sterowania. Wszystkie gałęzie sieci łączone są za pomocą odpowiednich sprzęgeli lub routerów, dzięki czemu pojedyncza sieć sterowania może zawierać znaczną ilość urządzeń sieciowych – w standardzie LonWorks ponad 32 000, w standardzie EIB/KNX jest to 57 600 urządzeń.

Budowa wewnętrzna węzłów sieciowych jest podobna i opiera się na czterech podstawowych elementach: jednostce centralnej, czyli procesorze sterującym wykonaniem aplikacji przypisanej do danego urządzenia, transceiverze umożliwiającym procesorowi komunikację z siecią budowaną w oparciu o różne media transmisyjne, układzie wejścia/wyjścia lub interfejsie fizycznym, zapewniającym komunikację modułu procesora z fizycznym urządzeniem realizującym zadaną funkcję oraz samej aplikacji programowej, umieszczonej w pamięci wewnętrznej urządzenia sieciowego, jednoznacznie określającej funkcję urządzenia i jego reakcję na zewnętrzne sygnały fizyczne lub komunikaty sieciowe.

Rozbudowa istniejącej sieci o nowe elementy jest w obu standardach bardzo prosta i ogranicza się do przyłączenia nowego odcinka magistrali do sieci już istniejącej. Jednakże w przypadku standardu LonWorks ze skrętką jako medium transmisyjnym, dołączenie węzła do sieci wiąże się z koniecznością doprowadzenia dla niego dodatkowo odpowiedniego zasilania; w systemie EIB/KNX taka konieczność pojawia się tylko w momencie dołączania urządzeń o znacznym poborze prądu. Zdaniem autora jest to istotny czynnik decydujący o przewadze systemu EIB/KNX w szczególnie zastosowaniach automatyki budynkowej. W warunkach przemysłowych problem ten jest mniej istotny, ze względu na umieszczenie w licznych punktach hali czy budynku produkcyjnego źródeł zasilania koniecznych dla realizowanego w nich procesu technologicznego, które jednocześnie mogą zasilać elementy systemu automatyki. Pociąga to jednak za sobą znaczną komplikację struktury sieci [60].

### **2.4.2. Media transmisyjne**

W obu standardach zaproponowano podobne rodzaje i typy mediów transmisji danych pomiędzy węzłami sieci. Standard LonWorks oferuje jednak znacznie większą szybkość transmisji danych w magistrali w stosunku do standardu EIB/KNX, przy wykorzystaniu podstawowego medium czyli pary skręconej. Dodatkowo zastosowanie specjalnego typu transceiverów pozwala na uzyskanie przepustowości rzędu 1.25 Mbps, gdy tymczasem standard EIB/KNX oferuje szybkość na poziomie 9.6 kbps. Podobna sytuacja występuje przy zastosowaniu jako medium linii zasilających 230 V AC. Jednakże podkreślić należy, iż w systemie EIB/KNX dopuszczalne są większe odległości pomiędzy połączonymi węzłami oraz całkowite długości linii magistralnych. Kolejna różnicą przemawiającą, według autora, na korzyść standardu europejskiego EIB/KNX jest kilkakrotnie podkreślany już w pracy fakt, iż w przypadku zastosowania pary skręconej jako medium transmisji, w systemie EIB/KNX magistrala komunikacyjna jest standardowo wykorzystana jako linia zasilająca urządzenia sieciowe. Niestety w systemie LonWorks doprowadzenie dodatkowego napięcia zasilającego i to niejednokrotnie o różnej wartości dla różnych urządzeń, jest niezbędne praktycznie w każdym przypadku, a wykorzystanie magistrali komunikacyjnej do zasilania urządzeń sieciowych jest tylko jedną z opcji. Wymaga ono wyposażenia węzłów w odpowiedni transceiver oraz zastosowania dodatkowych urządzeń zasilających, jednak rozwiązanie to jest, jak do tej pory, rzadko stosowane w praktyce. Każdy z przedstawionych systemów ma więc w dziedzinie mediów transmisyjnych swoje wady i zalety, które powinny być uwzględnione przy jego wyborze do konkretnych zastosowań.

### **2.4.3. Protokół komunikacyjny, konfiguracja logiczna sieci i wymiana danych**

Protokoły komunikacyjne obu systemów sterowania oparte są o ten sam standardowy model ISO/OSI, dedykowany dla transmisji danych w otwartych systemach sterowania. W standardzie EIB/KNX wykorzystano jednak tylko pięć warstw tegoż modelu, z pominięciem warstw sesji oraz prezentacji. Procedury związane z tymi warstwami realizowane są w ramach innych warstw modelu.

W obu standardach przyjęto odmienne zasady adresowania urządzeń i to zarówno w sensie adresów fizycznych jak i logicznych (funkcjonalnych). W systemie LonWorks dla sieci prostych o niewielkiej liczbie urządzeń sieciowych stosuje się adresowanie oparte jedynie o unikalny adres fizyczny urządzenia, generowany automatycznie na podstawie numeru ID każdego urządzenia, co znacznie upraszcza proces ich konfigurowania. Dla sieci złożonych sterowania, składających się np. z kilku wydzielonych i współpracujących ze sobą podsieci, stosu-

je się adresowanie wykorzystujące adresy urządzeń, adresy grupowe lub adresy programowe/komunikacyjne. W tym przypadku istnie możliwość nadania formy adresów przez projektanta sieci sterowania, gdyż w niektórych przypadkach procedury automatycznego generowania adresów mogą prowadzić do nieprawidłowego funkcjonowania opracowanego systemu.

W sieciach automatyki standardu EIB/KNX stosuje się tylko dwa typy adresów, niezależnie od wielkości sieci, jednoznacznie identyfikujące urządzenie magistralne zarówno w sensie fizycznym jak i funkcjonalnym. Wykorzystywane adresy to adresy fizyczne, określające położenie danego modułu w sieci oraz adresy grupowe, dające możliwość przyporządkowania określonej grupy urządzeń do wykonania zadanej funkcji. Wszystkie rodzaje adresów mogą być ustalone i modyfikowane przez osobę konfigurującą sieć na dowolnym etapie projektowania całego systemu. W opinii autora zasady przyjęte w standardzie EIB/KNX ułatwiają konstruowanie i programowanie nawet skomplikowanych pod względem funkcjonalnym systemów, ze względu na swą przejrzystą strukturę i jednoznaczność adresów.

Wymiana danych pomiędzy urządzeniami sieciowymi w obu systemach odbywa się za pomocą specjalnych obiektów (ciągów bitów) zwanych telegramami lub komunikatami, w których zawarte są informacje o adresie urządzenia nadawczego i odbiorczego oraz konkretna informacja użytkowa. W systemie LonWorks mamy do czynienia z różnymi typami zmiennych sieciowych, determinujących m.in. długość informacji użytkowej oraz z tzw. blokami funkcjnymi przyporządkowywanymi do konkretnego urządzenia, stanowiącymi jego programowy interfejs sieciowy, określającymi realizowane przez nie funkcje. W standardzie EIB/KNX zaś podstawową informację użytkową stanowią tzw. standardy EIS, pełniące funkcje podobne do typów zmiennych sieciowych w systemie LonWorks, wraz z tzw. obiektemi EIB/KNX przyporządkowanymi do poszczególnych funkcji urządzenia. Istotną różnicą jest fakt, iż w standardzie LonWorks konfigurując sieć sterowania (tzw. bindowanie) posługujemy się bezpośrednio zmiennymi sieciowymi przyporządkowanymi do konkretnych bloków funkcyjnych. W systemie EIB/KNX zaś łączenie funkcjonalne węzłów sieci polega na nadaniu jednakowego adresu grupowego obiektom EIS o takiej samej długości słowa bitowego danych [21], [32]. Zdaniem autora, rozwiązanie takie jest bardziej uniwersalne, gdyż np. z obiektemi takimi nie jest konkretna wielkość fizyczna oraz jej jednostka (z punktu widzenia osoby konfigurującej sieć). W systemie LonWorks dla każdego rodzaju danych reprezentujących określoną wielkość fizyczną, konieczne jest wykorzystanie określonego typu zmiennej sieciowej. Fakt ten znacznie ogranicza np. możliwość łączenia funkcjonalnego wejść i wyjść wybranych bloków funkcyjnych, bowiem dla ich połączenia konieczna jest nie tylko taka sama długość

słowa danych, ale również ten sam typ zmiennej sieciowej. W standardzie EIB/KNX wymagana jest jedynie jednakowa długość bitowa słowa danych.

Dla obu systemów zastosowano podobne algorytmy kontroli ruchu w magistrali oraz unikania kolizji CSMA. Nieco odmienne podejście dotyczy procedur potwierdzenia prawidłowej bądź złej transmisji danych [44]. W systemie LonWorks zastosowano złożoną procedurę kontroli autentyczności urządzenia nadawczego oraz przesyłanej informacji. Jej podstawą jest odpowiednie kodowanie oraz porównywanie informacji w urządzeniu odbiorczym i nadawczym. Jeżeli wyniki porównania w obu węzłach są identyczne, dochodzi do właściwej wymiany informacji. Procedura przyjęta w standardzie EIB/KNX jest znacznie prostsza i oparta o wysłanie przez urządzenie odbiorcze ustalonego sygnału potwierdzenia prawidłowej bądź błędnej transmisji. Cechuje się ona mniejszą dokładnością w stosunku do opisywanej wcześniej, jednocześnie jest jednak mniej czasochłonna [62].

### **2.4.4. Narzędzia instalacji, rozbudowy i zarządzania siecią automatyki budynkowej**

Standard LonWorks dostarcza szeroki wachlarz narzędzi niezbędnych do konfiguracji i zarządzania siecią. Każdy z oferowanych pakietów wyspecjalizowany jest do jednej konkretnej funkcji (np. konfiguracja sieci, gromadzenie danych). Obsługiwany przez autora pracy pakiet LonMaker umożliwia obserwację zmian wartości czy stanu wybranych zmiennych sieciowych w systemie, jednak nie dysponuje choćby najprostszym narzędziem umożliwiającym rejestracje tych zmian dla ich późniejszej obróbki czy analizy. Jednocześnie podkreślić należy dość znaczną cenę zakupu poszczególnych pakietów programowych.

W przypadku standardu EIB/KNX również pojawia się kilka specjalizowanych aplikacji, jednakże podstawowy pakiet do konfigurowania i zarządzani siecią – ETS 3 – posiada już kilka prostych narzędzi umożliwiających podgląd komunikatów przesyłanych magistralą systemową, wraz z ich chronologiczną rejestracją w czasie oraz podglądem struktury. Rejestracja taka pozwala na późniejszą obróbkę i analizę samych telegramów jak i funkcjonowania całego systemu. Cena zakupu tego pakietu również nie jest niska, choć jednak niższa od narzędzia użytego w standardzie LonWorks, jednakże jest on zdaniem autora bardziej uniwersalny.

### **2.4.5. Nowoczesne techniki komunikacyjne**

Zarówno standard LonWorks jak i EIB/KNX umożliwiają projektantowi sieci oraz jej późniejszemu użytkownikowi, wykorzystanie najnowszych technik komunikacyjnych do programowania i organizacji systemu, jak również jego późniejszego monitoringu i kontroli. Dla obu systemów dostępne są bramki umożliwiające połączenie magistrali danych z sieciami typu Ethernet (protokół TCP/IP), wykorzystanie transmisji drogą radiową oraz przyłączenie

modułów GSM. Te technologie komunikacyjne już od kilku lat używane są w standardzie LonWorks do programowania i konfigurowania sieci. Ich wczesne zastosowanie w tym właśnie systemie wydaje się zrozumiałe, gdyż sieci LON najczęściej wykorzystywane są jako sieci automatyki przemysłowej, a wspomniane wyżej standardy komunikacji w przemyśle wykorzystywane są już od kilku lat. Ich integracja w standardzie automatyki budynkowej była więc koniecznością. Protokół TCP/IP może być również wykorzystany do zdalnego sterowania i monitoringu w systemie EIB/KNX, po zastosowaniu odpowiednich bramek przejściowych czy serwerów, łączących magistralę systemową z globalną siecią komputerową. Warto jednak podkreślić, iż standard ten dzięki zastosowaniu odpowiednich interfejsów powszechnie wykorzystywany jest w sieciach LonWorks do ich konfiguracji, co niestety nie było możliwe w systemie EIB/KNX. Wykorzystanie protokołu TCP/IP oraz standardu USB w konfigurowaniu systemów EIB/KNX stało się możliwe dopiero wraz z pojawiением się pakietu ETS 3. Dotychczasowy i wciąż powszechnie stosowany pakiet ETS 2 pozwalał na komunikację z magistralą tylko poprzez interfejs RS 232.

Jak wspomniano już wcześniej coraz szersze łączenie standardów automatyki budynkowej z nowoczesnymi i powszechnie stosowanymi technikami komunikacyjnymi, wskazuje na tendencje do pełnej ich integracji w przyszłości. Powszechność globalnej sieci Internet nie mogła pozostać niedostrzeżona przez twórców systemów sterowania budynkami, gdyż umożliwia ona sterowanie i kontrolę stanu sieci automatyki z dowolnego punktu na Ziemi, co pociąga za sobą znaczny wzrost poczucia komfortu i bezpieczeństwa bezpośrednich użytkowników takich systemów. W obu standardach pojawiają się również w ostatnim czasie urządzenia wykorzystujące najnowsze techniki transmisji (GSM, SMS, Bluetooth) szczególnie w dziedzinie mobilnego sterowania i nadzoru nad systemami automatyki budynkowej.

Podsumowując, zauważać należy, iż oba porównywane standardy mają podobne struktury fizyczne sieci oraz zasady komunikacji. Dostrzegalne są jednak pewne istotne różnice przemawiające w większości przypadków na korzyść standardu EIB/KNX jako systemu prostszego, bardziej przejrzystego funkcjonalnie zwłaszcza jako dedykowanego dla sieci automatyki budynkowej. Widoczne jest to szczególnie przy porównaniu liczby standaryzowanych obiektów wymiany informacji, czy formie adresowania dla wszystkich rodzajów sieci – małe i rozbudowane. Również analiza funkcjonalna oferowanych na rynku urządzeń dla obu systemów pozwala stwierdzić, iż standard EIB/KNX to przede wszystkim obsługa podstawowych i bardziej złożonych aplikacji w budynkach mieszkalnych i biurowych, zaś LonWorks to system umożliwiający realizację podstawowych funkcji automatyki budynkowej oraz połą-

czenie ich w jednym systemie z częścią przemysłową – np. przedsiębiorstwo produkcyjne; współpraca urządzeń w biurowcu firmy oraz hali produkcyjnej. Różnice te wynikają głównie z faktu, iż system EIB/KNX od początku swego istnienia tworzony był i optymalizowany funkcjonalnie do użytku w systemach automatyki nowoczesnych budynków oraz obiektów użyteczności publicznej, zaś standard LonWorks to, w jego pierwszej fazie rozwoju, to przede wszystkim sieci przeznaczone do automatyzacji obiektów przemysłowych, a w następnej kolejności do sterowania urządzeniami w budynkach. Ten ostatni obszar zastosowań wynika niejako z zapotrzebowania rynku odbiorców i odpowiedzi na nie ze strony producentów urządzeń sieciowych dla systemu LonWorks [44].

Porównanie obu standardów w oparciu o praktyczne doświadczenia autora pracy związane z fizyczną realizacją systemów sterowania dla obu standardów oraz ich programowaniem, kontrolą i obsługą w trakcie eksploatacji, przedstawione zostało w dalszej części pracy, dotyczącej opisu stanowiska badawczego.

### **3. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO**

W celu przeprowadzenia szczegółowej analizy porównawczej opisanych powyżej systemów sterowania inteligentnym budynkiem, zaprojektowano i wykonano odpowiednie stanowisko badawcze. Podzielone zostało ono na dwa oddzielne stanowiska laboratoryjne, osobno dla systemu LonWorks oraz EIB/KNX. Elementem wspólnym obu stanowisk jest nadzędny komputer PC, wykorzystywany do konfiguracji sieci obu standardów, ich programowania, zarządzania i kontroli w trakcie pracy.

Ideą przewodnią w trakcie projektowania stanowiska badawczego było stworzenie środowiska dla badań dotyczących szczególnie niezawodności komunikacji pomiędzy elementami magistralnymi oraz wykorzystania obu systemów w dziedzinie monitoringu stanu systemu zasilającego: pomiarów energii i poboru mocy oraz parametrów jakości energii elektrycznej. Pomimo tego, iż na każdym ze stanowisk zainstalowano nieco odmienny zestaw urządzeń sieciowych, umożliwiających realizację różnych funkcji w aplikacji automatyki dla pojedynczego pomieszczenia (np. kontrola dostępu czy obsługa czujnika dymu w systemie LonWorks, niedostępne na stanowisku EIB/KNX oraz ściemnianie oświetlenia czy sterowanie żaluzjami w systemie EIB/KNX, niedostępne na stanowisku LonWorks), to jednak opracowane na potrzeby badań porównawczych aplikacje automatyki realizują w obu systemach podobne funkcje. Podstawowym założeniem pracy nie było bowiem stworzenie jak najbardziej złożonej i wyrafinowanej sieci sterowania urządzeniami w pomieszczeniu, lecz analiza komunikacji między węzłami sieci oraz możliwości zastosowania systemów inteligentnego budynku w pomiarach zużycia i jakości energii elektrycznej. Założenia te legły również u podstaw opracowanych, prostych aplikacji automatyki.

#### **3.1. Stanowisko systemu LonWorks**

Projekt instalacji systemu LonWorks zrealizowanej na stanowisku badawczym, oparty został o urządzenia wyprodukowane przez firmę ZDANiA<sup>60</sup> oraz analizator parametrów sieci firmy Gossen<sup>61</sup>. Główne elementy tej sieci to sterownik pomieszczenia, moduł czujnika i zadalnika temperatury, licznik energii elektrycznej oraz wspomniany analizator. Moduły te, współpracując z dodatkowymi czujnikami oraz elementami wykonawczymi, umożliwiają realizację systemu automatyki dla pojedynczego pomieszczenia, wraz z monitoringiem para-

---

<sup>60</sup> ZDANiA – Zakład Doświadczalny Aparatury Naukowej i Automatyki w Krakowie; informacje: [www.zdania.com.pl](http://www.zdania.com.pl)

<sup>61</sup> Gossen – GMC Instruments Group; informacje: [www.gmc-instruments.com](http://www.gmc-instruments.com) oraz: [www.astat.com.pl](http://www.astat.com.pl).

metrów energetycznych zasilania (moc, energia, parametry jakościowe). Szczegółowy opis poszczególnych elementów sieci sterowania, wraz z ich programowymi aplikacjami oraz oprogramowaniem konfiguracyjnym, zamieszczono poniżej.

### 3.1.1. Część sprzętowa

Na rysunku 16 zamieszczono widok ogólny stanowiska laboratoryjnego systemu LonWorks, z zaznaczeniem poszczególnych urządzeń sieciowych i pomocniczych.



Rysunek 16 – Widok ogólny stanowiska dla systemu LonWorks

Urządzenia wykorzystane do budowy tego stanowiska podzielić można na dwie podstawowe kategorie: urządzenia-węzły sieci LonWorks (wyposażone w układy Neuron-Chip) oraz urządzenia dodatkowe, spełniające rolę czujników i wyrobników (nie zawierające w sobie układów Neuron-Chip), współpracujących z urządzeniami nadzorowanymi – węzłami.

Do pierwszej z tych kategorii zaliczają się:

- Sterownik pomieszczenia STP-02/E – moduł umożliwiający automatyczne sterowanie podstawowymi funkcjami w pomieszczeniu. Urządzenie zasilane jest napięciem o wartości 12 V AC. Posiada pięć dwustanowych wejść (oznaczonych odpowiednio: DI1 ÷ DI5), do których przyłączane są urządzenia pomocnicze: czujnik ruchu, czujnik dymu, styki sygnalizacji nieuprawnionego otwarcia obudów (styki sabotażowe) tych czujników oraz wyłącznik oświetlenia. Dodatkowe wejście sterownika, oznaczone „CARD READER”,

umożliwia obsługę czytnika dotykowych kluczy elektronicznych Dallas. Sterownik wyposażony jest również w wyjścia sterujące załączaniem oświetlenia i zaworem grzejnika [51], [52], [104]. Wyjście 12 V DC służy do zasilania przyłączanych czujników. Podstawowe funkcje omawianego sterownika to:

- kontrola dostępu – realizacja poprzez czytnik kluczy Dallas oraz elektromagnetyczny zamek drzwiowy. Wejście do pomieszczenia możliwe jest tylko dla posiadaczy kluczy o numerze wpisanym wcześniej do pamięci sterownika. Każde użycie klucza może być przekazywane przez sterownik, przy użyciu odpowiednich zmiennych sieciowych standardu LonWorks, do systemu nadzorowanego.
- sterowanie zaworem grzejnika CO – kontrola i sterowanie stanem zaworu grzejnikowego (załączony/wyłączony; otwarty/zamknięty). Poprawna realizacja tej funkcji możliwa jest przy współpracy sterownika z modułem czujnika i zadajnika temperatury TSSP-02, opisany w dalszej części rozdziału.
- sterowanie oświetleniem – możliwe sterowanie w dwóch trybach: klasycznym (załączanie/wyłączanie wyłącznikiem dwupozycyjnym) oraz z kontrolą obecności (sygnał kontroli obecności z czujnika ruchu oraz ustawiany czas opóźnienia wyłączenia oświetlenia). W trybie z kontrolą obecności, brak ruchu w pomieszczeniu powoduje wyłączenie oświetlenia po ustawionym czasie opóźnienia i jego ponowne załączenie w momencie stwierdzenia obecności.
- monitoring i sygnalizacja stanu wejść sterownika – przesyłanie informacji o stanie wejść przez sieć LON; umożliwia wywołanie alarmu w przypadku pożaru, nieuprawnionej obecności czy próby demontażu któregoś z dodatkowych czujników.
- Moduł czujnika i zadajnika temperatury TSSP-02 – urządzenie wykorzystywane do pomiaru i zadawania temperatury w pomieszczeniu. W module tym możliwe jest nastawienie tygodniowego cyklu regulacji temperatury w pomieszczeniu, z uwzględnieniem pory dziennej i nocnej oraz okresu wakacyjnego [51], [52], [104]. Wszelkie nastawy parametrów pracy modułu realizowane są poprzez przyciski na jego obudowie lub ustawienia zmiennych sieciowych w czasie konfiguracji sieci sterowania. Przyciski panelu zewnętrznego pozwalają również na ręczne ustawienie żądanej w danym momencie temperatury w pomieszczeniu (tryb manualny), niezależnie od nastalonego wcześniej tygodniowego cyklu regulacji. Przy współpracy ze sterownikiem pomieszczenia STP-02/E, moduł steruje stanem zaworu grzejnika CO. Komunikacja między modułem TSSP a sterownikiem, odbywa się przez sieć LON – zmienne sieciowe. Moduł TSSP-02 realizuje następujące funkcje:

- ustawienie temperatur dla trybu: dziennego, nocnego, wakacyjnego i manualnego
- regulacja temperatury w pomieszczeniu według temperatury zadanej
- ustawienie programu regulacji temperatury dla każdego dnia tygodnia
- praca w trybie manualnym – od 1 do 99 dni
- praca w trybie wakacyjnym – od 1 do 99 godzin [104].

Urządzenie zasilane jest napięciem 12 V AC.

- Moduł DIGIO/T – to uniwersalny moduł wejść i wyjść dwustanowych, umożliwiający, poprzez zestaw wejść, wprowadzenie do sieci LonWorks informacji z czterech czujników dwustanowych. Zestaw czterech wyjść pozwala na sterowanie odbiorników małej mocy (np. styczniiki, przekaźniki). Moduł wyposażono dodatkowo w zestaw kilku podstawowych funkcji logicznych, rozszerzających jego możliwości zastosowań w układach sterowania, bez konieczności współpracy z dodatkowymi urządzeniami. Na stanowisku systemu LonWorks zainstalowano dwa moduły DIGIO/T, wyposażone w cztery wyjścia triakowe [104]. Funkcje realizowane przez urządzenie można uszeregować następująco:

- przetwarzanie na zmienne sieciowe stanu wejść dwustanowych
- zmiana stanu wyjść zależnie od statusu odpowiedniej zmiennej sieciowej
- separacja galwaniczna wejść i wyjść urządzenia
- możliwość realizacji prostych funkcji logicznych – AND, OR, przerzutnik typu RS
- funkcja prostego, programowalnego układu czasowego

Moduł DIGIO/T zasilany jest napięciem 24 V AC.

- Analizator parametrów sieci A2000 – może być wykorzystywany do szczegółowej analizy parametrów sieci elektrycznej trójfazowej 3x230/400 V AC, czteroprzewodowej i trójprzewodowej. Miernik mierzy chwilowe wartości napięć i prądów dla układów trójfazowych połączonych w gwiazdę, a prędkość z jaką dane te są próbkowane zależy bezpośrednio od częstotliwości zmian napięcia w linii, każda bowiem mierzona wielkość jest aktualizowana 32 razy w ciągu okresu przebiegu podstawowego w mierzonej sieci elektrycznej. Taka szybkość próbkowania sygnału mierzonego pozwala na pomiar amplitud składowych przebiegu do 15 harmonicznej. Na podstawie zmierzonych sygnałów oraz obliczeń prowadzonych na ich podstawie w czasie rzeczywistym, licznik może dostarczyć użytkownikowi bogaty zestaw parametrów sieciowych: wartości skuteczne prądu i napięcia, moc czynną, bierną i pozorną osobno dla każdej z faz, współczynnik mocy, wartość energii elektrycznej czynnej i biernej, wartości amplitud harmonicznych oraz współczynnika THD. Moduł analizatora posiada również własną pamięć danych, umożliwiającą rejestrację określonych sygnałów pomiarowych w okresie od 1 minuty do 4 dni. Częstotliwość

wość próbkowania wartości rejestrów w pamięci jest ustalana w zakresie od 0,3s do 30min. Wielkości mierzone są uśredniane zgodnie z przyjętym czasem próbkowania. Do przechowania w pamięci może być wybranych 12 wielkości mierzonych. Miernik wyposażono w dwa rodzaje interfejsów komunikacyjnych: RS485 oraz LonWorks, dających możliwość odczytu pamięci danych lub bieżących wartości mierzonych. Przy połączeniu analizatora do komputera klasy PC (łącze szeregowe RS232), możliwe jest konfigurowanie parametrów jego pracy oraz odczyt, obserwacja i obróbka wielkości mierzonych, w specjalnym dedykowanym oprogramowaniu METRAwin 10/A2000, działającym w środowisku Windows. Dostępne funkcje oprogramowania dedykowanego dla niniejszego analizatora to:

- odczyt wielkości mierzonych oraz ciągła rejestracja wielkości mierzonych dostarczanych cyklicznie
- różne formy prezentacji wielkości mierzonych – w formie wykresu liniowego w funkcji czasu, w formie tabeli, cyfrowe, analogowe (bargraf – wykres w postaci słupków)
- proste funkcje matematyczne do obróbki danych
- możliwość eksportu danych do innych aplikacji systemu Windows

Funkcją szczególnie przydatną przy ustalaniu poziomu jakości energii elektrycznej w określonym obszarze sieci zasilania, jest możliwość pomiaru harmonicznych oraz współczynnika THD, zarówno dla przebiegów prądu jak i napięcia [3].

- iLON 10 – interfejs sieciowy; urządzenie umożliwiające połączenia magistrali sieci LON z komputerem PC, wykorzystywany do konfiguracji, sterowania i zarządzania sieci. Komunikacja może być zrealizowana poprzez złącze Ethernet (standardowa karta sieciowa w komputerze PC) i protokół komunikacyjny TCP/IP, z poziomu standardowych przeglądarek internetowych, co pozwala operatorowi na kontakt z danym systemem sterowania praktycznie z każdego miejsca na Ziemi. Urządzenie w trakcie konfiguracji otrzymuje określony numer identyfikacyjny IP. Złącze typu DB-9 portu szeregowego, daje możliwość podłączenia dodatkowego modemu [24].

Kategorię drugą urządzeń zainstalowanych na stanowisku, lecz nie wyposażonych w układy Neuron-Chip, stanowią:

- Czytnik kluczy elektronicznych Dallas – umożliwia odczyt kodu przypisanego określonym kluczom elektronicznym, mającym formę „pastylek”. Urządzenie współpracuje bezpośrednio ze sterownikiem pomieszczenia STP-02/E i tworzy wraz z nim układ sterowania z funkcją kontroli dostępu do pomieszczenia [104], [104].

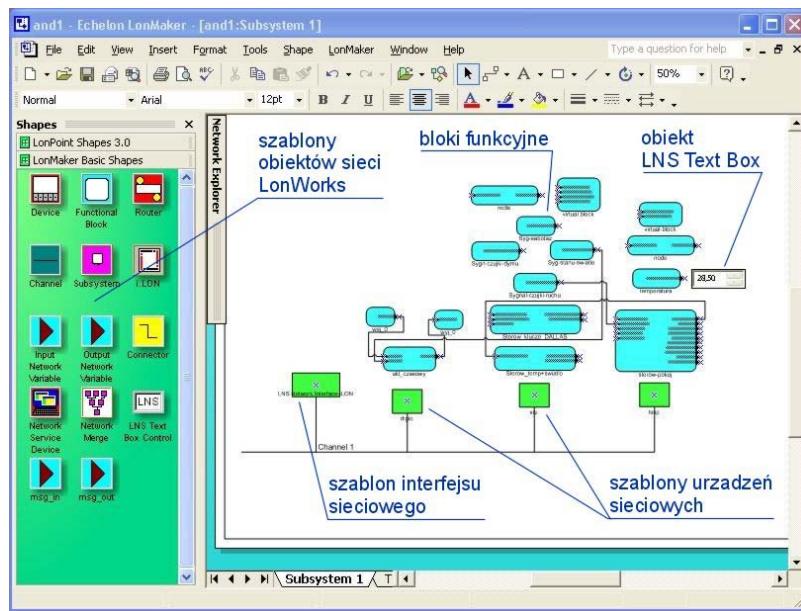
- Czujnik ruchu – zasilany z modułu sterownika pomieszczenia STP-02/E i przekazujący do niego informację o ruchu w obserwowanym pomieszczeniu. Informacja z czujnika przetwarzana jest w sterowniku i wykorzystywana np. do sterowania oświetleniem lub wysyłana do sieci LonWorks w postaci odpowiedniej zmiennej sieciowej. Sygnał o próbie demontażu czujnika (tzw. sabotaż), również przekazywany jest do sterownika pomieszczenia i może być wykorzystany np. jako sygnał alarmowy. Czujnik ruchu posiada styki normalnie zamknięte [104], [104].
- Czujnik dymu – podobnie jak czujnik ruchu współpracuje z modułem sterownika pomieszczenia STP-02/E. Informacja z tego czujnika wysyłana jest przez sterownik w postaci zmiany statusu odpowiedniej zmiennej sieciowej. Czujnik dymu ma styki normalnie zamknięte. Sygnał sabotażu jest zrealizowany na jednym obwodzie elektrycznym z sygnałem sabotażu czujnika ruchu [104], [104].
- Przekaźniki 230/24 V AC (2 sztuki) – urządzenia pomocnicze. Cewki przełączające przełączników przyłączone są do wyjść dwustanowych modułu DIGIO/T. Przekaźniki te sterują bezpośrednio załączaniem zespołów lamp na stanowisku.
- Transformatory zasilające 230/24 V AC oraz 230/12 V AC, zapewniające odpowiednie napięcia zasilania dla urządzeń wykorzystywanych na stanowisku. Transformatory zamontowano za płytą czołową stanowiska i poprzez listwy łączeniowe, połączono z odpowiednimi urządzeniami na stanowisku.
- Wyłączniki – urządzenia pomocnicze, podłączone do wejść dwustanowych modułu DIGIO/T. Jeden z wyłączników to standardowy wyłącznik dwupozycyjny (załącz/wyłącz), drugi to wyłącznik chwilowy dwupozycyjny.
- Zawór grzejnikowy – umożliwia sterowanie ogrzewaniem w pomieszczeniu. Urządzenie współpracuje bezpośrednio ze sterownikiem pomieszczenia oraz z czujnikiem i zadajnikiem temperatury. Moduł ten fizycznie przyłączony jest do jednego z wyjść sterownika STP-02/E oraz napięcia zasilającego 24 V AC.
- Przewód magistrali komunikacyjnej LonWorks – jako magistralę systemową do połączenia elementów systemu LonWorks na stanowisku, wykorzystano popularny przewód pary skręconej bez ekranowania.

### 3.1.2. Część programowa

Do konfiguracji, zarządzania i monitoringu sieci sterowania na stanowisku laboratoryjnym systemu LonWorks, wykorzystano wielofunkcyjne oprogramowanie firmy Echelon o nazwie LonMaker for Windows Integration Tool. Składa się ono z dwóch podstawowych

### Rozdział 3 – Opis stanowiska badawczego

modułów – zarządzania projektami<sup>62</sup> oraz interfejsu graficznego do tworzenia projektów sieci, wykorzystującego środowisko Visio Microsoft. Zastosowanie tej właśnie aplikacji umożliwiło dostosowanie interfejsu graficznego narzędzia do ogólnie przyjętych w środowisku inżynierskim standardów tworzenia i prezentacji złożonych systemów automatyki oraz układów sterowania procesami technologicznymi. Przykładowy wygląd okna programu LonMaker w trakcie konfigurowania sieci sterowania LonWorks, pokazano na rysunku 17.



Rysunek 17 - Widok okna programu LonMaker - Visio z otwartym projektem sieci LonWorks

Oprogramowanie umożliwia dwa tryby pracy: on-line – przy stałym połączeniu programu z interfejsem sieciowym sieci fizycznej (moduł iLON 10) oraz off-line – połączenie z siecią rzeczywistą na czas projektowania, wyłączone. Ze względu na niewielkie rozmiary oraz prostotę sieci zrealizowanej na stanowisku, w trakcie jej konfiguracji, w większości przypadków, stosowano tryb on-line. Drugi z trybów projektowania zalecany jest szczególnie przy konfiguracji dużych i skomplikowanych sieci automatyki [94].

Tworzenie nowego projektu instalacji lub wybór istniejącego już projektu do edycji, realizowany jest z poziomu modułu zarządzania projektami – widok interfejsu modułu zarządzania umieszczone na rysunku 18.

<sup>62</sup> Ang. Design Manager.



**Rysunek 18 - Widok okna programu LonMaker - moduł zarządzania projektami**

Przed uruchomieniem programu LonMaker należy odpowiednio zdefiniować fizyczny interfejs sieciowy pomiędzy magistralą systemową LonWorks, a komputerem PC (na stanowisku oznaczało to odpowiedni dobór adresów sieciowych IP). Przy tworzeniu nowego projektu otwiera się okno interfejsu graficznego Visio, z elementem reprezentującym interfejs sieciowy sieci rzeczywistej. Wszystkie operacje związane z tworzeniem nowej sieci sterowania (dołączanie nowych urządzeń sieciowych, fizyczne i logiczne łączenie urządzeń między sobą, programowanie poszczególnych elementów sieci, operacje na blokach funkcyjnych oraz wejściach i wyjściach urządzeń itd.) realizowane są prostą metodą „przeciagnij i upuść”, co znacznie przyspiesza i upraszcza ten proces. Również dalsze operacje, jak podgląd i ustawianie stanu zmiennych sieciowych w urządzeniach, są stosunkowo proste i przejrzyste dzięki zastosowaniu dedykowanych aplikacji (tzw. plug-in) typu LonBrowser czy LNS, stanowiących integralną część pakietu LonMaker [23], [94]. Aby programowa reprezentacja urządzeń w programie LonMaker została fizycznie połączona z rzeczywistymi modułami w sieci, niezbędne jest wykonanie operacji funkcjonalnego łączenia<sup>63</sup>. Fizyczne przyporządkowanie danego modułu do jego szablonu w programie, następuje przez naciśnięcie przycisku „service” na obudowie urządzenia. Osoba konfiguruująca sieć nie ma możliwości nadania własnego adresu fizycznego urządzeniu; adresem tym jest unikalny numer Neuron ID, nadawany przez producenta, o czym wspomniano już w rozdziale 2. Nie operuje ona również bezpośrednio

<sup>63</sup> Nazwa operacji nadana przez autora niniejszej pracy. Pochodzi od trudnego do bezpośredniego przetłumaczenia zwrotu angielskiego – commissioning. Powszechnie w środowisku programistów systemu LonWorks oraz EIB/KNX używa się w Polsce żargonowo terminu – komisjonowanie [65].

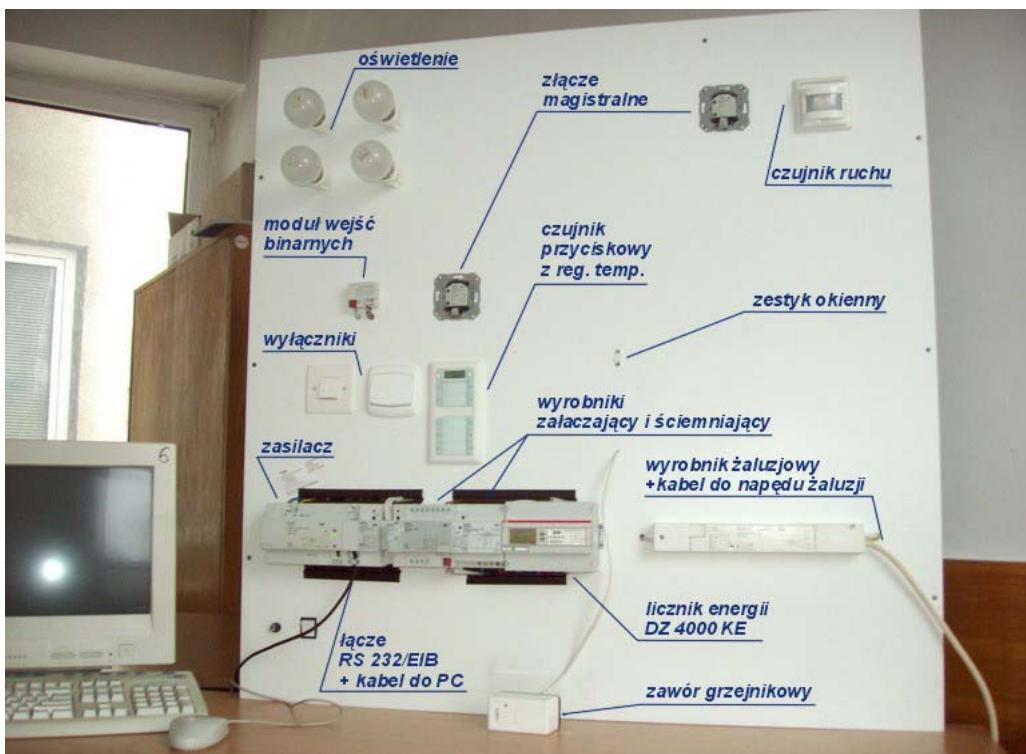
adresami grupowymi urządzeń. Adresy te są generowane automatycznie na podstawie połączeń zmiennych sieciowych pomiędzy określonymi blokami funkcyjnymi, a połączenia te wykonuje się w oknie projektu za pomocą odpowiedniego szablonu łączeniowego.

### 3.2. Stanowisko systemu EIB/KNX

Sieć sterowania w standardzie EIB/KNX zrealizowano głównie w oparciu o elementy firm GIRA<sup>64</sup> oraz ABB<sup>65</sup>. Zainstalowane urządzenia umożliwiają skonfigurowanie sieci sterowania wykonującej wszystkie niezbędne funkcje automatyki budynkowej dla pojedynczego pomieszczenia. Szczegółowy opis oraz specyfikację urządzeń magistralnych, jak również omówienie oprogramowania wykorzystywanego do konfiguracji sieci standardu EIB/KNX, zamieszczono w kolejnych podrozdziałach.

#### 3.2.1. Część sprzętowa

Na rysunku 19 zamieszczono widok ogólny stanowiska laboratoryjnego dla systemu EIB/KNX, z zaznaczeniem poszczególnych elementów sieciowych i pomocniczych.



Rysunek 19 – Widok ogólny stanowiska dla systemu EIB

<sup>64</sup> GIRA Giersiepen GmbH & Co. KG; informacje: [www.gira.de](http://www.gira.de) oraz [www.tema.pl](http://www.tema.pl).

<sup>65</sup> ABB Sp. z o.o. Warszawa; informacje: [www.abb.pl](http://www.abb.pl).

Niemal wszystkie urządzenia zainstalowane na stanowisku wyposażone są w moduł łącznościowy BCU z jednostką kontrolną BCC i mikroprocesorem<sup>66</sup>, bądź to umieszczoną w jednej obudowie z urządzeniem fizycznym, bądź też osobno dołączaną w postaci oddzielnego modułu, tzw. złącza magistralnego. Do tego typu urządzeń magistrala systemowa EIB/KNX podłączona jest bezpośrednio. Nieliczne urządzenia bez jednostki kontrolnej – wyłączniki, styk okienny – ściśle współpracują z urządzeniami wymieniającymi informacje poprzez magistralę systemową. Do urządzeń wyposażonych w moduł łącznościowy złącza magistralnego zaliczamy:

- Złącze magistralne EIB/KNX – element wykorzystywany jako złącze pomiędzy magistralą EIB/KNX i modułem użytkowym (np. czujnik przyciskowy). Określony moduł użytkowy przyłączany jest fizycznie do złącza poprzez złączkę 10-cio pinową. Złącze magistralne umożliwia odbiór, wysyłanie i przetwarzanie telegramów standardu EIB/KNX. W pamięci złącza umieszczane są aplikacje programowe dla danego urządzenia współpracującego z tym złączem, a adres fizyczny urządzenia w sieci określany w trakcie jej konfiguracji, przez naciśnięcie przycisku programowania umieszczonego na obudowie złącza [33].
- Czujnik przyciskowy z regulatorem temperatury – element współpracujący ze złączem magistralnym. Urządzenie to umożliwia załączanie, wyłączanie oraz sterowanie (przy połączaniu z innymi urządzeniami magistralnymi systemu EIB), praktycznie wszystkimi funkcjami automatyki, jakie mogą okazać się niezbędne w pomieszczeniu budynku. Moduł czujnika wyposażony jest w sześć podwójnych przycisków. Pierwszy z tych przycisków (z wyświetlaczem LCD) służy do obsługi i programowania układu regulacji temperatury. Pozostałe 5 przycisków może być wykorzystane do realizacji różnych funkcji nastawianych programowo, zależnie od aktualnych potrzeb użytkownika. Wyboru poszczególnych funkcji i parametrów pracy czujnika, określonych w odpowiednich aplikacjach, dokonuje się programowo w trakcie konfiguracji urządzenia w sieci EIB/KNX. Moduł może realizować następujące funkcje:
  - włączanie i wyłączanie oświetlenia
  - załączanie i wyłączanie oświetlenia wraz z funkcją ściemniania
  - sterowanie żaluzjami okiennymi
  - zapamiętanie i wybór określonych tzw. scen świetlnych (aranżacja oświetlenia)

---

<sup>66</sup> Szczegóły, patrz: rozdział 2.3.

- ręczny lub automatyczny (połączony z kontrolą obecności) wybór trybu pracy regulatora temperatury
- możliwość zablokowania pojedynczych lub wszystkich funkcji klawiszy.

Ciągły regulator temperatury wbudowany w urządzenie, umożliwia pomiar aktualnej temperatury w pomieszczeniu, jej porównanie z temperaturą zadaną w danym momencie oraz wygenerowanie wielkości nastawczej do sterowania położeniem zaworu grzejnikowego. Sterownik zapamiętuje podane przez użytkownika wartości temperatur dla określonej pory dnia i trybu pracy (tryb dzienny – komfort, tryb z oczekiwaniem na obecność – standby, tryb nocny, tryb wymuszonego ogrzewania lub chłodzenia). Układ posiada również zabezpieczenie przed nadmiernym ogrzaniem lub schłodzeniem pomieszczenia [34]. Regulator współpracuje z modułem zaworu grzejnika – ciągły sygnał nastawczy w postaci wartości lub wyrobnikiem przełączającym – dwustanowy sygnał załączający.

Tak znaczne nagromadzenie funkcji w pojedynczym urządzeniu<sup>67</sup> sprawia, iż jego skonfigurowanie jest trudne. Dla zwiększenia przejrzystości nastaw niezbędnych parametrów, producent dołącza do urządzenia dodatkowe oprogramowanie, uruchamiające się automatycznie z poziomu programu głównego ETS. Urządzenie nie wymaga dodatkowego źródła zasilania – zasilanie przez magistralę EIB/KNX.

- Moduł wejść binarnych bezpotencjałowych – posiada 4 wejścia binarne do przyłączenia przycisków lub innych styków, których procesy łączniowe zamieniane są na odpowiednie telegramy magistralne standardu EIB/KNX. Zależnie od ustawienia parametrów może ono realizować następujące funkcje:
  - włączanie i wyłączanie urządzeń (np. oświetlenie)
  - przełączanie – krótkie naciśnięcie przycisku: włączenie, długie naciśnięcie: wyłączenie; możliwe przełączanie z cyklicznym wysyłaniem telegramów
  - sterowanie ściemnianiem oświetlenia
  - sterowanie żaluzjami

Moduł standardowo przeznaczony jest do zainstalowania w puszcze podtynkowej pod przyciskiem i przyłączany jest bezpośrednio do magistrali EIB/KNX, która stanowi również dla niego źródło zasilania [33], [34], [35].

- Czujnik ruchu – to drugi z obiektów magistralnych współpracujący z dodatkowym złączem magistralnym EIB/KNX. Czujnik ten zbudowany jest na bazie pasywnego czujnika podczerwieni, który po rozpoznaniu ruchu źródła ciepła w pomieszczeniu wysyła tele-

---

<sup>67</sup> Ilość obiektów komunikacyjnych dla czujnika przyciskowego wynosi 52

gram łączniowy. Moduł posiada liczne funkcje nastawiane parametrycznie w programie ETS [33], [34], [35]:

- przełączanie trybu pracy jako samoczynny wyłącznik lub ostrzegawczy czujnik ruchu (w tym trybie telegram wysyłany jest po rozpoznaniu określonej parametrycznie ilości ruchów w określonym przedziale czasowym)
  - przy trybie samoczynnego wyłącznika, moduł może realizować następujące funkcje: załączanie, nadawanie (wysyłanie) wartości lub przywoływanie scen świetlnych
  - parametrycznie ustawiany poziom oświetlenia dla zadziałania czujnika lub działanie niezależne od poziomu oświetlenia
  - wysyłanie alarmu przy próbie demontażu czujnika
  - ustawiany rodzaj telegramu na początku i końcu wykrycia ruchu
  - nastawienie czułości oraz dodatkowego opóźnienia potencjometrami na obudowie modułu czujnika
  - przełączanie suwakiem rodzaju pracy czujnika – stale załączony, wyłączony lub praca automatyczna
- Wyrobnik załączający – urządzenie z wbudowanym złączem magistralnym, wykorzystywane do załączania sześciu niezależnych obwodów obciążeń<sup>68</sup>. Moduł zamontowany jest na znormalizowanej szynie montażowej. Standardowo producent udostępnia cztery programy aplikacyjne dla tego wyrobnika. Zależnie od wybranej aplikacji programowej urządzenie ma możliwość realizacji następujących funkcji [33], [34], [35]:
    - definicja zestyków jako normalnie zamknięte lub otwarte oraz wybór stanu zestyków w momencie wystąpienia awarii napięcia na magistrali systemowej i po jego powrocie
    - opóźnienie załączania i/lub wyłączania każdego z zestyków niezależnie
    - przyporządkowanie dwóch obiektów komunikacyjnych dla każdego wyjścia modułu – załączanie i meldunek zwrotny (zmiana stanu zestyku lub brak zmiany)
    - dodatkowe funkcje logiczne wyjść oraz ustawienie stanów wymuszonych
  - Wyrobnik ściemniający – wykorzystywany do sterowania pojedynczym zespołem oświetleniowym (ściemnianie/rozjaśnianie); może współpracować z czujnikiem przyciskowym lub modułem wejść binarnych. Dodatkowo wyrobnik ten może być sterowany przy użyciu zewnętrznych przycisków, napięciami 230 V AC, a komendy generowane przez te przyciski, przesyłane przez magistralę EIB/KNX [34]. Wśród funkcji dostępnych dla tego urządzenia wymienić należy:

---

<sup>68</sup> Obciążalność styków: 230 V AC, 6 A.

- ustawienie początkowej jasności światła po włączeniu oświetlenia; możliwe ustawienie funkcji zapamiętania ostatniego poziomu jasności przed wyłączeniem, jako poziomu startowego po ponownym włączeniu
- nastawienie maksymalnej wartości jasności światła w trakcie procesu regulacji
- ustawienie parametrów czasowych związanych z szybkością regulacji – zmian natężenia światła
- wykorzystanie komunikatów generowanych przez zewnętrzne przyciski (przesłanie przez magistralę do sterowania innych urządzeń)
- Wyrobnik żaluzjowy – pojedynczy moduł do sterowania silnikiem rurowym napędu żaluzji lub rolet okiennych. Podobnie jak wyrobnik ściemniający może współpracować z czujnikiem przyciskowym lub modułem wejść binarnych. Do napędzania silnika rurowego wymagane jest doprowadzenie do wyrobnika niezależnego zasilania zewnętrznego 230 V AC [33], [34]. Własności i funkcje nastawiane za pomocą oprogramowania to:
  - ustawienie ograniczenia czasowego dla ruchu żaluzji
  - nastawialny czas włączania przy sterowaniu listew żaluzjowych oraz nastawialny czas włączenia przy zmianie kierunku ruchu żaluzji
  - ryglowanie mechanizmu przez sygnał z urządzenia zewnętrznego (np. wiatromierz) z możliwością ustawienia reakcji silnika na sygnał ryglujący – żaluzja w góre lub w dół
- Moduł logiczny – umożliwia realizację złożonych funkcji łączeniowych, zgodnie z regułami logiki i algebry łączeniowej. Połączenie urządzenia z magistralą systemową następuje poprzez zamontowanie na szynie montażowej z wbudowaną szyną danych. Funkcje urządzenia są następujące:
  - 1 bramka 8 wejściowa (OR/AND/NOR/NAND)
  - 2 bramki 4 wejściowe (OR/AND/NOR/NAND/ExOR/ExNOR)
  - 2 bramki 2 wejściowe (OR/AND/NOR/NAND)
  - konwersja telegramów 1-bitowych na 8-bitowe (bit na wartość lub numer żądanej sceny świetlnej)
  - filtr/czas – przetwarzanie telegramów i dodatkowe funkcje czasoweWszystkie funkcje możliwe do zrealizowania w module nastawiane są parametrycznie w trakcie jego konfiguracji [33], [34], [35]. Zasilanie przez magistralę systemową.
- Zawór grzejnikowy – moduł elektromechanicznego napędu zaworu z dwoma dodatkowymi bezpotencjałowymi wejściami binarnymi, przeznaczony do montażu na podstawie zaworu termostatycznego. Urządzenie zamontowane na grzejniku, konwektorze, rozdzielaczu ogrzewania podłogowego, wykorzystywane jest do regulacji ogrzewania w po-

mieszczeniu. Napęd zastosowany w module to regulator proporcjonalny przyłączany bezpośrednio do magistrali systemowej, która stanowi dla niego również źródło zasilania. Zawór sterowany jest za pośrednictwem termostatu magistralnego, umieszczonego w czujniku przyciskowym z ciągłym regulatorem temperatury [33], [34], [35]. Napęd zaworu grzejnikowego może przybierać 256 pozycji pomiędzy pozycjami krańcowymi - zamknięty/otwarty.

- Licznik energii elektrycznej DZ 4000 KE – moduł wyposażony w interfejs standardu EIB; umożliwia pomiar energii czynnej i biernej w sieciach 2, 3 i 4 przewodowych, z obciążeniem symetrycznym lub niesymetrycznym. Dane o zużyciu energii obliczane są na podstawie pomiaru prądów i napięć w poszczególnych fazach sieci zasilającej. Ponieważ wykorzystany na stanowisku miernik przyłączany jest bezpośrednio do sieci mierzonej tzn. wejścia prądowe nie wymagają stosowania przekładników, przy kalkulacji i odczycie pomiarów nie jest konieczne uwzględnianie przekładni. Uwagę zwraca również dość znaczny zakres prądów jakie mogą być mierzone tym licznikiem, bez stosowania dodatkowych przekładników – zakres od 0,05 A do 65 A. Na wbudowanym wyświetlaczu LCD mogą być pokazane następujące wielkości mierzone: moc czynna i bierna, wartości skuteczne napięcia i prądu w każdej z faz, współczynnik mocy dla każdej z faz oraz sumacyjny dla połączenia typu gwiazda oraz częstotliwość sieci. Przy odczycie danych z licznika po przez magistralę EIB/KNX, użytkownik ma dostęp do obiektów EIB/KNX odpowiadających wartościom zużytej energii czynnej i biernej oraz chwilowej mocy czynnej i biernej (wartości mierzone są aktualizowane co 5 sekund). Wartość mocy chwilowych może być wysyłana przez licznik w postaci odpowiedniego telegramu, po zmianie tej mocy o określonej parametrycznie wartości lub standardowo co 8 sekund. Urządzenie przeznaczone jest do montażu na standardowej szynie montażowej, jednak komunikacja z magistralą systemową nie odbywa się poprzez wbudowaną w nią szynę danych, lecz przez oddzielne złącze standardu EIB/KNX. Dodatkowym walorem miernika jest brak części mechanicznych w części pomiarowej, co zwiększa możliwości montażowe tego modułu oraz współczynnik bezawaryjności [1].

Pozostałe urządzenia zainstalowane na stanowisku są bądź urządzeniami systemowymi, gwarantującymi poprawną pracę sieci sterowania i komunikację przez magistralę systemową, bądź dodatkowymi urządzeniami pomocniczymi (np. włączniki, zespoły żarówek, styki itp.). Poniżej omówiono szerzej niektóre z nich [33], [34], [35]:

- Zasilacz systemowy EIB/KNX z wbudowanym dławikiem – urządzenie przeznaczone do zasilania pojedynczej linii magistralnej systemu EIB/KNX. Dzięki dodatkowemu prze-

łącznikowi na obudowie umożliwia szybkie przeprowadzenia resetu linii (zanik napięcia). Napięcie znamionowe strony wtórnej zasilacza wynosi 29 V AC i po wyprostowaniu przekazywane jest na magistralę systemową, poprzez zamontowanie zasilacza na szynie montażowej z wklejoną szyną danych lub przez dodatkowe oznaczone wyjście na obudowie urządzenia. Wbudowany dławik służy do galwanicznej separacji magistrali systemowej od napięcia zasilającego. Przepuszcza on napięcie stałe (zasilanie), zaś dla sygnału zmiennego (dane) stanowi wysoką impedancję. Obecnie w ofercie firmy GIRA jest również zasilacz z możliwością dołączenia dodatkowego, zewnętrznego akumulatora zapewniającego zasilanie awaryjne do 30 minut, w przypadku zaniku napięcia w sieci zasilającej [79].

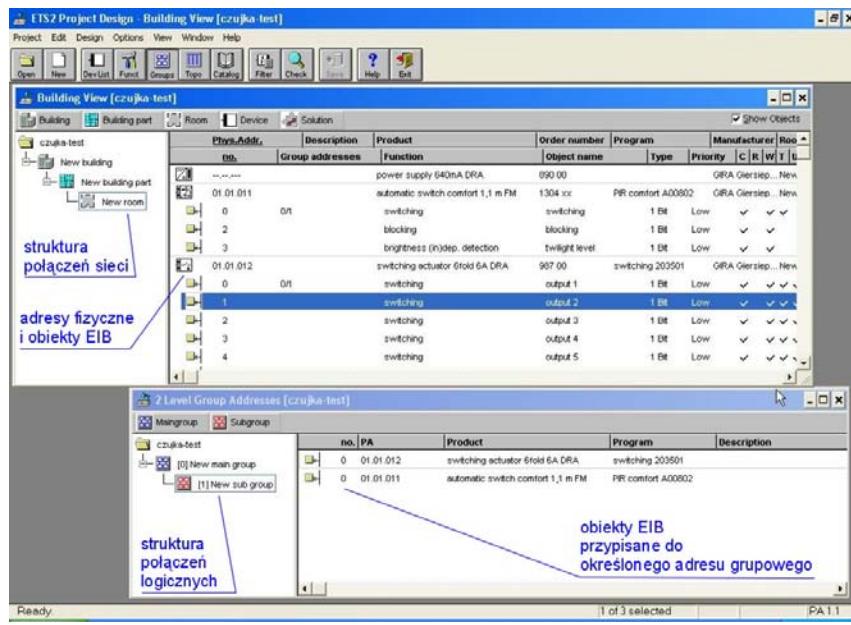
- Złącze RS232/EIB/KNX – moduł umożliwiający połączenie magistrali systemowej z komputerem PC przez złącze 9-pinowe typu Sub D. Dzięki temu połączeniu możliwe jest konfigurowanie, zarządzanie i monitoring sieci sterowania EIB/KNX z komputera nadrzędnego.
- Łącznik magistralny – element służy do wykonywania połączeń pomiędzy kilkoma szynami danych zamontowanych w rozdzielnicy lub pomiędzy wbudowaną szyną danych, a przewodem magistralnym (ta ostatnia możliwość wykorzystana na stanowisku).
- Zestyk okienny – styk kontaktronowy wykorzystywany do sygnalizacji położenia ramy okiennej – okno otwarte lub zamknięte. Styk ten współpracuje z układem ciągłej regulacji temperatury w pomieszczeniu, a przyłączony jest fizycznie do jednego z wejść binarnych zaworu grzejnikowego.
- Wyłączniki – urządzenia pomocnicze, podłączone do bezpotencjałowych wejść dwustanowych modułu wejść binarnych. Jeden z wyłączników to standardowy wyłącznik dwupozycyjny (załącz/wyłącz), drugi to wyłącznik chwilowy.
- Silnik rurowy – silnik elektryczny do otwierania/zamykania rolet lub żaluzji. Przyłączany bezpośrednio do wyrobnika żaluzjowego, z którego jest zasilany i sterowany. Napęd wyposażony jest dodatkowo w wyłącznik bezpieczeństwa – silnik samoczynnie wyłącza się w momencie, gdy natrafia na przeszkodę przy ruchu żaluzji w dół lub w górę [33].
- Magistralna szyna danych – element w postaci płytki drukowanej z czterema równoległymi ścieżkami przewodzącymi, przy czym jako ścieżki magistralne wykorzystywane są dwie wewnętrzne ścieżki w szynie. Szyna danych przeznaczona jest do montażu w standardowej szynie montażowej tablic rozdzielczych.

- Przewód magistralny – do połączenia elementów magistralnych na stanowisku EIB/KNX (z wyjątkiem elementów łączonych przez szynę danych), wykorzystano popularny przewód pary skręconej bez ekranowania, stanowiący komunikacyjną magistralę systemową.

### 3.2.2. Część programowa

Budowa, konfiguracja i monitoring sieci automatyki budynkowej realizowanych w standardzie EIB/KNX, możliwe są dzięki dedykowanemu oprogramowaniu ETS, instalowanemu na komputerze PC z systemem Windows. Komunikacja magistrali systemowej z komputerem nadrzędnym następuje przez złącze szeregowe RS232, które po otwarciu programu należy odpowiednio skonfigurować, określając przede wszystkim właściwy port szeregowy (COM) wykorzystywany do połączenia oraz szybkość transmisji danych. Program ETS2 w wersji 1.3 składa się z kilku modułów programowych, uruchamianych z okna głównego:

- Moduł projektowy – umożliwia tworzenie projektów konfiguracji i połączeń logicznych urządzeń w sieci sterowania; przykładowy wygląd okna projektowego z otwartymi widokami adresów fizycznych i grupowych, przedstawia rysunek 20 W widoku adresów fizycznych ustala się fizyczną strukturę połączeń urządzeń magistralnych w oparciu o odpowiedni dobór adresów fizycznych. Ważną cechą konfigurowania sieci w standardzie EIB/KNX jest możliwość nadania własnych, dowolnych adresów fizycznych każdemu urządzeniu magistralnemu. Adresy muszą być oczywiście tworzone w oparciu o ściśle określone reguły obowiązujące w adresowaniu urządzeń systemu EIB/KNX, o czym była już mowa w rozdziale 2, jednak możliwość ich samodzielnego tworzenia pozwala na wykorzystanie ich jako elementu ułatwiającego orientację w budowie sieci oraz lokalizację konkretnego urządzenia (patrz: struktura połączeń w sieci – rysunek 20). Dla funkcjonalnego (logicznego) połączenia urządzeń, wykorzystuje się okno widoku grupowego oraz odpowiednie obiekty EIB/KNX. W widoku tym tworzy się również grupy i podgrupy logiczne, nadając im własne nazwy oraz przyporządkowując konkretne obiekty.



Rysunek 20 - Widok okna programu ETS2 z otwartym modelem tworzenia projektu

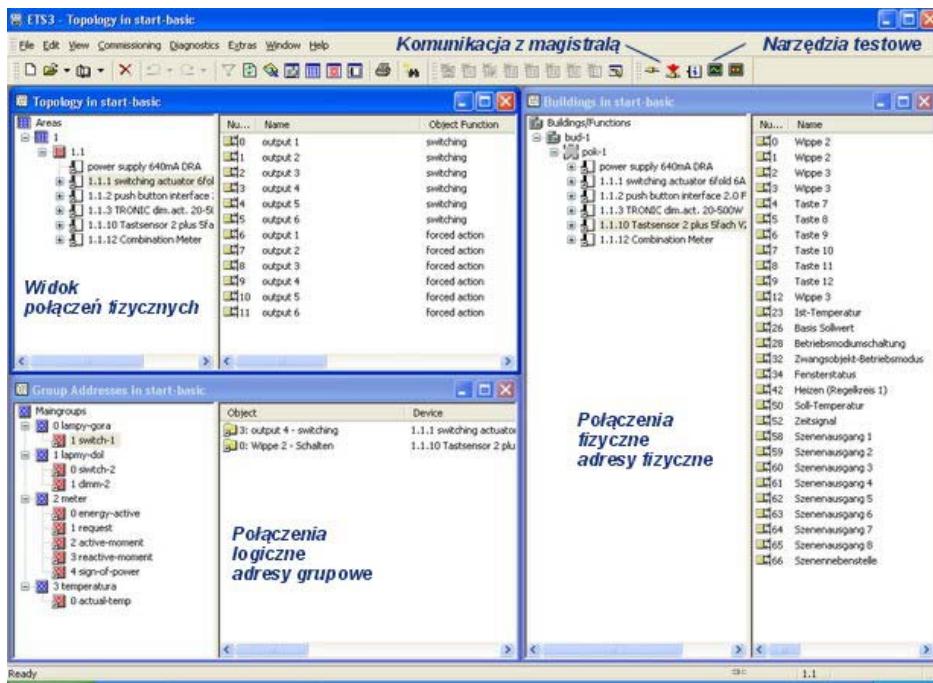
- Moduł łączenia funkcjonalnego (Commissioning) – powoduje wejście programu ETS2 w tryb on-line (połączenie komputera PC z magistralą systemową EIB) i umożliwia przypisanie adresów fizycznych konkretnym urządzeniom w sieci sterowania, podobnie jak w systemie LonWorks, poprzez naciśnięcie przycisku serwisowego na obudowie urządzenia oraz załadowanie do nich odpowiednich aplikacji. Załadowanie aplikacji do urządzenia o określonym adresie fizycznym, powoduje również jego połączeni logiczne. W module łączniowym programu ETS2 dostępne są różne funkcje testujące sieć sterowania. Możliwe jest skanowanie wybranych gałęzi sieci w celu sprawdzenia dostępności adresów fizycznych, sprawdzanie stanu oraz prawidłowości działania określonych urządzeń (zadanych przez określony adres fizyczny). W razie potrzeby moduł pozwala również na wysyłanie prostych telegramów dla określonych adresów grupowych, jak również odczyt (nagrywanie) i analizę telegramów przesyłanych przez magistralę systemową [27].
- Moduł zarządzania projektami – pozwala w prosty sposób na podstawowe zarządzanie projektami stworzonymi w programie ETS2. W module tym istnieje możliwość importowania projektów stworzonych wcześniej i zapisanych w postaci plików na dysku twardym komputera oraz eksportowania projektów do postaci pliku. Tak zapisane pliki mogą być np. przeniesione w postaci elektronicznej, w celu wykorzystania ich lub obróbki na innym komputerze. Możliwa jest również zmiana nazwy oraz innych informacji związanych z projektem.

- Moduł zarządzania bibliotekami urządzeń – moduł programu ETS2 przeznaczony głównie do importu bibliotek aplikacji programowych dla urządzeń określonych producentów. Biblioteki najczęściej udostępniane są w formie plików możliwych do ściągnięcia ze stron internetowych tychże producentów. Aplikacje z bibliotek są niezbędne do prawidłowej konfiguracji oraz określenia funkcji realizowanych przez urządzenia magistralne [27].

Organizacja programu oraz przełączanie pomiędzy poszczególnymi modułami jest dość proste i pozwala osobie konfigurującej sieć na skupienie się przede wszystkim nad budową projektu, nie zaś nad rozgryzaniem zasad funkcjonowania oprogramowania. Wszystkie operacje łączenia i dodawania szablonów urządzeń do projektu realizowane są metodą „przeciagnij i upuść”, a zmiana ich parametrów dostępna z poziomu menu dostępnego przez kliknięcie myszką na symbolu urządzenia.

Program ETS2 posiada również możliwość generacji plików konfiguracyjnych dla programu OPC Server, w oparciu o istniejący projekt sieci. Aplikacja OPC Server, instalowana i działająca niezależnie od programu ETS2, została wykorzystana na stanowisku laboratoryjnym do obserwacji i rejestracji zdarzeń w sieci sterowania – wysłanie telegramu, reakcja urządzenia odbiorczego, sprawdzenie prawidłowości działania urządzeń w sieci.

W trakcie budowy stanowisk oraz realizacji badań laboratoryjnych, na rynku pojawił się pakiet ETS3, który ostatecznie został wykorzystany do konfiguracji, a następnie kontroli sieci sterowania. W pracy opisano jednak szczegółowo moduły pakietu ETS2, ponieważ jest on ciągle popularny wśród instalatorów i użytkowników, a występują one również w pakiecie ETS3. Podstawową i pozytywną różnicą w stosunku do poprzedniej wersji oprogramowania jest rezygnacja twórców programu z jego podziału na przełączane moduły. Szczególnie uciążliwe dla projektanta sieci w pakiecie ETS2 było każdorazowe przełączanie się pomiędzy modułem projektowym, a modułem łączenia funkcjonalnego urządzeń w celu sprawdzenia poprawności funkcjonowania zmian dokonywanych na bieżąco w projekcie. Pod tym względem pakiet ETS3 jest znacznie bardziej przyjazny dla użytkownika, umożliwiając mu komunikację z siecią oraz programowanie poszczególnych urządzeń sieciowych, bezpośrednio z widoku projektu. Fakt ten to pierwsza i zasadnicza różnica, działająca pozytywnie na każdego kto kiedykolwiek projektował sieć sterowania EIB/KNX korzystając z pakietów ETS poprzednich wersji. Oprócz tego wszystkie inne aplikacje działające dotychczas niezależnie od pakietu ETS zostały w programie ETS3 z nim zintegrowane, co również znacznie ułatwia prace projektowe jak i późniejszą obserwację zdarzeń w sieci automatyki. Wygląd okna pakietu ETS3 przedstawiono na rysunku 21.



Rysunek 21 - Widok okna programu ETS3

### 3.3. Porównanie systemów LonWorks i EIB/KNX na podstawie doświadczeń zebranych w trakcie realizacji stanowisk badawczych

Doświadczenia zebrane przez autora w trakcie realizacji stanowisk laboratoryjnych dla obu rozważanych w pracy systemów, pozwalają na ich kompleksowe porównanie w aspekcie związanym zarówno z fizycznym montażem oraz łączeniem poszczególnych urządzeń systemowych jak i ich późniejszym programowaniem i eksploatacją.

#### 3.3.1. Montaż, łączenie i konfiguracja urządzeń sieciowych

Jak już wspomniano stanowiska laboratoryjne dla obu systemów zrealizowano z wykorzystaniem medium transmisyjnego w postaci przewodu pary skręconej. Połączenie urządzeń sieciowych kablem magistralnym jest czynnością dość prostą, by nie powiedzieć intuicyjną. Zarówno producenci urządzeń dla standardu LonWorks jak i EIB/KNX w sposób wyraźny i jednoznaczny oznaczyli przyłącza dla magistrali, co ma szczególne znaczenie zwłaszcza w systemie EIB/KNX, gdzie konieczne jest zachowanie biegunkowości magistrali.

Sieć sterowania standardu LonWorks zbudowana na stanowisku, oparta jest o cztery urządzenia stanowiące węzły sieci (z układem Neuron Chip), zaś pozostałe to elementy pomocnicze, współpracujące z układami I/O węzłów sieci, co sprawia, iż ogólna cena zakupu elementów do wykonania całej instalacji automatyki jest stosunkowo niska. Fakt ten determinuje również istnienie jedynie kilku krótkich odcinków magistrali systemowej, jednocześnie jednak wymu-

sza pojawienie się znacznej ilości przewodów dodatkowych dla przyłączenia urządzeń pomocniczych oraz ich zasilenia. Osobnego zasilania wymagają również wszystkie urządzenia stanowiące węzły sieci. Niestety, z przyczyn niezrozumiałych dla autora urządzenia te, choć zakupione u jednego producenta, wymagają zasilania o różnym poziomie napięcia (24 V DC lub AC, 12 V AC). Fakt ten nastręcza dodatkowych trudności związanych z koniecznością instalacji niezbędnych zasilaczy lub przynajmniej transformatorów oraz ich prawidłowego przyłączenia do elementów systemu. Trudności tego typu pojawiły się w trakcie realizacji prac łączeniowych na stanowisku, choć sieć sterowania jest tu prosta, zarówno ze względu na niewielką ilość urządzeń oraz realizowane przez nie funkcje. „Sztuczne” zwiększenie ilości urządzeń tworzących sieć ma też, zdaniem autora, miejsce w przypadku konieczności zastosowania dodatkowych przekaźników współpracujących z wyjściami cyfrowymi układów DIGIO/T dla sterowania odbiorników zasilanych napięciem 230V AC (zespoły żarówek), ze względu na ich ograniczone do poziomu 50V AC maksymalne napięcie sterowanego odbiornika. Ostatecznie stwierdzić należy, iż wykonanie całej instalacji było dość trudne i wymagało większej uwagi i ostrożności ze strony wykonawcy, niż w przypadku opisanej w dalszej części tego porównania instalacji standardu EIB/KNX. Znaczna ilość przewodów w sieci (oprócz magistrali danych) powoduje dodatkowe trudności z jej analizą np. w przypadku rozbudowy lub modernizacji w trakcie późniejszej eksploatacji. Autor ma świadomość, iż niektóre z powyższych problemów mogą być wynikiem jedynie faktu zastosowania urządzeń sieci LON pochodzących od wybranego, konkretnego producenta. Zastosowanie urządzeń z interfejsem LON innych producentów, wyeliminowałoby część wspomnianych wyżej trudności, nie można tego jednak ocenić jedynie na podstawie zakupu jednego urządzenia (analizator sieci zasilania A2000), zwłaszcza iż jest to urządzenie o specyficzny przeznaczeniu. Pominając wymienione powyżej krytyczne uwagi podkreślić należy, iż po dość żmudnym wykonaniu wszystkich połączeń fizycznych, cała sieć wykazuje dość wysoki stopień niezawodności i pracuje bez zarzutu. Bardzo pozytywne wrażenie wywiera również zastosowany na stanowisku sposób komunikacji z magistralą poprzez interfejs iLON 10, z zastosowaniem popularnego internetowego protokołu TCP/IP. Rozwiążanie to pozwala na stosunkowo proste skonfigurowanie parametrów komunikacyjnych komputera z magistralą LON oraz np. na wykorzystanie standardowych przeglądarek internetowych jako elementu kontroli i obserwacji zdarzeń w sieci automatyki. Ponieważ sieć na stanowisku składa się z niewielkiej ilości urządzeń, zastosowano tu najprostszy sposób ich adresowania w oparciu o numer ID i wykorzystanie przycisków „SERVICE” na urządzeniach, których przyciśnięcie w określonym momencie programowania jednoznacznie identyfikuje dany węzeł. Zdaniem autora, na podstawie przeprowa-

dzonych prac, procedura ta jest stosunkowo prosta i zrozumiała dla przeciętnego użytkownika sieci sterowania oraz działa niezawodnie w tego typu instalacjach.

Sieć automatyki w standardzie EIB/KNX zrealizowana na stanowisku zbudowana jest niemalże w całości z urządzeń stanowiących jednocześnie urządzenia magistralne (z mikroprocesorem). Wyjątek stanowią standardowe wyłączniki współpracujące z wejściami binarnymi oraz zestyk okienny, które jednak nie wymagają żadnego dodatkowego zasilania. Tu właśnie pojawia się wspomniany już wcześniej element przewagi standardu EIB/KNX przy wykorzystaniu pary skręconej jako magistrali systemowej i jednocześnie sieci zasilania. Fakt ten daje możliwość wyeliminowania dodatkowych zasilaczy oraz przewodów zasilających węzły sieci. Niezbędne jest jedynie zainstalowanie pojedynczego zasilacza, przyłączanego bezpośrednio do sieci zasilania 230V AC, którego wyjście, odseparowane galwanicznie, łączone jest z magistralą. Oczywiście zasilacz taki ma ograniczoną obciążalność i przy sieciach złożonych z większej ilości elementów konieczne jest zastosowanie większej ich liczby. Takie rozwiązanie zasilania determinuje również dużą prostotę i intuicyjność montażu oraz łączenia poszczególnych elementów składowych sieci, jak również przejrzystość systemu. Fakt, iż prawie wszystkie urządzenia tworzące system sterowania zawierają w sobie układ mikroprocesorowy, generuje dość znaczne koszty ich zakupu. Jednakże, zdaniem autora, prostota ich montażu, jak również „elegancja” wykonania nawet złożonych systemów sterowania (przejrzystość i intuicyjność połączeń w sieci), w wystarczającym stopniu rekompensuje poniesione wydatki, poprzez wysoki komfort pracy w trakcie realizacji projektu oraz jego późniejszej eksploatacji (łatwość przekonfigurowania i dołączania nowych urządzeń). Niektóre z urządzeń sieciowych, w odróżnieniu od zastosowanych w systemie LonWorks, dostarczanych jest standardowo przez producenta z kilkoma aplikcjami programowymi, co stanowi o ich dużej elastyczności funkcjonalnej i możliwości dopasowania zrealizowanej już instalacji do zmieniających się w czasie eksploatacji potrzeb użytkownika.

W standardzie EIB/KNX zastosowano podobny jak w LON sposób identyfikacji poszczególnych urządzeń sieciowych, w oparciu o adres fizyczny i jego przypisanie do konkretnego urządzenia poprzez przyciśnięcie przycisku „SERVICE”. W trakcie programowania urządzeń na stanowisku znakomita ich większość zachowywała się bez zarzutów. Wyjątek stanowił czujnik przyciskowy EIB/KNX z regulatorem temperatury, współpracujący ze złączem magistralnym. Otóż okazało się, iż jednorazowe przypisanie temu urządzeniu określonego adresu fizycznego determinuje jego użytkowanie w niezmienionej formie w trakcie dalszych prac projektowych, tzn.: o ile procedura usunięcia przypisanego adresu fizycznego innym urządzeniom sieciowym i nadanie adresu nowego przebiega bez żadnych problemów, o tyle w

przypadku ww. czujnika jest ona utrudniona, zwłaszcza jeżeli chodzi o nadanie nowego adresu. Przyczyna tego zjawiska jest trudna do wyjaśnienia. Autor konsultował się w tej sprawie z pracownikami firmy dostarczającej i rozpowszechniającej takie urządzenia, którzy nie potrafieli udzielić jednoznacznej odpowiedzi, stwierdzając, że również zaobserwowali podobny problem, a rozwiążaniem jest przyjęcie jednorazowo stałego adresu fizycznego. Wstępnie tłumaczyć je można dość znacznym skomplikowaniem tego modułu, która objawia się m.in. koniecznością stosowania dodatkowej aplikacji w trakcie jego programowania. Autor żywi nadzieję, iż w kolejnych wersjach omawianego urządzenia producent dostrzeże i wyeliminuje przyczyny tego problemu. Jako rozwiązanie praktyczne tej kwestii proponuje się zapamiętanie zaprogramowanego na początku adresu fizycznego i jego konsekwentne stosowanie w trakcie całej eksploatacji urządzenia. W przypadku usunięcia lub nieznajomości wcześniejszego adresu fizycznego, ustawienie nowej wartości jest możliwe, natomiast jednak wielu problemów oraz jest czasochłonne.

#### **3.3.2. Programowanie i kontrola stanu sieci automatyki budynkowej**

Podstawowa różnica między dwoma porównywany systemami dotyczy rodzajów i ilości możliwych do zastosowania interfejsów komunikacji między komputerem PC na którym uruchamiane jest oprogramowanie do konfiguracji sieci, a magistralą systemową. Tu wyraźnie dominuje system LonWorks, który oferuje urządzenia interfejsu do większości popularnych w technice standardów komunikacji – RS232, RS485, protokół TCP/IP, modemy. Najbardziej rozpowszechnionym z nich jest komunikacja oparta o numery IP, zastosowana również na stanowisku laboratoryjnym. Standard EIB/KNX oferował dotychczas tylko jeden interfejs komunikacji z wykorzystaniem portu szeregowego RS232, którą to metodę zastosowano w trakcie budowy sieci na stanowisku. Jak już wspomniano wcześniej w tym rozdziale, w trakcie realizacji prac badawczych na rynku pojawił się nowy pakiet oprogramowania (ETS3) obsługujący oprócz portu szeregowego, również port USB i protokół sieciowy TCP/IP. Zauważ jednak należy, iż większość już istniejących sieci automatyki standardu EIB/KNX działa w oparciu o dotychczasowe możliwości i wykorzystuje porty szeregowe RS232.

Pakiet programowy LonMaker dedykowany do projektowania, konfiguracji i kontroli sieci systemu LonWorks, jak już wspomniano wcześniej, bazuje w swej zasadniczej części na oprogramowaniu wizualizacyjnym Visio Microsoft. Rozwiązanie to jest bardzo korzystne pod względem zapewnienia wysokiego standardu pracy dla osób konfiguruujących sieć. Zastosowanie ogólnie przyjętych form prezentacji projektu sieci oraz w większości przypadków dość intuicyjnie zorganizowane menu ustawień i opcji dla poszczególnych urządzeń, gwarantują

łatwość obsługi całego systemu sterowania. Nie bez znaczenia jest fakt wykorzystania metody „przeciagnij i upuść” przy dołączaniu poszczególnych urządzeń. Ciekawym rozwiązaniem jest również zastosowanie aplikacji LonMaker Browser, umożliwiającej bezpośredni „podgląd” wszystkich zmiennych sieciowych i parametrów urządzeń sieciowych oraz zmianę ich ustawień zarówno przy konfigurowaniu sieci jak i w trakcie jej pracy. Podstawową wadą wykorzystania pakietu Visio jest znaczące zapotrzebowanie całego programu LonMaker na zasoby pamięciowe RAM komputera. Determinuje to możliwość jego instalacji oraz późniejszej komfortowej pracy (tzn. bez konieczności długotrwałego oczekiwania na wykonanie zanych funkcji lub w ogóle otwarcie programu) jedynie na nowszych komputerach, wyposażonych w szybkie procesory (taktowanie min. 500 do 1000 MHz i więcej) oraz dużą pamięć RAM (co najmniej 128 MB).

Pakiet LonMaker udostępnia również proste narzędzie pozwalające na bieżącą obserwację wybranych zmiennych sieciowych bezpośrednio w oknie projektu sieci, bez konieczności uruchamiana wspomnianej już aplikacji LonMaker Browser. LNS Text Box Control to jeden ze standardowych szablonów programu LonMaker, który umożliwia przypisanie konkretnej zmiennej sieciowej z dowolnego urządzenia sieciowego do okienka tekstowego i jej obserwację na ekranie komputera. Dzięki wykorzystaniu tego szablonu oraz aplikacji Visio możliwe jest również tworzenie własnych wizualizacji przystosowanych dla konkretnej sieci sterowania i wykorzystanie w nich obiektów standardu LonWorks.

Program ETS przeznaczony do projektowania sieci standardu EIB/KNX jest pakietem jednorodnym w swej strukturze (tzn. nie wykorzystuje aplikacji dodatkowych typu Visio). W wersji ETS2 pakiet ten jest bardzo rozpowszechniony wśród instalatorów tego standardu. Choć oczywiście różni się on w formie interfejsu graficznego od programu LonMaker, to większość elementów jego obsługi jest podobna; tu również zastosowano metodę „przeciagnij i upuść” przy dołączaniu urządzeń oraz intuicyjnie obsługiwane menu. Intuicyjność, łatwość i szybkość pracy należy szczególnie podkreślić wziąwszy pod uwagę nowy, wprowadzony w roku 2004 pakiet ETS3, gdzie zostały one w znacznym stopniu zwiększone w stosunku do wersji poprzedniej. Jako podstawową różnicę pomiędzy interfejsami graficznymi pakietu ETS i LonMaker zauważać trzeba organizację zasad łączenia logicznego urządzeń sieciowych, wynikającą z przyjętej w obu systemach formuły adresowania oraz standardowych obiektów sieciowych. W programie ETS operujemy bezpośrednio obiektami EIB/KNX (funkcjami), przypisując je metodą „przeciagnij i upuść” do określonych grup funkcjonalnych (adresów grupowych), zaś w pakiecie LonMaker posługujemy się blokami funkcyjnymi z przypisanymi do nich określonymi zmiennymi sieciowymi oraz narzędziem łączącym (connect) żądane

zmienne. Autor pragnie również podkreślić dużą przejrzystość okien umożliwiających ustawienie parametrów poszczególnych urządzeń w pakiecie ETS, zwłaszcza dla urządzeń magistralnych o dużej ich liczbie. W ocenie autora, o czym wspomniano już w tekście pracy, zasady konfiguracji oraz logicznego łączenia węzłów sieci są lepiej zorganizowane w standardzie EIB/KNX, gdzie możliwy jest prosty, bezpośredni dostęp do wszystkich adresów fizycznych i logicznych. Jedyny mankament dotyczący programowania urządzeń zamontowanych na stanowisku, stanowi oprogramowanie dla czujnika przyciskowego z regulatorem temperatury, do konfiguracji którego niezbędne jest zainstalowanie dodatkowej, współpracującej z pakietem ETS aplikacji (tzw. plug-in), dostępnej jedynie w języku niemieckim. Ta dodatkowa aplikacja uruchamiana jest automatycznie z poziomu programu ETS w momencie wejścia w opcje ustawiania parametrów tegoż czujnika. Te komplikacje i ograniczenia tłumaczyć można jedynie faktem, iż omawiane urządzenie jest nowością na rynku i zapewne wkrótce ukaże się również wersja anglojęzyczna tej aplikacji.

Prócz części przeznaczonej do projektowania oraz konfiguracji sieci automatyki budynkowej, pakiet ETS3 integruje w sobie również narzędzia przeznaczone do jej kontroli oraz monitoringu w trakcie pracy. Bus Monitor oraz Group Monitor umożliwiają operatorowi obserwację i rejestrację zdarzeń w sieci (wysłanie i odbiór telegramów), w całej magistrali lub też dla określonych adresów grupowych – konkretnych funkcji. Możliwości tych aplikacji są podobne jak w programie LonMaker.

Standary porównywane w niniejszej pracy podlegają ciągłej ewolucji zarówno w aspekcie technologicznym jak i programowym (aplikacje do budowy i konfiguracji sieci). Dlatego też autor ma świadomość iż uwagi poczynione w tekście, zwłaszcza w części porównawczej, dotyczące obu systemów mogą w szybkim czasie ulegać dezaktualizacji

## 4. BADANIA LABORATORYJNE

Dla realizacji celów badawczych wynikających z tezy pracy, przy użyciu zbudowanych stanowisk laboratoryjnych dokonano pomiarów i analiz w oparciu o wspomniane już wcześniej w pracy kryteria porównawcze. Dotyczyły one sygnałów występujących w magistralach sieciowych obu standardów – LonWorks i EIB/KNX, reprezentujących odpowiednio komunikaty i telegramy oraz oceny stanu magistrali (występowanie zaburzeń) i jego wpływ na poprawność transmisji danych, a co za tym idzie niezawodność funkcjonowania sieci automatyki. W dalszym okresie prac podjęto próbę oszacowania przydatności systemów inteligentnego budynku w pomiarach i kontroli parametrów związanych z energią elektryczną w sieciach zasilania budynków, określających zarówno jej zużycie jak i jakość. Efekty przeprowadzonych prac badawczych przedstawiono w niniejszym rozdziale.

Niezależnie od tych badań, autor pracy od kilku już lat uczestniczy w pomiarach zużycia energii w budynku Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki (EAiE) Akademii Górnictwo - Hutniczej w Krakowie (budynek B-1), gdzie zainstalowano pilotową instalację automatyki budynku w oparciu o technologię LonWorks. Zgromadzone w czasie tych pomiarów dane wykorzystano do opracowania jednego z podrozdziałów dotyczących badań laboratoryjnych, a sformułowane na podstawie ich analizy wnioski potraktowano jako próbę oceny zasadności stosowania systemów inteligentnego budynku w obiektach użyteczności publicznej, takich jak np. uczelnie.

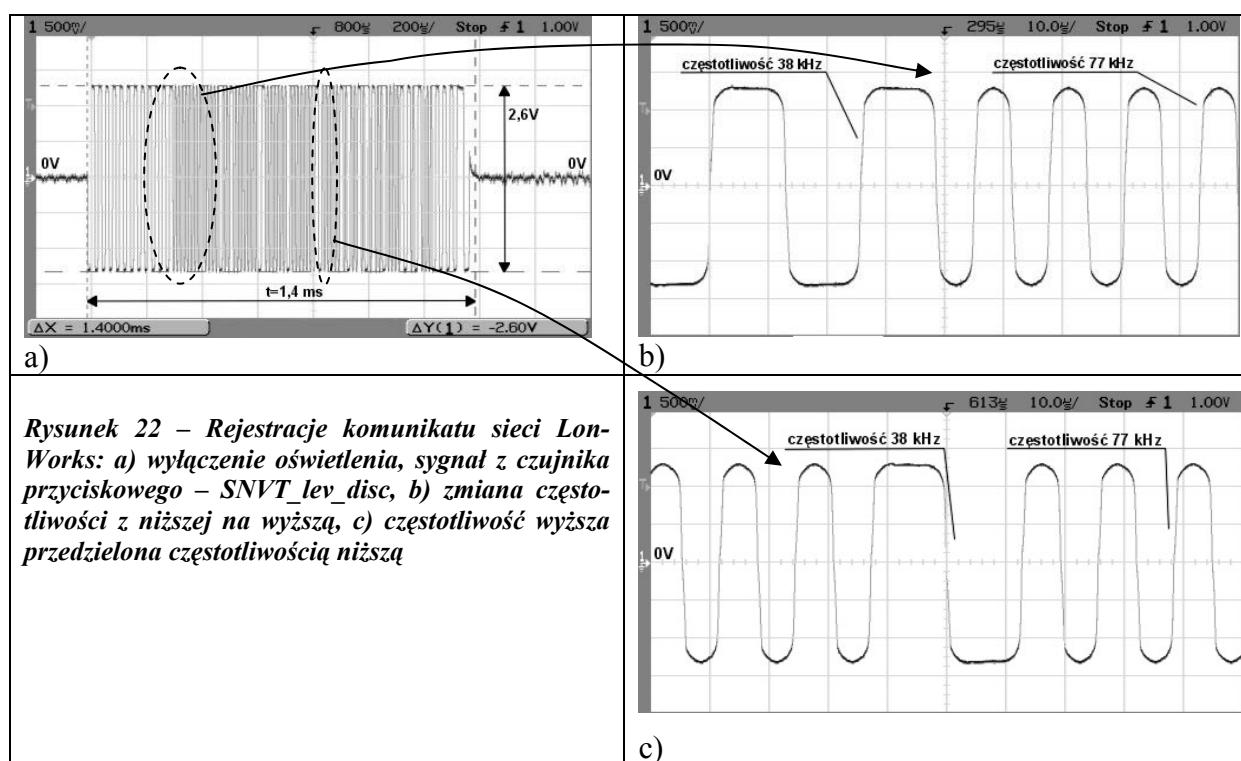
### 4.1. Analiza i kontrola transmisji w sieciach sterowania inteligentnym budynkiem

W celu sprawdzenia i porównania fizycznych zasad transmisji telegramów w magistralach systemowych standardów LonWorks oraz EIB/KNX, na zbudowanych stanowiskach wykonano pomiary sygnałów magistrali z wykorzystaniem oscyloskopu cyfrowego firmy AGILENT 54624A (100 MHz, 200 MSa/s, rezystancja wejściowa  $1M\Omega$ ). Wybrane do badania komunikaty i telegramy sieciowe, zdaniem autora, w stopniu wystarczającym umożliwiają porównanie transmisji w obu omawianych standardach. Przeprowadzone pomiary pozwalają również na ocenę poprawności pracy zainstalowanych sieci sterowania oraz na oszacowanie obszaru ich niezawodnej (odporność na zaburzenia zewnętrzne) pracy.

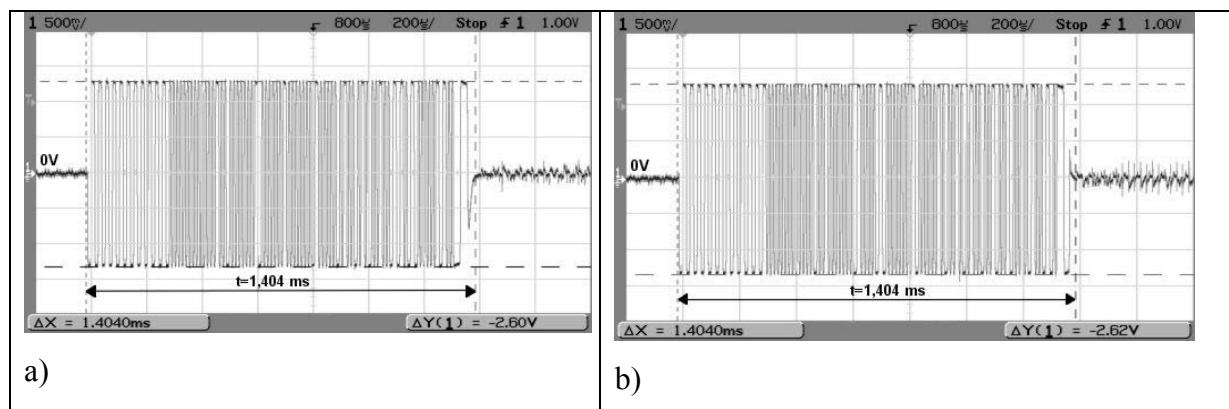
#### 4.1.1. Pomiary komunikatów przesyłanych przez sieć standardu LonWorks

Jak już kilkakrotnie wspomniano wcześniej magistrala LonWorks nie jest wykorzystywana do zasilania urządzeń sieciowych, a tylko jako medium transmisyjne pomiędzy nimi. Zarejestrowane w niej sygnały nie posiadają więc składowej stałej i gdy w sieci nie ma transmisji sygnał mierzony w magistrali wynosi w przybliżeniu 0 V. Przybliżenie to wynika z pojawiających się w sieci zaburzeń, a ich szersza analiza przedstawiona jest w kolejnym podrozdziale pracy (rozdział 4.2).

Do pomiarów wybrano kilka typowych komunikatów standardu LonWorks, takich jak: załączanie/wyłączanie, stwierdzenie obecności, informacja o bieżącej temperaturze. Niektóre z tych komunikatów różnią się czasem trwania, ze względu na konieczność przeniesienia informacji różnego typu (zmienna długość słowa bitowego niosącego informacje). Informacjami o podobnej długości są sygnał załącz/wyłącz informujący o stanie wyjścia modułu załączającego DIGIO oraz obecności z czujnika ruchu, przedstawione na rysunkach 22 i 23.



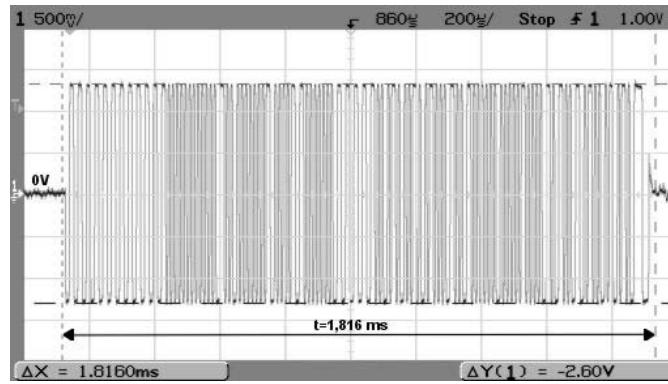
**Rysunek 22 – Rejestracje komunikatu sieci LonWorks: a) wyłączenie oświetlenia, sygnał z czujnika przyciskowego – SNVT\_lev\_disc, b) zmiana częstotliwości z niższej na wyższą, c) częstotliwość wyższa przedzielona częstotliwością niższą**



**Rysunek 23 – Rejestracje komunikatów sieci LonWorks: a) wyłączenie oświetlenia po upływie czasu bez obecności w pomieszczeniu, b) stwierdzenie obecności (czujnik ruchu) – SNVT\_occupancy**

Na obu rysunkach 22 i 23 widać iż komunikaty mają ogólną strukturę zgodną ze schematem przedstawionym wcześniej w pracy, a czas ich trwania to około 1,4 ms, zaś amplituda międzyczytowa utrzymuje się na poziomie 2,6 V. W każdym z komunikatów wyróżnić można również obszary o dwu różnych częstotliwościach – na początku sygnału częstotliwość niższa (39 kHz), a następnie częstotliwość wyższa (78 kHz), przedzielona obszarami o częstotliwości niższej (39 kHz). Informacje bitowe w komunikacie przesyłane są na zasadzie modulacji częstotliwości – „0” logiczne to częstotliwość 78 kHz, zaś „1” logiczne to 38 kHz. Zaskakująco niska jest amplituda sygnału informacyjnego wynosząca tylko ok. 1,3 V, co wskazuje na dość niewielką odporność magistrali na mogące pojawić się w niej sygnały zaburzające nawet o niewielkich amplitudach (np. ok. 1 V). Determinuje to konieczność zastosowania odpowiednich zabezpieczeń przeciwzakłóceniowych na etapie montażu sieci (np. ekranowany kabel magistralny, wykorzystanie routerów oraz terminatorów, właściwie wykonane zakończenia magistrali – przyłączenie węzłów), a w przypadku sieci o szczególnych wymaganiach co do niezawodności funkcjonowania (szpitale, przemysł precyzyjny, systemy alarmowe i ostrzegania), przeprowadzenie wcześniejszych, gruntownych badań i testów pracy sieci w danym środowisku zewnętrznym. Ma to szczególne znaczenie przy większych sieciach sterowania, zawierających kilkadziesiąt czy kilkaset węzłów. Długość czasu trwania komunikatów standardu LonWorks zmienia się zależnie od rodzaju zmiennej sieciowej transmitowanej w komunikacie, a więc proporcjonalnie do ilości danych zawartych w określonej zmiennej sieciowej.

W przypadku transmisji zmiennej sieciowej zawierającej informację o bieżącej temperaturze, czas trwania komunikatu w sieci zwiększa się o około 30% w stosunku do komunikatu typu załącz/wyłącz i wynosi ok. 1,8 ms. Rejestrację tego typu komunikatu zamieszczono na rysunku 24.



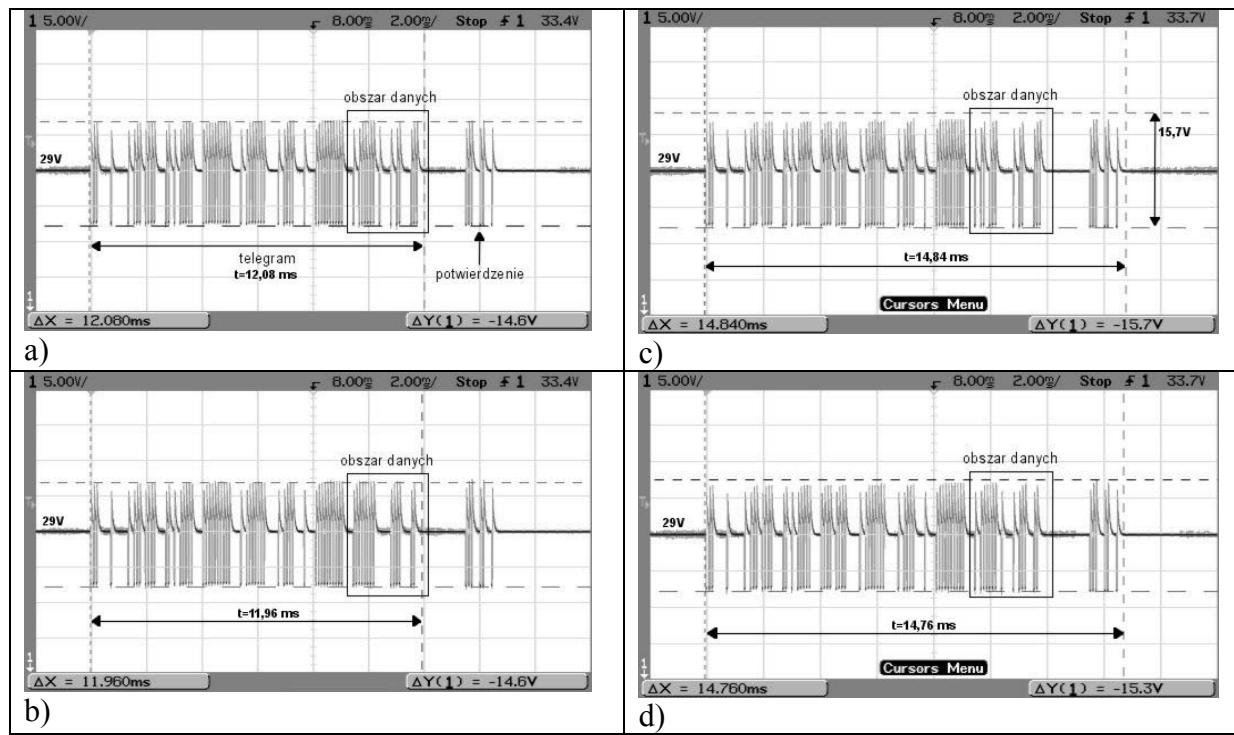
Rysunek 24 – Komunikat sieci LonWorks: informacja o zmierzonej temperaturze – SNVT\_temp\_p

Jak widać ogólny schemat struktury komunikatu pozostaje bez zmian.

#### 4.1.2. Pomiary komunikatów przesyłanych przez sieć standardu EIB/KNX

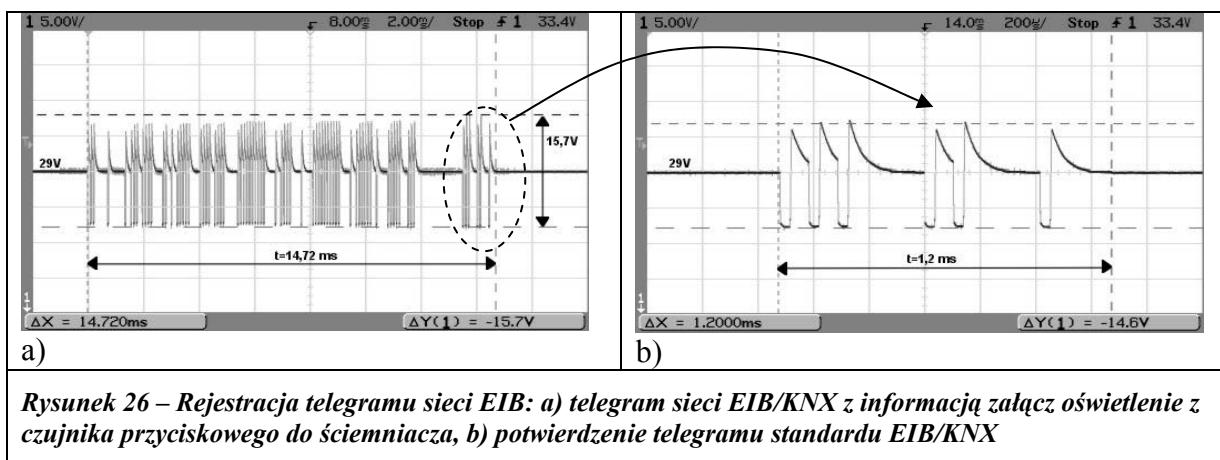
Rejestracje dotyczą przebiegów typowych telegramów standardu EIB: załącz/wyłącz, sterowanie ściemnianiem światła oraz niosących informacje o energii i mocy.

Podobnie jak w standardzie LonWorks telegramy systemu EIB/KNX mają różnych czas trwania, zależnie od długości przesyłanej informacji, określonej przez odpowiedni standard EIS (odpowiednik zmiennej sieciowej systemu LonWorks). Najkrótszy rodzaj telegramu typu załącz/wyłącz oraz ściemniaj/rozjaśniaj zamieszczono na rysunku 25.



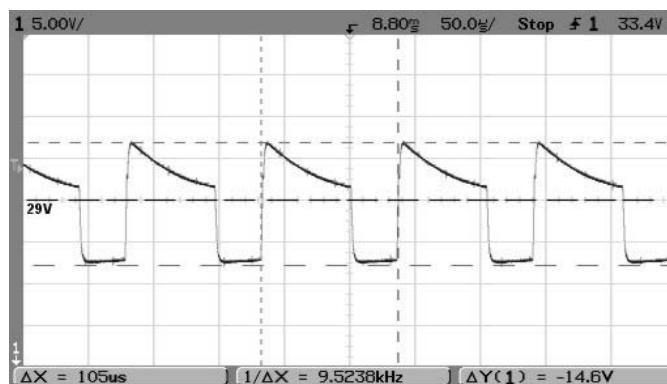
Rysunek 25 – Telegramy sieci EIB: a) załączenie oświetlenia – komunikat z czujnika przyciskowego, b) wyłączanie oświetlenia, c) rozjaśnianie – komunikat z czujnika przyciskowego, d) ściemnianie oświetlenia

Przedstawione na rysunku 25 rejestracje pokazują telegramy o zupełnie innej strukturze niż w standardzie LonWorks, zgodnej jednak z budową telegramu EIB/KNX omówioną wcześniej w pracy. Pojawiająca się przy rejestracji telegramów standardu EIB/KNX składowa stała 29 V związana jest z wykorzystaniem magistrali zarówno do transmisji telegramów sieciowych jak i zasilania urządzeń systemowych. Napięcie to dostarczane jest przez zasilacz liniowy montowany na każdej linii magistrali systemowej EIB/KNX. Na rysunku tym widać wyraźnie, że telegramy a) i b) – EIS 1 oraz c) i d) – EIS 2, różnią się między sobą nieznacznie jedynie układem impulsów w swej końcowej części, gdzie przesyłane są dane (obszary zaznaczone prostokątami). Ciągi impulsów identyfikujące m.in. adresy urządzeń, a poprzedzające obszary danych, są identyczne dla obu par telegramów. Zarejestrowane komunikaty mają znacznie dłuższy czas trwania od komunikatów LonWorks, bo wynoszący około 12 ms bez potwierdzenia. Wraz z potwierdzeniem całkowita długość trwania tego typu informacji w sieci wynosi ok. 15 ms, co przedstawiono na rysunku 26. Czas trwania samego potwierdzenia wynosi ok. 1,2 ms, a czas przerwy między końcem telegramu, a jego potwierdzeniem to ok. 1,6 ms. Wszystkie zmierzone tu czasy odpowiadają wartościom zmierzonym w testach podstawowych telegramów systemu EIB/KNX, przedstawionymi w opracowaniu prezentującym protokół i zasady transmisji w tym standardzie [77], [53].



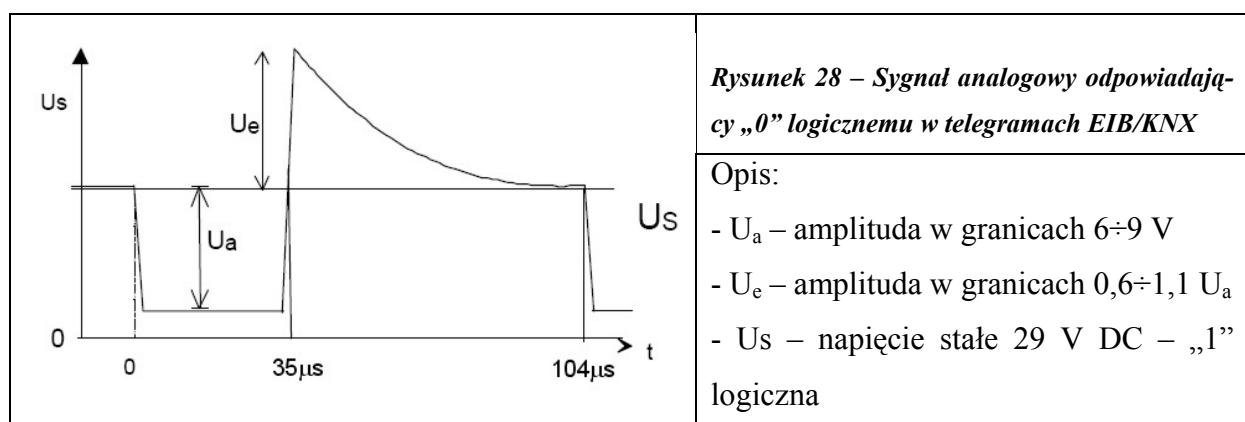
Amplituda międzyszczytowa dla wszystkich zarejestrowanych telegramów standardu EIB/KNX utrzymuje się na poziomie ok. 15 V. Taki poziom amplitud sygnału użytecznego pozwala zakładać znacznie większą odporność transmisji w magistrali EIB/KNX na ewentualne zakłócenia w sieci, nawet o znacznych amplitudach. Na zaprezentowanych dotychczas rejestracjach widać wyraźnie obszary o dużej częstotliwości impulsów oraz przerwy pomiędzy nimi. Wspomniana częstotliwość wynosi 9,5 kHz, a więc znacznie mniejsza niż w opisany

wcześniej standardzie LonWorks [53]. W telegramach standardu EIB/KNX informacja bitowa przekazywana jest na nieco innej zasadzie niż w LonWorks. Logiczne „0” odpowiada impulsom poniżej poziomu odniesienia, logiczne „1” zaś przerwie między nimi, czyli brakowią impulsów (sygnał utrzymuje się na poziomie odniesienia: 29 V DC). Przebiegi zarejestrowane zgodne są z przebiegami sygnałów podawanymi w specyfikacjach technicznych [27], [46], [77], [92]. W dodatkowych częściach impulsów w telegramie EIB/KNXauważalne są wyraźne „zwisy” związane bezpośrednio z parametrami linii transmisyjnej, pojemnością wejściową oscyloskopu pomiarowego oraz układów wejścia/wyjścia portów magistralnych w urządzeniach sieciowych [53]. Przykładową rejestrację telegramu przy wąskim przedziale czasowym, umożliwiającym obserwację poszczególnych impulsów pokazano na rysunku 27.



*Rysunek 27 – Fragment telegramu EIB/KNX – obserwacja poszczególnych impulsów*

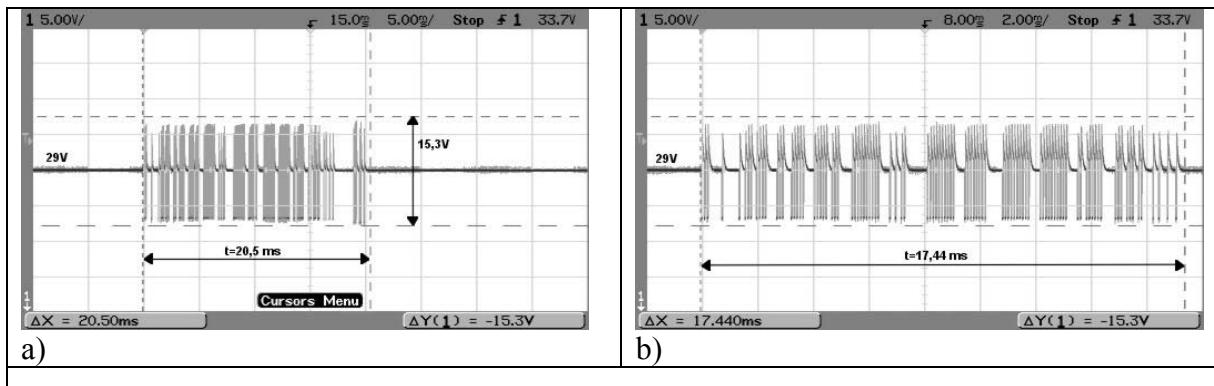
Parametry te odpowiadają wymaganiom zamieszczonym w specyfikacji technicznej standardu EIB/KNX, której zalecenia przedstawiono na rysunku 28 [46].



Cześć ujemna i dodatnia impulsu nie mają jednakowego czasu trwania; pierwsza z nich to ok. 35%, druga ok. 65% całego czasu trwania impulsu logicznego零. Amplitudy obu części są niemal identyczne i wynoszą dla zmierzonych sygnałów ok. 7,5 V.

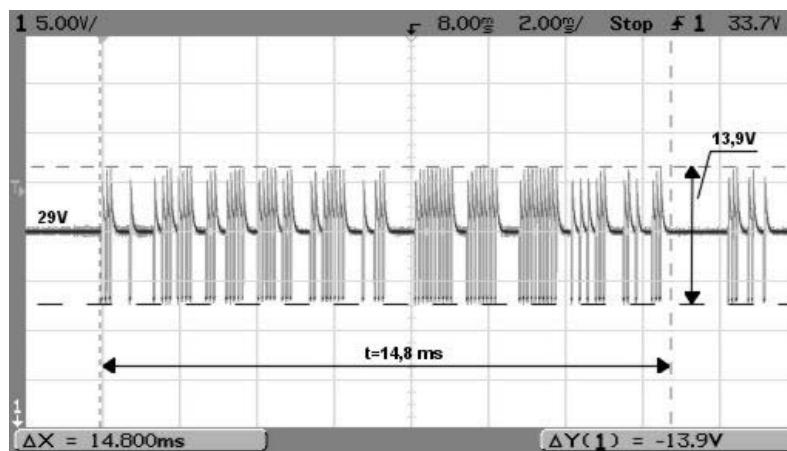
#### Rozdział 4 – Badania laboratoryjne

Na stanowisku systemu EIB/KNX wykonano również rejestracje telegramów generowanych przez licznik energii elektrycznej ABB z interfejsem EIB/KNX. Komunikaty te są znaczco dłuższe od omówionych wcześniej, ze względu na zastosowane w nich standardy EIS o większej długości słowa bitowego, niezbędne do przekazania dokładnej informacji o wartości odczytu licznika (energia, moc). Podstawowa informacja licznika to komunikat o aktualnej wartości zużytej energii czynnej w kWh. Telegram niosący taką informację zaprezentowano na rysunku 29.



Rysunek 29 – Telegram EIB: wartość zużytej energii czynnej; a) telegram wraz z potwierdzeniem zwrotnym, b) telegram – informacja użytkownika (zmieniona skala osi czasu)

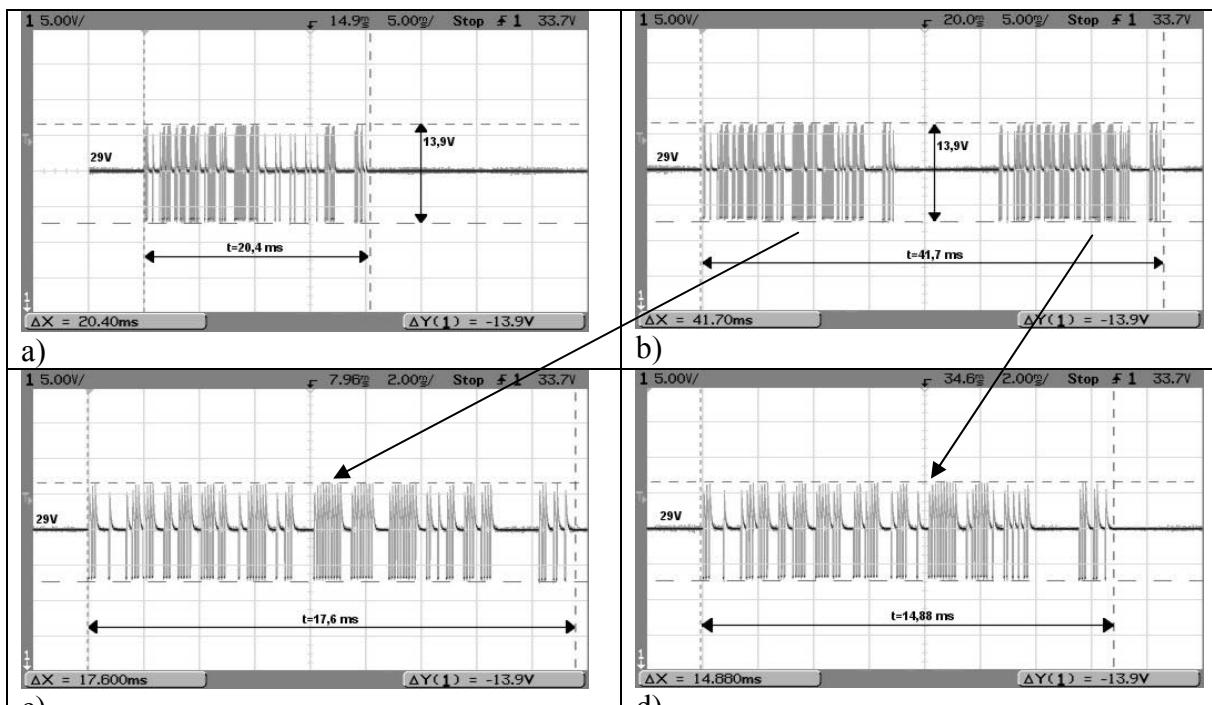
Telegram z wartością energii czynnej trwa ok. 17,5 ms, a wraz z potwierdzeniem ok. 20,5 ms, co oznacza wzrost długości czasu trwania komunikatu o ok. 40% w stosunku do telegramów EIB/KNX omawianych wcześniej. Czas trwania przerwy pomiędzy telegramem, a potwierdzeniem oraz długość potwierdzenia nie uległy zmianie. Licznik ma również możliwość wysyłania telegramów informujących o zmianie chwilowego (bieżącego) poboru mocy czynnej i biernej co 8 sekund lub przy zmianie tego poboru o określoną wartość (ustalaną w trakcie konfiguracji urządzenia). Przykładową rejestrację telegramu tego typu przedstawiono na rysunku 30.



Rysunek 30 – Telegram EIB: aktualna wartość mocy czynnej – licznik energii ABB

Komunikat ten ma czas trwania zbliżony do czasu telegramów prostych EIB/KNX, omawianych na początku podrozdziału, gdyż na przesłanie wartości zarezerwowano krótkie słowo bitowe.

Dla przekazania informacji o aktualnym poborze mocy biernej licznik dysponuje dwoma rodzajami telegramów, zaprezentowanymi na rysunku 31. Pierwszy z nich to pojedynczy telegram o długim czasie trwania, wykorzystujący standard EIS 11 (licznik 32 bity; zakres liczb: 0 do 4294967295 lub od -2147483648 do +21467483647). Dla pełnej informacji o mocy biernej niezbędny jest znak tej mocy (charakter indukcyjny lub pojemnościowy), dlatego też dla tego telegramu obowiązują podane w nawiasie zakresy wartości z uwzględnieniem znaku. Drugi rodzaj telegramu to właściwie generacja dwóch, następujących po sobie oddzielnych komunikatów: jednego, niosącego informację o wartości mocy (standard EIS 10 – licznik 16 bitów, zakres: 0 do 65535 lub -32768 do +32767) i drugiego o jej znaku (EIS 1 – przełączanie, wykorzystywane również w operacjach logicznych; 1 bit). Wydzielenie informacji o znaku może być w praktyce wykorzystane np. do stwierdzenia sytuacji alarmowej, gdy jeden z rodzajów mocy biernej nie jest pożądany w określonym układzie. Drugi rodzaj telegramu może być również wykorzystany, gdy w układzie występują niewielkie poziomy poboru mocy biernej, a w szczególności gdy nie jest wymagana informacja o jej znaku.



Rysunek 31 – Telegramy EIB: aktualna wartość mocy biernej; a) pojedynczy telegram (EIS 11), b) dwa telegramy wartość-znak, c) telegram wartości (EIS 10), d) telegram znaku (EIS 1)

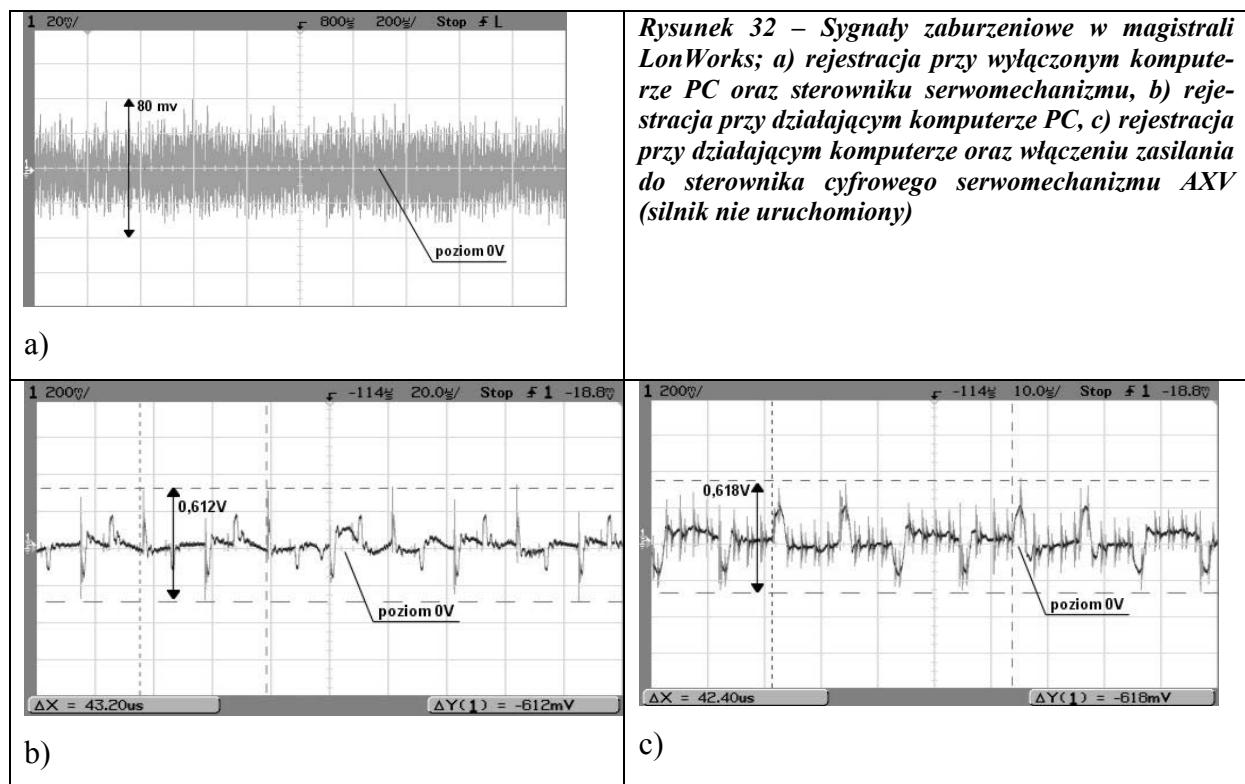
Pojedynczy telegram (rys. 31 a) ma czas trwania zbliżony do komunikatu o całkowitej energii czynnej. Wybór drugiego wariantu informacji o mocy biernej (dwa telegramy) powoduje wydłużenie czasu zajęcia magistrali do ok. 42 ms, oczywiście gdy żądane jest przesłanie informacji zarówno o wartości jak i znaku. Warto zwrócić uwagę, że obydwa telegramy składowe drugiego wariantu wymagają potwierdzenia zwrotnego, co dowodzi iż stanowią one dwie zupełnie niezależne informacje.

## **4.2. Wpływ zaburzeń zewnętrznych na niezawodność funkcjonowania systemów automatyki budynkowej**

W poprzednim podrozdziale 4.1 omówiono rejestracje komunikatów i telegramów standardów LonWorks oraz EIB/KNX, konfrontując je między sobą oraz porównując z teoretycznymi informacjami o ich budowie przedstawionymi wcześniej w pracy. Niejednokrotnie wspomniano w nim również o pojawiających się w trakcie pomiarów zaburzeniach w magistralach systemowych obu stanowisk pomiarowych (LonWorks i EIB), które w kilku przypadkach spowodowały nieprawidłową pracę sieci sterowania. W niniejszym podrozdziale zaprezentowano rejestracje umożliwiające oszacowanie poziomu tych zaburzeń, ich źródła oraz wpływ na pracę systemów intelligentnego budynku.

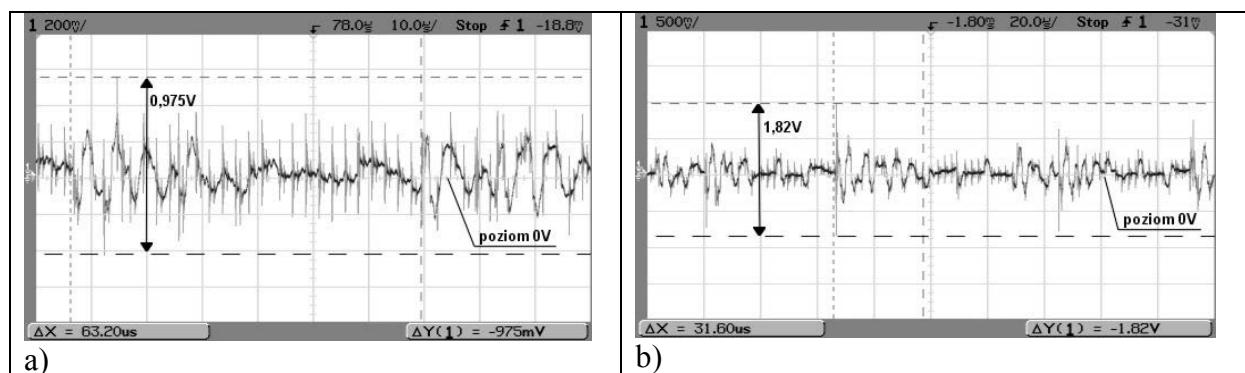
### **4.2.1. Pomiary zniekształceń w magistrali sieciowej systemu LonWorks**

W trakcie prowadzonych pomiarów okazało się, że magistrala systemowa wraz z przyłączoną do niej sondą oscyloskopu stanowi bardzo czuły układ, reagujący nawet na niewielkie sygnały zaburzające z otoczenia (przy odłączaniu sondy czułość ta dość znacznie malała). Zjawisko to stawało się w niektórych momentach na tyle uciążliwe, że powodowało nieprawidłowości w działaniu systemu automatyki. Objawiały się one brakiem reakcji urządzeń magistralnych na generowane przez inne urządzenie komunikaty (np. brak reakcji modułu DIGIO – załączenie lamp, po sygnale załączenia z czujnika ruchu). Jak stwierdzono podstawowymi źródłami zakłóceń był umieszczony w pobliżu urządzeń magistralnych działający komputer PC oraz dodatkowo sterowany cyfrowo serwomechanizm AXV firmy SIEI z silnikiem bezszczotkowym, załączony jako odbiornik trójfazowy dla liczników energii ze stanowisk [80]. Oba te źródła znajdowały się w odległości 1 do 2 metrów od urządzeń magistralnych zainstalowanych na stanowiskach pomiarowych. Tło magistrali systemowej gdy nie występowało jeszcze nieprawidłowe działanie sieci sterowania, przedstawiono na rysunku 32.



Na zamieszczonych na rysunku 32 rejestracjach widać wyraźnie „szpilki” zaburzeń o amplitudach międzyszczytowych rzędu: 600 do 650 mV, co przy porównaniu z amplitudą sygnałów użytecznych w sieci LonWorks<sup>69</sup> (komunikatów) stanowi ok. 25% i jak stwierdzono doświadczalnie, nie stanowi jeszcze zagrożenia dla prawidłowej transmisji komunikatów.

Wspomniane wcześniej nieprawidłowe funkcjonowanie sieci sterowania występowało tylko w sytuacji rejestracji sygnałów magistrali przy jednoczesnym załączeniu wszystkich wymienionych źródeł zakłóceń oraz uruchomieniu silnika serwomechanizmu. Tło magistrali systemowej dla takiej sytuacji przedstawiono na rysunku 33.



Rysunek 33 – Sygnały zakłócieniowe w magistrali LonWorks; a) i b) rejestracje w różnych przedziałach czasu przebiegu. Działający komputer PC oraz uruchomiony silnik napędu serwomechanizmu AXV

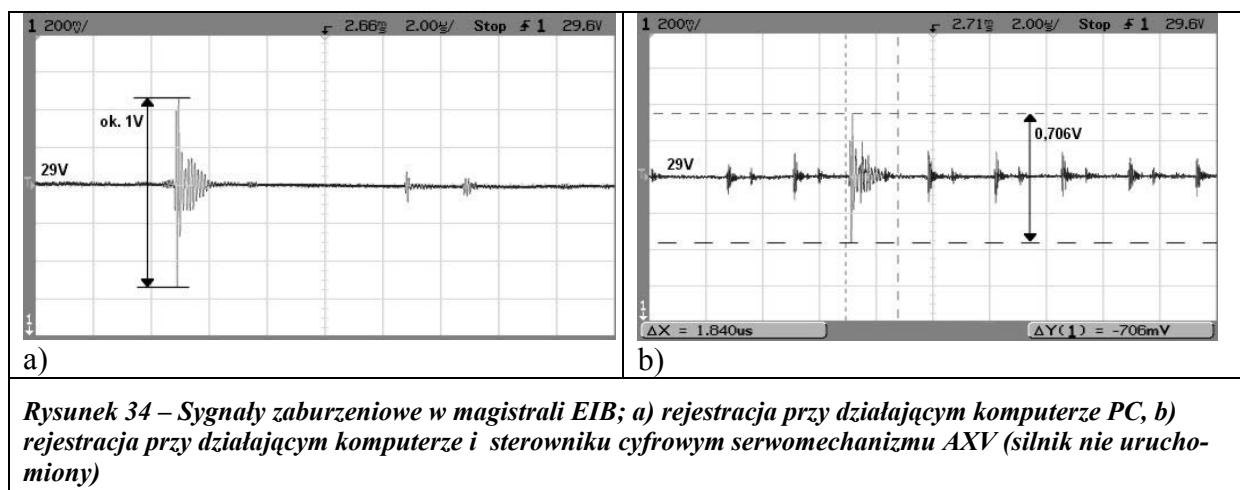
<sup>69</sup> Patrz: podrozdział 4.1

W zaprezentowanych na rysunku 33 rejestracjach widać wyraźne różnice w stosunku do dwóch poprzednich sytuacji, przy nie uruchomionym silniku serwomechanizmu. Zaobserwować tu można przede wszystkim dużą stochastyczność pojawiania się „szpilek” zaburzeń o różnych poziomach amplitud. Dla wybranych dwóch rejestracji amplitudy tych „szpilek” wynoszą odpowiednio: przypadek a) – ok. 980 mV (ok. 40% sygnału użytecznego komunikatu sieci LonWorks), przypadek b) – ok. 1,8 V (ok. 70% sygnału użytecznego). Takie poziomy amplitud sygnałów zaburzeń w stosunku do amplitud sygnałów użytkowych stanowią już realne zagrożenie dla niezawodności transmisji w magistrali systemu LonWorks, co również stwierdzono doświadczalnie w trakcie prowadzenia rejestracji. Fakt ten nabiera szczególnego znaczenia w odniesieniu do proponowanych w tezie pracy zastosowań systemów rozproszonych do monitoringu stanu sieci zasilania w różnych warunkach jej funkcjonowania. Stwierdzenie nieprawidłowości w pracy sieci sterowania (transmisji danych pomiarowych) wprowadza istotne ograniczenie obszaru jej stosowania w tym właśnie celu, ze względu na konieczność utrzymania wysokiej niezawodności transmisji (istotne dane pomiarowe). Należy jednak pamiętać, że na stanowisku laboratoryjnym zrealizowano bardzo małą sieć sterowania, nie wykorzystując wszystkich dostępnych urządzeń poprawiających jakość sygnałów użytkowych w magistrali (router, terminator). Jak już wspomniano w podrozdziale dotyczącym rejestracji komunikatów LonWorks, stosowanie tego typu urządzeń jest niezbędne w większych sieciach, zwłaszcza jeżeli instalowane są one w środowiskach przemysłowych lub o wysokich wymaganiach związanych z niezawodnością transmisji danych.

Warto podkreślić iż istotnym elementem całego układu pomiarowego: magistrala, urządzenia sieciowe, oscyloskop był ten ostatni. Jeżeli oscyloskop odłączono od punktu pomiarowego (końcówka magistrali w jednym z węzłów sieci), wówczas cała sieć sterowania zaczynała funkcjonować właściwie, nawet przy załączonym i pracującym napędzie serwomechanizmu. Należy mieć świadomość, iż tego typu urządzenie pomiarowe, ze względu na posiadaną pojemność elektryczną oraz wysoką impedancję wejściową, w sposób istotny zmienia parametry całego układu pomiarowego. Poprzez wysoką impedancję wejścia oraz przyłączoną sondę pomiarową, oscyloskop staje się anteną o dużej czułości. Oscyloskop można więc potraktować jako dodatkowe źródło zaburzeń. Przeprowadzone badanie jest więc badaniem jednego z najgorszych przypadków występowania zaburzeń w magistrali komunikacyjnej. Najgorszego, ale jednocześnie możliwego do zaistnienia w rzeczywistości.

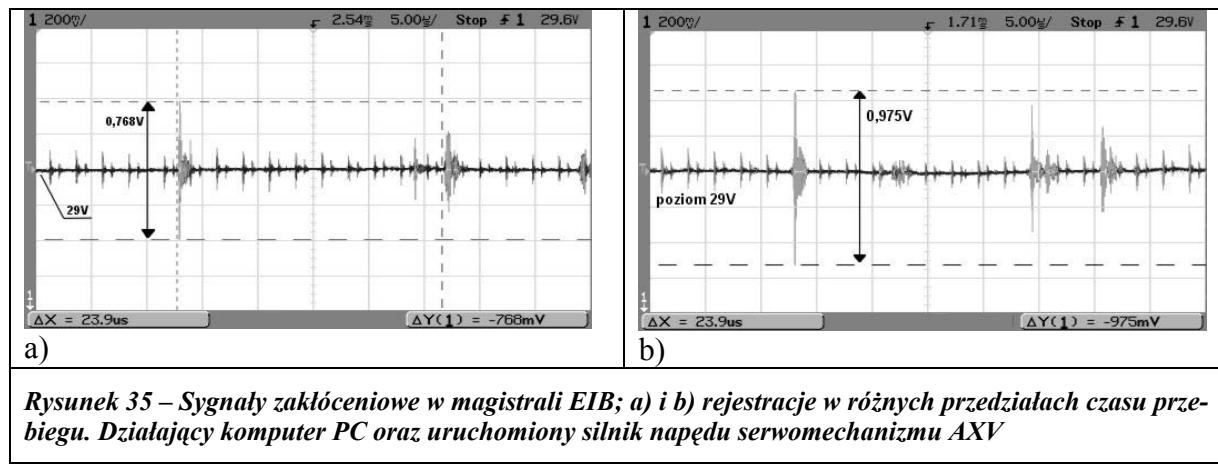
#### 4.2.2. Pomiary zniekształceń w magistrali sieciowej systemu EIB/KNX

Zaobserwowane nieprawidłowości w funkcjonowaniu sieci sterowania systemu LonWorks zachęciły prowadzącego badania do sprawdzenia stanu magistrali systemowej EIB/KNX, pomimo nie stwierdzenia wcześniej żadnych nieprawidłowości transmisji przy wszystkich rejestracjach, prowadzonych w różnych warunkach (załączony komputer PC oraz uruchomiony serwomechanizm ze sterownikiem cyfrowym AXV). Przeprowadzone pomiary i związane z nimi rejestracje uszeregowano podobnie jak dla standardu LonWorks według stanu załączenia poszczególnych źródeł zakłóceń na stanowisku pomiarowym. Rejestracje przy działającym komputerze PC oraz zasilonym sterowniku serwomechanizmu przedstawia rysunek 34.



Na poziomie składowej stałej pojawiają się dodatkowo sygnały zaburzeń. W rejestracji a) z rysunku 34 amplituda międzyszczytowa zaburzenia to ok. 1V – co stanowi ok. 6% sygnału użytecznego telegramu (jak wspomniano wcześniej amplituda międzyszczytowa telegramu wynosi ok. 15V). Odpowiednio w przypadku b) amplituda ta wynosi ok. 0,71 V (ok. 5% w stosunku do sygnału użytecznego). Sygnały zaburzające o takim poziomie nie stanowią żadnego zagrożenia dla prawidłowej transmisji danych w systemie EIB/KNX. Dla sytuacji gdy nie był załączony ani komputer PC, ani sterownik serwomechanizmu, tło sygnału w magistrali było podobne do rejestrowanego dla standardu LonWorks (rys. 32a))

Kolejne dwie rejestracje przeprowadzono po uruchomieniu dodatkowo silnika serwomechanizmu. Zaobserwowane przebiegi przedstawia rysunek 35.



**Rysunek 35 – Sygnały zakłócające w magistrali EIB; a) i b) rejestracje w różnych przedziałach czasu przebiegu. Działający komputer PC oraz uruchomiony silnik napędu serwomechanizmu AXV**

Tu podobnie jak w dwóch poprzednich rejestracjach pojawiają się zakłócenia. Z rysunku 34 wynika, że w danym przedziale czasowym jest ich więcej (większe zageszczenie) niż poprzednio. Z zaznaczonych parametrów widać wyraźnie, że maksymalna ich amplituda międzyoszczytowa nieznacznie wzrosła, jednak utrzymuje się na bezpiecznym poziomie ok. 1 V. Transmisja telegramów w magistrali pozostaje więc nadal niezagrożona i wszystkie komunikaty generowane przez urządzenia magistralne osiągają miejsce przeznaczenia.

Przeprowadzone dla obydwu standardów obserwacje zakłóceń pojawiających się w magistrali oraz ich wpływu na poprawność komunikacji pomiędzy urządzeniami sieciowymi, wskazują na pewną przewagę standardu EIB/KNX jako potencjalnie bardziej niezawodnego i odpornego na ewentualne wystąpienie zaburzeń w magistrali systemowej, nawet o dużych amplitudach (do ok. 50% amplitudy peak-to-peak sygnału użytkowego, tj. ok. 7 V), bez konieczności stosowania żadnych dodatkowych wyspecjalizowanych urządzeń systemowych ograniczających zaburzenia. Wynika to przede wszystkim z zastosowania w tym standardzie wysokich amplitud sygnału użytkowego, co rozszerza dopuszczalny zakres amplitud ewentualnych sygnałów zaburzających.

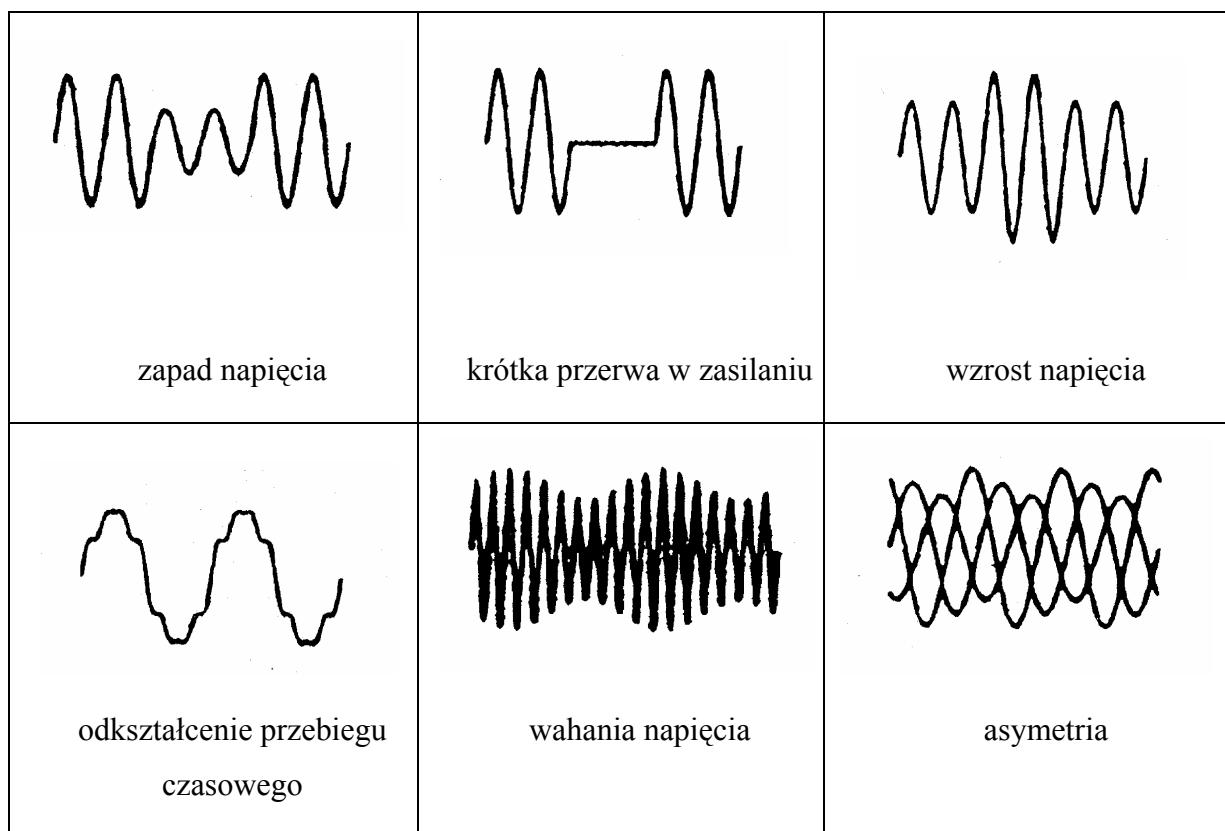
#### 4.3. Systemy inteligentnego budynku jako narzędzie kontroli zużycia energii i jakości zasilania w budynku

Energia elektryczna dostarczana do zasilania urządzeń w budynkach, ulega degradacji w trakcie jej przesyłu oraz rozdziału w budynku, pod wpływem występujących powszechnie w środowisku zaburzeń elektromagnetycznych. Zjawiska te powodują zmiany wartości wybranych wskaźników liczbowych, będących cechami jakości energii tak, iż różnią się one od znamionowych, odnoszących się do stanów ustalonych przy przebiegach sinusoidalnie zmiennych, występujących w symetrycznych układach wielofazowych. Niska jakość energii

może skutkować wieloma negatywnymi stanami pracy odbiorników lub wręcz pracę tą uniemożliwiać.

#### 4.3.1. Podstawowe informacje dotyczące jakości energii elektrycznej

Na rysunku 36 zamieszczono przykłady najpowszechniej spotykanych zaburzeń elektromagnetycznych w sieciach zasilających [40], [60], [64].



Rysunek 36 – Przykłady najczęściej rozważanych zaburzeń elektromagnetycznych

Zaburzenia te można zaszeregować do czterech podstawowych grup:

- Zmiana wartości napięcia w sieci, której przyczyną jest najczęściej zmienność obciążenia sieci w czasie (załączanie/odłączanie odbiorników). Zmiany wartości napięcia sieci zasilającej, wykraczające poza dopuszczalne granice tolerancji ( $\pm 10\% U_N$  – napięcie znamionowe) mają niekorzystny wpływ na odbiorniki i mogą powodować zakłócenia ich pracy, a w skrajnych przypadkach nawet ich uszkodzenie (np. niektóre urządzenia elektroniczne instalowane w inteligentnych budynkach). Obniżenie wartości napięcia powoduje zwiększenie strat na liniach przesyłowych, transformatorach itp., zaś zwiększenie wartości napięcia skutkuje np. wzrostem prądów magnesowania transformatorów i silników, skróce-

niem trwałości lub zniszczeniem izolacji urządzeń elektrycznych oraz wzrostem mocy wydzielanej w odbiornikach (nadmierne nagrzewanie).

- Wahania napięcia to seria zmian wartości skutecznej lub obwiedni przebiegu sinusoidalnego napięcia zasilającego. Wśród przyczyn tego zjawiska wymienić należy zmienność w czasie mocy biernej przyłączonych odbiorników, najczęściej o zmiennym obciążeniu, takich jak: regulowane napędy elektryczne, napędy wind i dźwigów elektrycznych itp. Skutkami występowania wahań napięcia mogą być: zmiany momentu elektromagnetycznego maszyn elektrycznych i poślizgu silników, ich wzmożone drgania mechaniczne, obniżenie trwałości silników, pojawienie się w sieci dodatkowych harmonicznych oraz zjawisko migotania światła – ang. flicker. Szczególnie wrażliwe na wahania napięcia w sieci zasilania są żarowe źródła światła, reagujące niemal natychmiast zmianą strumienia światelnego. Takie migotanie światła niekorzystnie wpływa na samopoczucie osób pracujących w budynku, utrudnia koncentrację, powoduje obniżenie wydajności i jakości pracy.
- Zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu. Zapad napięcia to nagle zmniejszenie wartości skutecznej napięcia do poziomu zawartego w granicach  $10\% \div 90\% U_N$ , po którym, po krótkim czasie ( $10ms \div 1min$ ), następuje powrót do wartości znamionowej  $U_N$ . Krótka przerwa w zasilaniu to spadek wartości napięcia poniżej  $10\% U_N$ , trwający do 1 minuty. Przyczynami tego typu stanów w sieci elektroenergetycznej mogą być zwarcia w tym systemie, procesy załączania odbiorników dużej mocy (rozruch silników elektrycznych), zmiany w konfiguracji sieci oraz praca odbiorników o zmiennym obciążeniu. Skutki to najczęściej samoczynne wyłączenie/rozłączanie styczników, przekaźników (niekorzystny wpływ na pracę aparatury łączeniowej), nieprawidłowa praca regulowanych napędów elektrycznych, wyłączenia lub zakłócenia pracy sprzętu informatycznego oraz urządzeń tworzących systemy sterowania budynkiem, szczególnie czułych na wszelkie zmiany wartości napięcia o amplitudzie przekraczającej  $\pm 10\% U_N$ . Skutki zapadów i przerw w zasilaniu w odniesieniu do tej grupy odbiorników to: przerwanie transmisji sygnałów między urządzeniami, przekłamania w przekazie danych lub utrata danych. Po ustąpieniu przyczyny zjawiska i po powrocie napięcia, sprzęt lub oprogramowanie może nie być zdolne do ponownego prawidłowego uruchomienia, konieczne może okazać się przeprogramowanie lub nawet wymiana urządzeń.
- Odkształcenie przebiegów czasowych napięcia i prądu to zjawisko polegające na pojawieniu się dodatkowych harmonicznych w przebiegu napięcia lub prądu, powodujących odkształcenie sinusoidy. Harmoniczna to składowa przebiegu czasowego, będąca całko-

witą krotnością częstotliwości podstawowej tego przebiegu. Najpełniejszą informację o stopniu odkształcenia przebiegu dostarcza zbiór danych określający rzędy, amplitudy (lub wartości skuteczne) oraz fazy poszczególnych harmonicznych w przebiegu. Dla celów normalizacyjnych wprowadzono kilka wielkości charakteryzujących przebiegi odkształcone, a wśród nich m.in.:

współczynnik udziału n-tej harmonicznej napięcia (prądu):

$$U_{(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \quad I_{(n)} = \frac{I_{(n)}}{I_{(1)}}$$

gdzie:  $U_{(n)}$  - harmoniczna rzędu n

$U_{(1)}$  - harmoniczna podstawowa

całkowity współczynnik odkształcenia napięcia (prądu)

$$THD_U = \sqrt{\sum_{n=2}^{n_g} U_{(n)}^2} \cdot 100\% \quad THD_I = \sqrt{\sum_{n=2}^{n_g} I_{(n)}^2} \cdot 100\%$$

gdzie: najczęściej  $n_g=40$  (górna granica sumowania)

Oprócz harmonicznych w sieci zasilającej mogą pojawić się również interharmoniczne, czyli składowe napięcia o częstotliwościach zawartych pomiędzy harmonicznymi, a więc nie będącymi całkowitymi wielokrotnościami częstotliwości składowej podstawowej.

Do najgroźniejszych dla sieci urządzeń i zjawisk generujących harmoniczne zaliczyć można: urządzenia z rdzeniami magnetycznymi (transformatory, generatory itp.), wyładowcze źródła światła, urządzenia spawalnicze, urządzenia elektroniczne i energoelektroniczne, a także wystąpienie w systemie wahań i zapadów napięcia oraz krótkich przerw w zasilaniu. Skutki występowania harmonicznych najczęściej nie są widoczne „od razu”, w momencie ich pojawiienia się w sieci. Dopiero dłuższy okres pracy sieci z przebiegiem odkształconym i prowadzone w niej na bieżąco pomiary mocy oraz obserwacja podłączonych urządzeń, pozwalają na stwierdzenie pewnych nieprawidłowości. Najczęstsze skutki odkształceń przebiegu czasowego napięcia lub prądu to zwiększenie strat mocy w rdzeniach i uzwojeniach silników i transformatorów, wystąpienie dodatkowych momentów elektromagnetycznych w silnikach, wywołujących drgania mechaniczne i akustyczne, zakłócenia i nieprawidłowa praca urządzeń energoelektronicznych oraz skrócenie okresu trwałości źródeł światła itp.

Źródłami powodującymi obniżenie jakości energii elektrycznej w sieciach zasilania są najczęściej [64]:

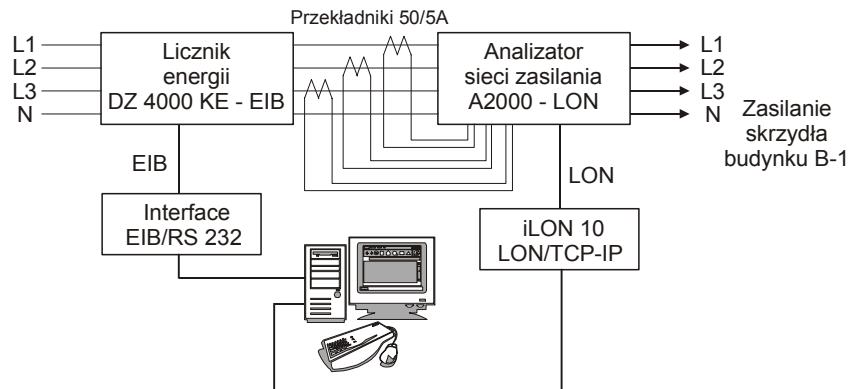
- Odbiorniki energii elektrycznej oraz system elektroenergetyczny – przekształtniki, regulowane napędy elektryczne, klimatyzacja, piece indukcyjne, fluorescencyjne i wyładowcze źródła światła, nasycone obwody magnetyczne oraz zły stan urządzeń dostarczających i przetwarzających energię elektryczną w trakcie jej przesyłu, niewłaściwy stan techniczny samej instalacji zasilającej oraz instalacji uziemiających lub ekranujących.. Najistotniejsza przyczyna obniżenia jakości energii to coraz powszechniejsze stosowanie urządzeń energoelektronicznych, zawierających elementy o nieliniowej charakterystyce prądowo-napięciowej oraz ciągle wzrastająca częstotliwość ich przełączania. Urządzenia tego typu pojawiają się praktycznie w obwodach na wszystkich poziomach napięcia, w odbiornikach małej, średniej i dużej mocy. Nie bez znaczenia są tu również: wyładowania atmosferyczne, wyładowania elektrostatyczne, procesy łączeniowe w systemach dystrybucji energii oraz efekty komutacji w urządzeniach przyłączonych do systemu elektroenergetycznego.
- Zasilacze i urządzenia zapewniające stały dopływ energii – zasilacze impulsowe powszechnie stosowane w komputerach klasy PC, UPS-y (bezprzerwowe zasilanie).

#### **4.3.2. Idea wykorzystania systemów inteligentnego budynku w pomiarach zużycia i jakości energii elektrycznej**

Wprowadzenie liczników energii elektrycznej oraz analizatorów parametrów sieciowych z interfejsem systemów inteligentnego budynku, pozwala na ich wykorzystanie w kontroli i monitoringu zużycia energii oraz wybranych parametrów jakościowych. W niniejszym podrozdziale zaprezentowano możliwości systemów LonWorks i EIB/KNX w tym zakresie, w oparciu o badania przeprowadzone przy użyciu licznika energii firmy ABB oraz analizatora A2000, opisanych w rozdziałach 3.1.1 oraz 3.2.1. Urządzenia te zainstalowano na jednej z linii zasilających pokoje i sale wykładowe w budynku B-1 Akademii Górnictwa-Hutniczej w Krakowie<sup>70</sup>. Schemat poglądowy połączeń liczników przedstawia rysunek 36.

---

<sup>70</sup> Więcej dodatkowych informacji również w rozdziale 4.4 niniejszej pracy.



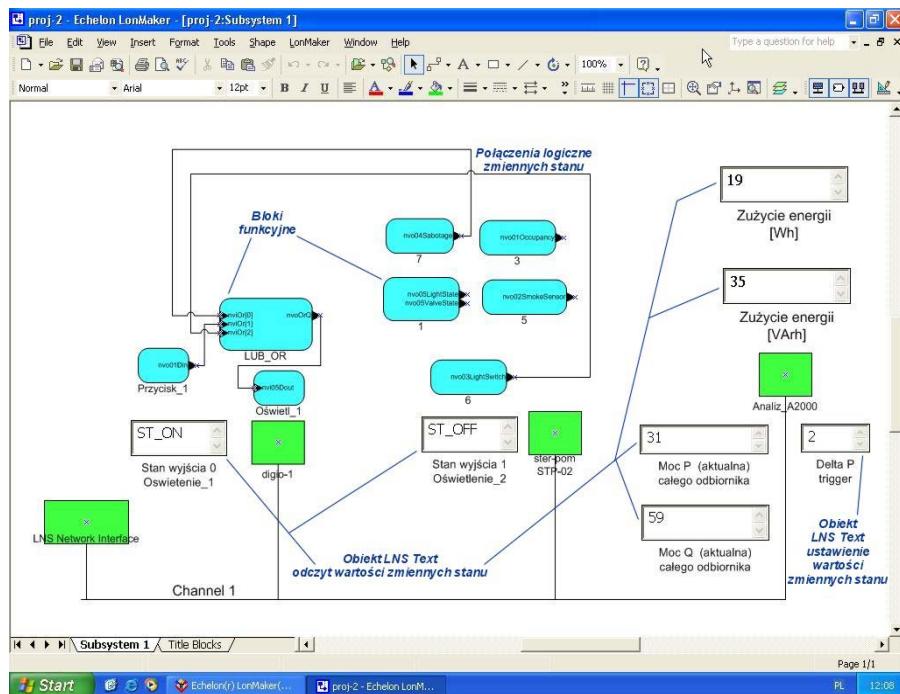
Rysunek 37 – Schemat układu pomiarowego w budynku B-1

#### 4.3.3. System LonWorks w pomiarach i kontroli parametrów zasilania - narzędzia

W standardzie LonWorks istnieje wiele możliwości prezentacji oraz rejestracji danych pomiarowych, rozumianych w tym wypadku jako odpowiednie zmienne sieciowe. Wykorzystany w pomiarach dla standardu LonWorks analizator parametrów sieciowych A2000 to urządzenie umożliwiające nie tylko pomiar zużycia energii oraz mocy elektrycznej, ale również obserwację wielu parametrów sieci zasilania, istotnych z punktu widzenia jej bezpieczeństwa, niezawodności oraz jakości dostarczanej energii. Jak już wspomniano są one przesyłane Siecią LonWorks jako odpowiednio zdefiniowane w interfejsie LON zmienne sieciowe. Na potrzeby prowadzonych badań wybrano kilka z tych standardowych [37]:

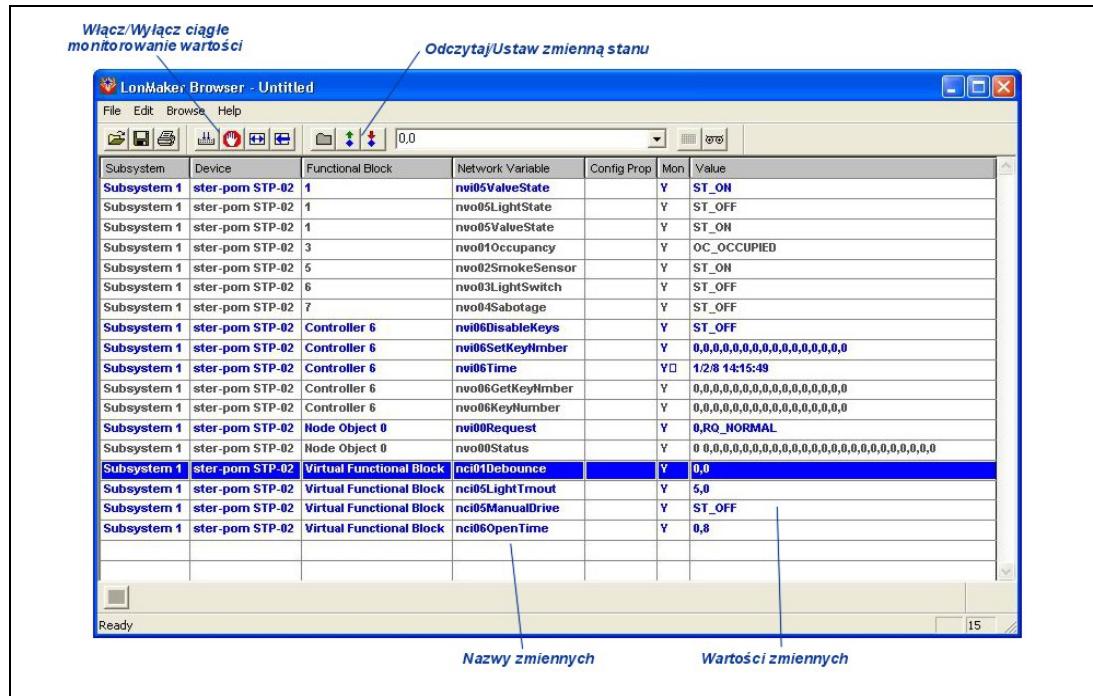
- energia (Wh, VArh) SNVT\_elec\_whr\_f
- moc (wszystkie rodzaje) SNVT\_power\_f
- napięcie SNVT\_volt\_f
- prąd SNVT\_amp\_f

W pierwszym etapie badań wykorzystano dostępny w programie LonMaker obiekt LNS Text Box Control, który umożliwia bieżącą obserwację wartości lub stanu wybranych zmiennych sieciowych (zmienne sieciowe wyjściowe – nvo). Obiekty LNS Text Box Control oraz symbole urządzeń sieciowych wraz z blokami funkcyjnymi, tworzą prosty system wizualizacyjny danej sieci sterowania, realizowany w oparciu o interfejs programu Visio, stanowiącego integralną część oprogramowania LonMaker. Przykładowy wygląd okna podsystemu zamieszczono na rysunku 37.



Rysunek 38 – Okno programu LonMaker z obiektami prostej wizualizacji sieci sterowania

Obiekt LNS Text Box Control może być wykorzystany również do zmiany ustawień konfiguracyjnych dowolnego węzła sieci, poprzez ustawienie żądanych wartości (stanów) konfiguracyjnych zmiennych sieciowych (zmienne – nci). Dla omawianego analizatora zmienne te umożliwiają ustawienie wartości progowej zadziałania (trigger) dla prądu, napięcia, mocy lub energii, przy których przekroczeniu następuje wysłanie komunikatu sieciowego z aktualną wartością danej wielkości (przykładowo: wysłanie zmiennej sieciowej z aktualną wartością pobieranej mocy przy zmianie tej wartości o nastawione wcześniej np. 10 W, w stosunku do wartości zarejestrowanej i wysłanej w poprzednim komunikacie). Pozwala to na ograniczenie ilości komunikatów generowanych do sieci oraz może być wykorzystane np. do wykrycia nagłych, znacznych zmian wartości danej wielkości, wykraczających poza dopuszczalny poziom lub zakres. W skład pakietu LonMaker wchodzi również aplikacja LonMaker Browser, umożliwiająca obserwację stanu wszystkich zmiennych sieciowych dla jednego lub kilku węzłów sieci w jednym oknie. Przykładowe okno dla sterownika pomieszczenia STP-02/E zamieszczono na rysunku 39.



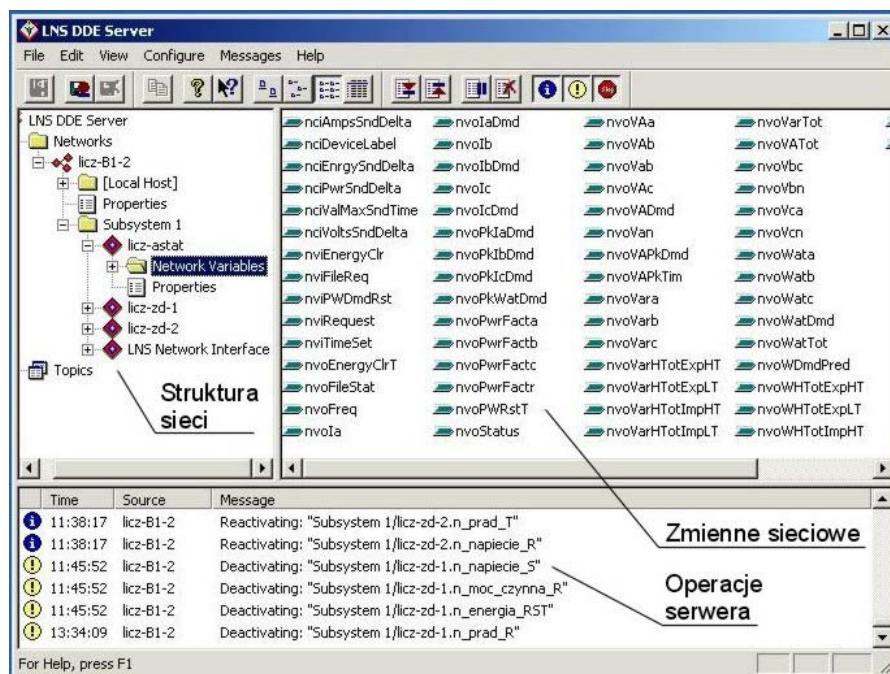
Rysunek 39 – Okno aplikacji LonMaker Browser z widokiem zmiennych stanu

Okna LonMaker Browser wykorzystywane są najczęściej w diagnostyce i konfiguracji sieci sterowania, ze względu na możliwość szybkiego podglądu wielu zmiennych sieciowych jednocześnie. Aplikacja LonMaker Browser, podobnie jak obiekt LNS Text Box Control, posiada również możliwość zmiany parametrów węzłów sieci poprzez ustawienie wartości (stanu) odpowiednich konfiguracyjnych zmiennych sieciowych (nci).

Etap drugi badań możliwości zastosowania systemu LonWorks w kontroli parametrów sieci zasilającej, to wykorzystanie do rejestracji danych przesyłanych przez sieć pakietu LNS DDE Server, umożliwiającego współpracę z popularną aplikacją Microsoft Office Excel. W tym przypadku dane pomiarowe przesyłane są bezpośrednio do arkusza pakietu Excel, gdzie cyklicznie są rejestrowane i zapisywane w formie pliku. Okno pakietu LNS DDE Server oraz fragment okna z rejestracją danych w pakiecie Excel, przedstawia rysunek 40.

## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne

a)



b)

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled '003\_LON\_sob\_niedz'. The data is organized into columns representing time (DATA), energy consumption (czynna, bierna), power (moc czynna, moc pozorna), current (prąd), and voltage (napięcie) for phases L1, L2, and L3. The data spans from 27-08-05 0:00 to 27-08-05 5:30. The table includes a header row and several data rows. A callout points to the first few rows of data.

DATA	całkowite - sumacyjne					moc czynna			prąd			napięcie		
	czynna	bierna	moc	bierna	pozorna	P1	P2	P3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
27-08-05 0:00	1014110	239270	270	230	520	50	170	50	0,34	1,24	0,34	228	229,5	228,5
27-08-05 0:30	1014220	239380	130	10	200	50	30	50	0,33	0,18	0,34	228,4	229,5	228,6
27-08-05 1:00	1014330	239490	140	10	210	50	30	50	0,34	0,18	0,34	227,3	229,3	228,6
27-08-05 1:30	1014440	239490	120	10	190	50	30	50	0,3	0,18	0,34	227,9	229,6	228,7
27-08-05 2:00	1014440	239600	230	220	510	50	140	50	0,34	1,21	0,34	227,5	229,1	228,7
27-08-05 2:30	1014660	239710	260	230	530	50	180	50	0,34	1,25	0,34	228,7	230,6	229,8
27-08-05 3:00	1014770	239710	1680	10	2770	50	30	1590	0,3	0,18	6,95	228,9	230,2	229
27-08-05 3:30	1014770	239820	130	10	200	50	30	50	0,34	0,19	0,34	228,9	230,1	229,3
27-08-05 4:00	1014880	239820	130	10	200	50	30	50	0,34	0,19	0,34	229,3	230,8	230,1
27-08-05 4:30	1014990	239930	260	230	520	50	180	50	0,34	1,27	0,34	228,2	230,3	229
27-08-05 5:00	1015100	240040	140	10	200	50	40	50	0,34	0,19	0,34	228,9	230,3	229,6
27-08-05 5:30	1015210	240150	130	10	200	50	40	50	0,34	0,19	0,34	230,1	231,9	230,7

Rysunek 40 – Okna pakietów akwizycji danych w systemie LonWorks: a) LNS DDE Server, b) pakiet Excel

Zebrane w trakcie pomiarów dane pozwalają na ocenę poziomu zużycia energii elektrycznej w wybranych okresach czasu, oszacowanie bieżącego zapotrzebowania na moc oraz określenie stanu podstawowych parametrów sieci zasilania przy załączeniu odbiorników w budynku. Ze względu na łatwość interpretacji dużych zbiorów danych, zdecydowano się na ich prezentację graficzną w formie wykresów. Wykresy te zamieszczono w dalszej części rozdziału, porównując je jednocześnie z podobnymi wykresami sporządzonymi na podstawie danych z licznika energii ABB, pracującego w standardzie EIB/KNX.

Niestety, z powodu wykorzystania wszystkich dostępnych dla węzła sieci LonWorks zmiennych sieciowych (maksymalna liczba zmiennych pojedynczego węzła - 64) do przesyłania parametrów bezpośrednio związanych z prądami, napięciami, energią i mocą, analizator sieci A2000 nie posiada zmiennych sieciowych umożliwiających przekazanie danych o aktualnej wartości współczynnika THD oraz poziomie wybranych harmonicznych napięcia lub prądu, choć są one przez urządzenie mierzone. Informacje tego typu mogą być rejestrowane w formie elektronicznej poprzez interfejs szeregowy RS 232 i przedstawione graficznie w postaci różnego rodzaju wykresów (np. liniowe, kolumnowe), przy wykorzystaniu firmowego oprogramowania dla analizatora, o nazwie METRAwin 10/A2000.

Autor pragnie podkreślić, iż pomiar harmonicznych przebiegów napięcia i prądu rejestrowanych przez analizator A2000, mógłby być w praktyce zrealizowany dzięki udostępnieniu w postaci zmiennych sieciowych chociażby próbek tych wielkości, mierzonych przecież przez urządzenie w czasie w tempie 32 pomiarów na okres przebiegu zmiennego. Taka prędkość próbkowania pozwala bowiem na obróbkę zebranych próbek w dodatkowym urządzeniu sieciowym czy komputerze z odpowiednim oprogramowaniem tak, iż możliwe jest obliczenie poziomu amplitud aż do 15 harmonicznej częstotliwości podstawowej. Niestety, dane takie nie zostały w urządzeniu udostępnione w postaci zmiennych sieciowych standardu LonWorks.

### **4.3.4. System EIB/KNX w miernikach i kontroli parametrów zasilania - narzędzia**

Miernik energii elektrycznej zainstalowany na stanowisku standardu EIB/KNX to urządzenie umożliwiające pomiar energii zużytej w linii zasilania, aktualnych napięć i prądów w poszczególnych fazach, współczynnika mocy, częstotliwości oraz aktualnego poziomu mocy (czynnej i biernej), obliczanych na podstawie aktualnej wartości napięć i prądów [1], [64]. Podobnie jak w omawianym wcześniej analizatorze, wartość niektórych z tych parametrów może być transmitowana w postaci telegramów przez magistralę systemową EIB/KNX i wykorzystana przez inne węzły sieci lub system zbierania danych (np. wizualizacja). Wspomniane telegramy zbudowane są w oparciu o następujące standardy EIS:

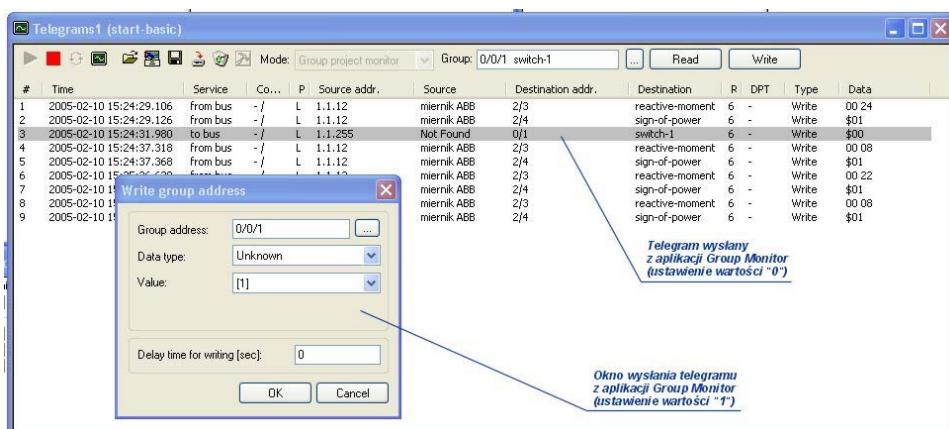
- EIS 11 – 32 bitowy licznik; wartość zużytej energii elektrycznej czynnej lub biernej (zakres 0 – 999999990 Wh, VArh)
- EIS 10 – 16 bitowy licznik; wartość mocy chwilowej czynnej lub biernej (moduł, zakres: 0 – 65534 W, VAr)
- EIS 11 – 32 bitowy licznik; wartość mocy chwilowej biernej z uwzględnieniem znaku; (zakres: -65534 do +65534 VAr)

- EIS 1 – pojedynczy bit; telegram żądania wysłania informacji o energii lub mocy,
- EIS 1 – pojedynczy bit; rodzaj (znak) mocy chwilowej biernej. Ten telegram używany jest w połączeniu z telegramem standardu EIS 10 – moduł mocy chwilowej biernej.

Standardowy pakiet ETS 3 obsługujący sieć systemu EIB/KNX, wyposażony jest w kilka narzędzi umożliwiających obserwację stanu lub wartości wybranych telegramów w sieci oraz analizę jej struktury.

W etapie pierwszym eksperymentu do obserwacji telegramów wysyłanych przez licznik i inne urządzenia systemu EIB/KNX zastosowano aplikację Group Monitor, stanowiącą integralną część pakietu ETS 3. Posiada ona wiele funkcji związanych z obserwacją i obsługą telegramów w magistrali systemowej. Za jej pomocą możliwe jest np. wysyłanie telegramów w wybranej grupie funkcyjnej (adres grupowy) i tym samym na zdalne sterowanie określonymi węzłami sieci z poziomu komputera (np. załączenie oświetlenia w pomieszczeniu itp.).

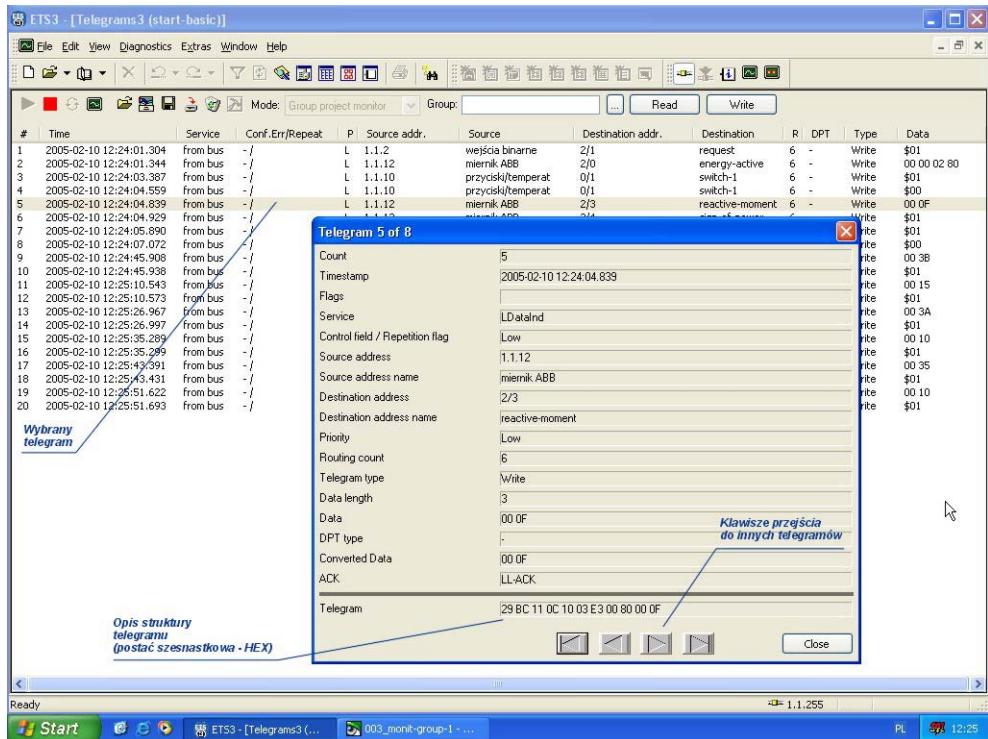
Wysyłanie telegramu typu załącz/wyłącz pokazano na rysunku 41.



Rysunek 41 – Okno aplikacji Group Monitor z włączoną opcją wysyłania telegramów

Szczegółową i usystematyzowaną analizę wybranych telegramów umożliwia przedstawione na rysunku 42 okno właściwości telegramu, prezentujące wszystkie jego parametry oraz opis struktury (wszystkie części składowe) w postaci szesnastkowej.

## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



Rysunek 42 – Okno aplikacji Group Monitor z oknem szczegółowym wybranego telegramu

Etap drugi badań i pomiarów to wykorzystanie aplikacji Group Monitor do rejestracji telegramów w sieci EIB/KNX przy współpracy z pakietem Microsoft Office Excel. Zarejestrowane w aplikacji Group Monitor telegramy zostały zapisane w postaci plików z danymi, które następnie poddano odpowiedniej obróbce w pakiecie Excel. Warto tu wspomnieć, że wartości (np. dane o zużyciu energii) rejestrowane są w postaci szesnastkowej, dlatego też podstawową operacją w pakiecie Excel była konwersja tych danych do postaci dziesiętnej. Przykładowy wygląd fragmentu okna z danymi w formacie pakietu Excel przedstawiono na rysunku 43.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	#	Time	Service	Conf.	Pri	Source	addr	Source	Destination	addr.	Destination	Rout	DPT	Type	Data
2	826	2005-08-27 00:13:32.335	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0	01-sty	m_bierma	6 -	Write	10	16		
3	827	2005-08-27 00:13:32.366	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0	02-sty	znak	6 -	Write	+			
4	828	2005-08-27 00:19:10.031	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/2	e_bierma	6 -	Write	0001FAFE	129790			
5	829	2005-08-27 00:19:10.061	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/1	e_czynna	6 -	Write	000FB038	1031480			
6	830	2005-08-27 00:49:19.022	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/2	e_bierma	6 -	Write	0001FB008	129800			
7	831	2005-08-27 00:49:19.052	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/1	e_czynna	6 -	Write	000FB07E	1031560			
8	832	2005-08-27 00:51:51.952	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en1/0	m_czynna	6 -	Write	060F	1551			
9	833	2005-08-27 00:52:08.366	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en1/0	m_czynna	6 -	Write	96	150			
10	834	2005-08-27 01:19:28.013	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/2	e_bierma	6 -	Write	0001FB12	129810			
11	835	2005-08-27 01:19:28.043	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/1	e_czynna	6 -	Write	000FB0DCE	1031630			
12	836	2005-08-27 01:49:37.005	from bus	- /	L	1.1.12	licznik_en0/2	e_bierma	6 -	Write	0001FB1C	129820			

Rysunek 43 – Okno pakietu Excel z zarejestrowanymi telegramami EIB/KNX

#### Rozdział 4 – Badania laboratoryjne

---

Zebrane dane, po odpowiedniej obróbce, posłużyły do stworzenia wykresów, dzięki którym możliwa była ich szybka i prosta interpretacja. Wykresy te omówione zostały w kolejnym podrozdziale.

Niestety, choć w mierniku zainstalowanym na stanowisku pomiarowym dla standardu EIB/KNX mierzone są najprostsze parametry informujące o jakości energii zasilania (napięcie fazowe, prądy fazowe, częstotliwość, współczynniki mocy dla poszczególnych faz i całkowity), to jednak żaden z nich nie został udostępniony jako obiekt komunikacyjny dla magistrali systemowej. Ich pomiar i obserwacja możliwe są jedynie bezpośrednio na wyświetlaczu urządzenia pomiarowego. Wielkości te nie są również możliwe do przesłania żadnym innym standardem (np. łączem szeregowym RS-232 czy RS-485), ponieważ licznik nie został w nie wyposażony.

Zdaniem autora w celu podniesienia funkcjonalności miernika oraz jego lepszego dostosowania do aktualnych potrzeb rynku (temat jakości energii jest coraz bardziej popularny w środowisku inżynierskim oraz odbiorców indywidualnych – urywkowienie sektora energetycznego), celowe byłoby jego wyposażenie w łącze standardu RS lub USB wraz z udostępnieniem dodatkowych sygnałów pomiarowych takich jak: informacje o poziomie kilku harmonicznych napięć i prądów, wartościach skutecznych tychże napięć i prądów, częstotliwości oraz współczynników mocy poszczególnych faz. Równocześnie należałyby udostępnić te dane przez zainstalowany już interfejs standardu EIB/KNX.

#### **4.3.5. Analiza danych pomiarowych z sieci LonWorks oraz EIB/KNX – wykresy**

Jak już wspomniano wcześniej, dane zebrane w trakcie pomiarów dla obu systemów wykorzystano do stworzenia kilku wykresów. Dane pomiarowe obejmowały, z niewielkimi przerwami, okres 3 miesięcy roku 2005 – sierpień, wrzesień i październik. W każdym z tych miesięcy wybrano cztery dni tygodnia – wtorek, środa oraz sobota, niedziela w celu ich porównania. Warto tu nadmienić, iż każdy z tych miesięcy posiada w sensie energetycznym swoisty charakter. Sierpień to na uczelni okres urlopowy oraz tzw. oszczędnościowy, a więc charakteryzujący się niskim zużyciem energii oraz niewielką liczbą przyłączonych odbiorników. Październik to z kolei pierwszy miesiąc nowego roku akademickiego, kiedy to znacząco wzrasta liczba przyłączonych do sieci odbiorników. Wrzesień zaś można przyjąć jako okres przejściowy pomiędzy dwoma wspomnianymi miesiącami – bardzo niskiego i wysokiego zużycia energii (odpowiednio – małej i dużej liczby odbiorów).

Na rysunku 44 przedstawiono wykresy dotyczące zużycia energii czynnej z uwzględnieniem wspomnianych już dni tygodnia.

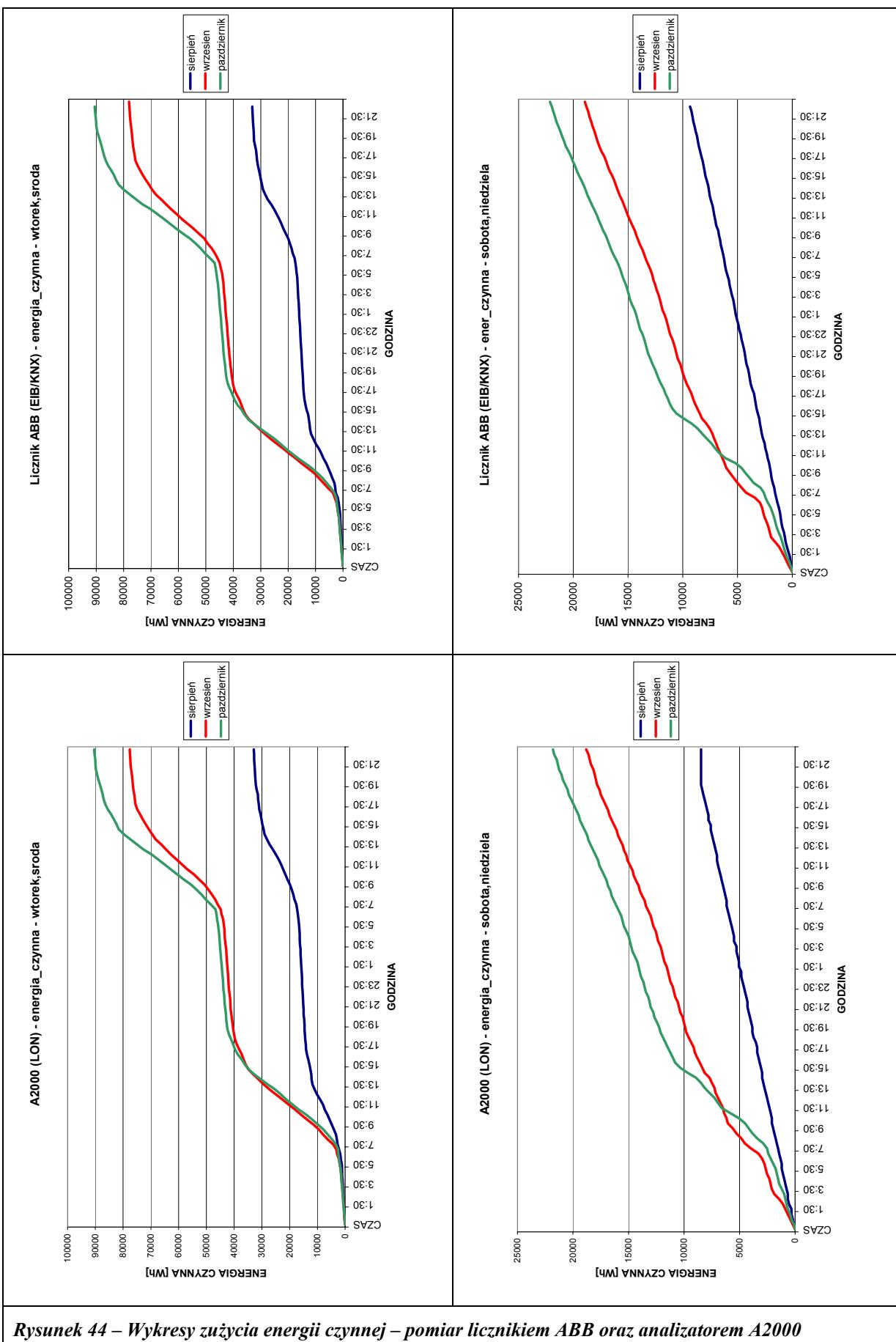
Przedstawione tam wykresy to oczywiście najbardziej podstawowa informacja o zużyciu energii elektrycznej w danym obiekcie zasilanym. Więcej informacji o stanie i jakości energii w prezentowanych okresach pomiarowych mogą dostarczyć wykresy sporządzone w oparciu o dane z analizatora sieci A2000 pracującego w systemie LonWorks.

W dalszej części rozdziału umieszczono wykresy obrazujące odpowiednio: aktualny poziom poboru mocy czynnej, biernej i pozornej – rysunki 45 i 46 oraz zmiany wartości skutecznej napięcia fazowego w poszczególnych fazach – rysunki 47 i 48. Zachowano te same okresy pomiarowe, jak to miało miejsce dla wykresów zużycia energii.

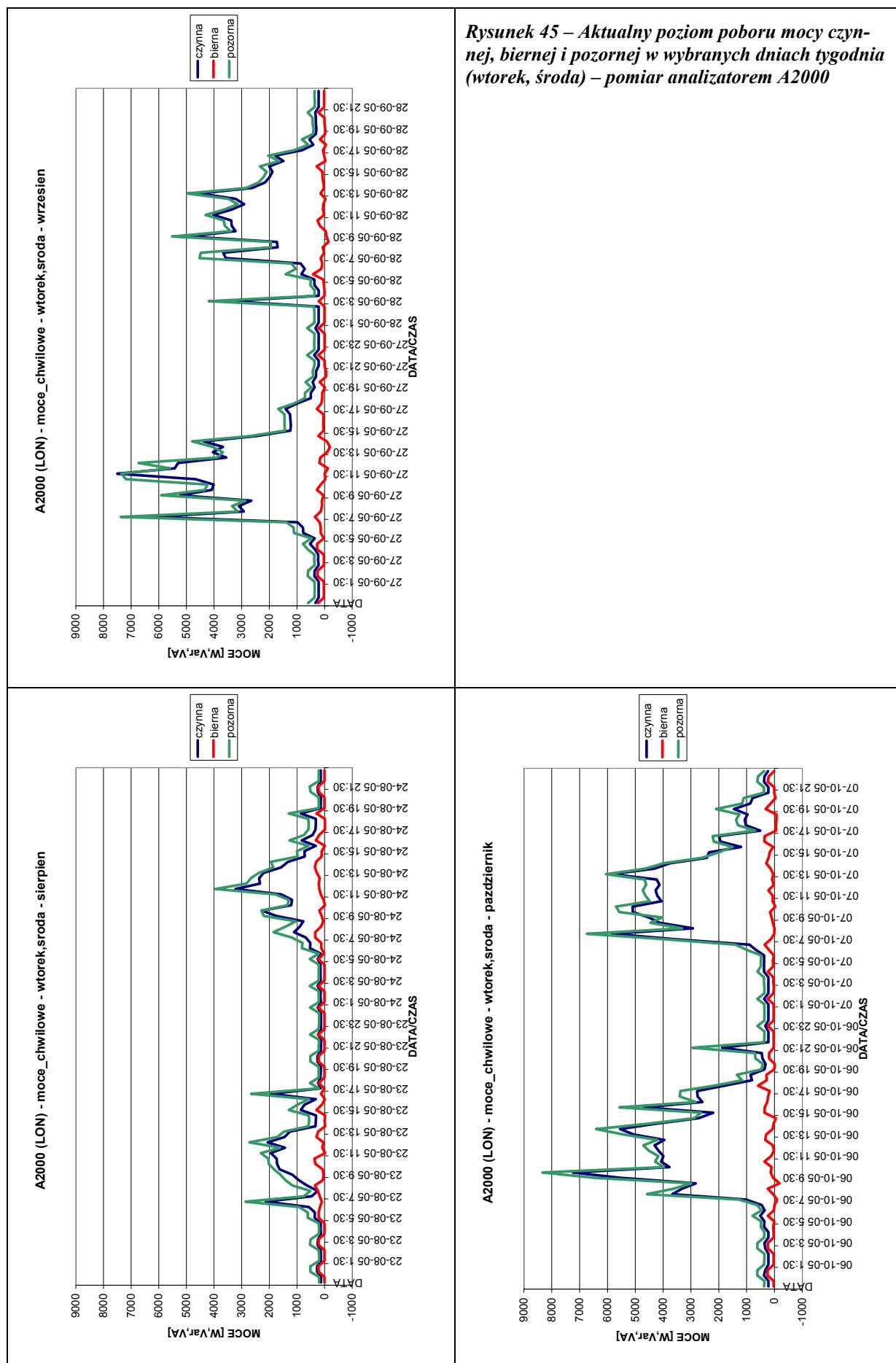
Zdaniem autora pracy wykresy te opracowane na podstawie zebranych danych przesyłanych magistralami systemowymi jako telegramy i komunikaty standardów LonWorks i EIB/KNX, obrazują aktualne możliwości zastosowania systemów inteligentnego budynku w pomiarach zużycia energii elektrycznej oraz obserwacji podstawowych wskaźników jej stanu, w budynkach, zwłaszcza użyteczności publicznej.

Oba porównywane standardy dysponują znacznym potencjałem technologicznym w zakresie możliwości ich wykorzystania w pełnym zarządzaniu energią oraz kontroli jej parametrów jakościowych. Jednakże na podstawie przeprowadzonych badań oraz rozpoznania aktualnej oferty rynkowej, nie tylko w Polsce, dominującą rolę w tym zakresie (choć nie jest to jeszcze poziom w pełni zadowalający) przypisać można standardowi LonWorks.

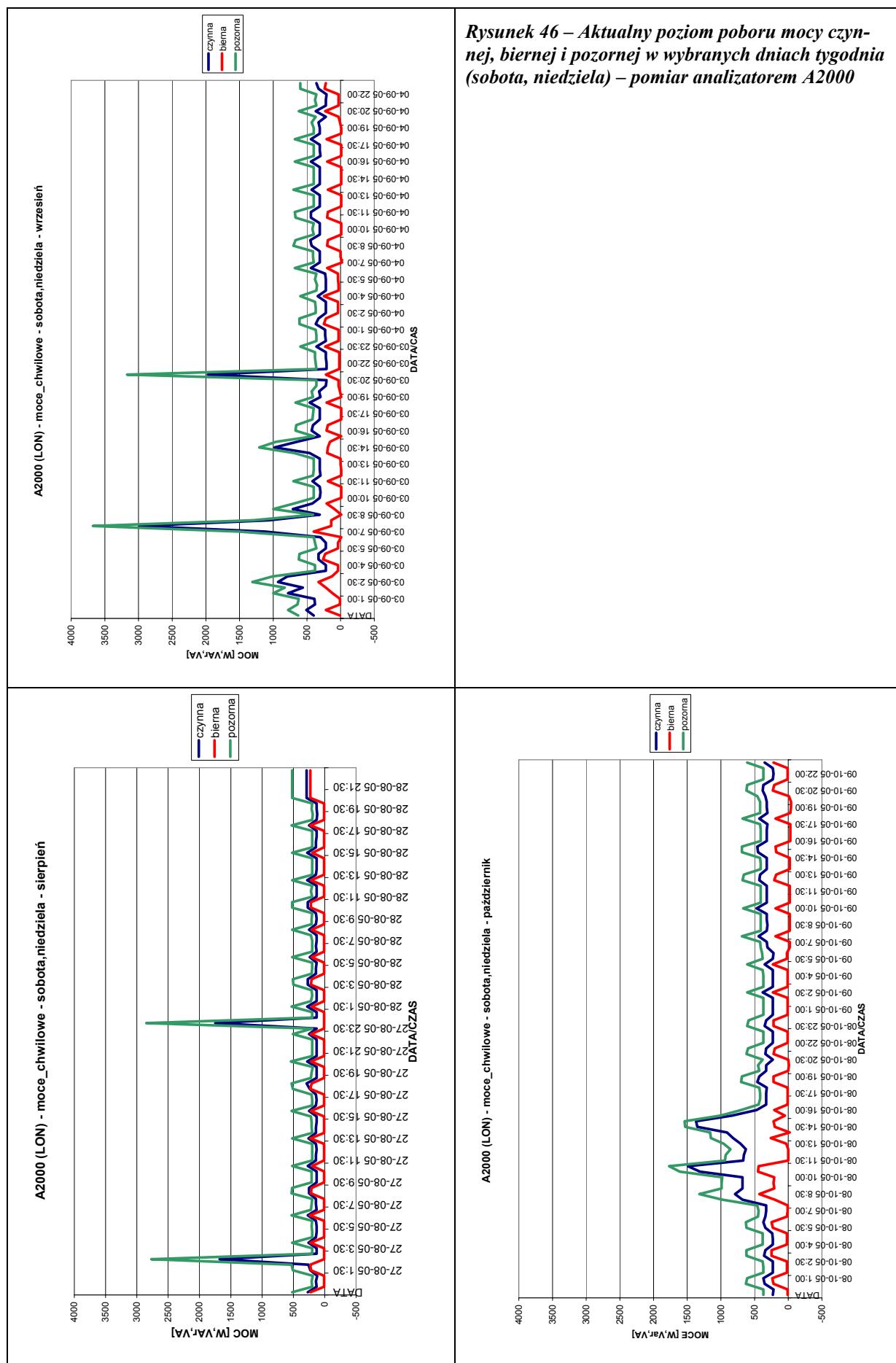
## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



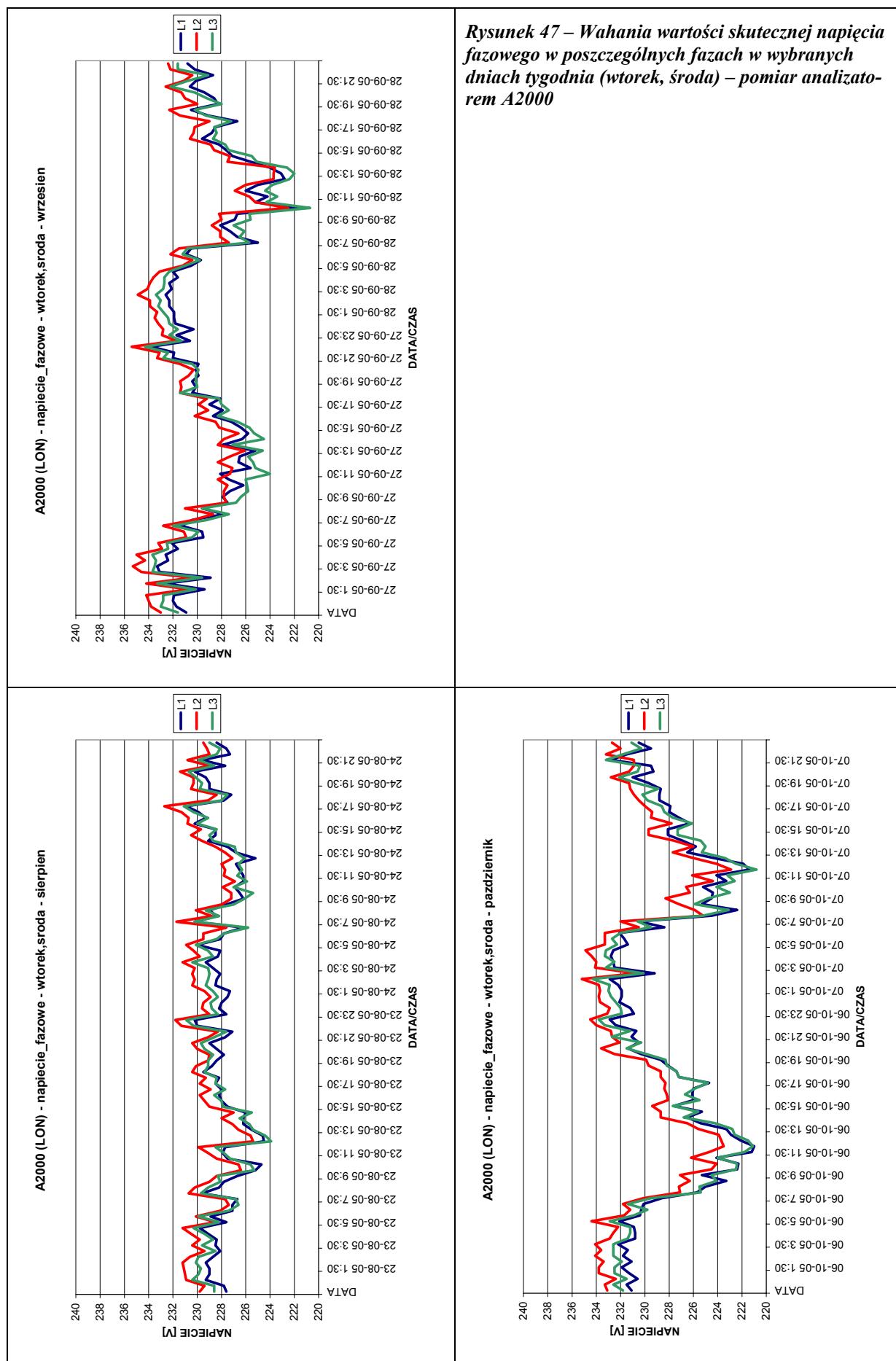
Rysunek 44 – Wykresy zużycia energii czynnej – pomiar licznikiem ABB oraz analizatorem A2000



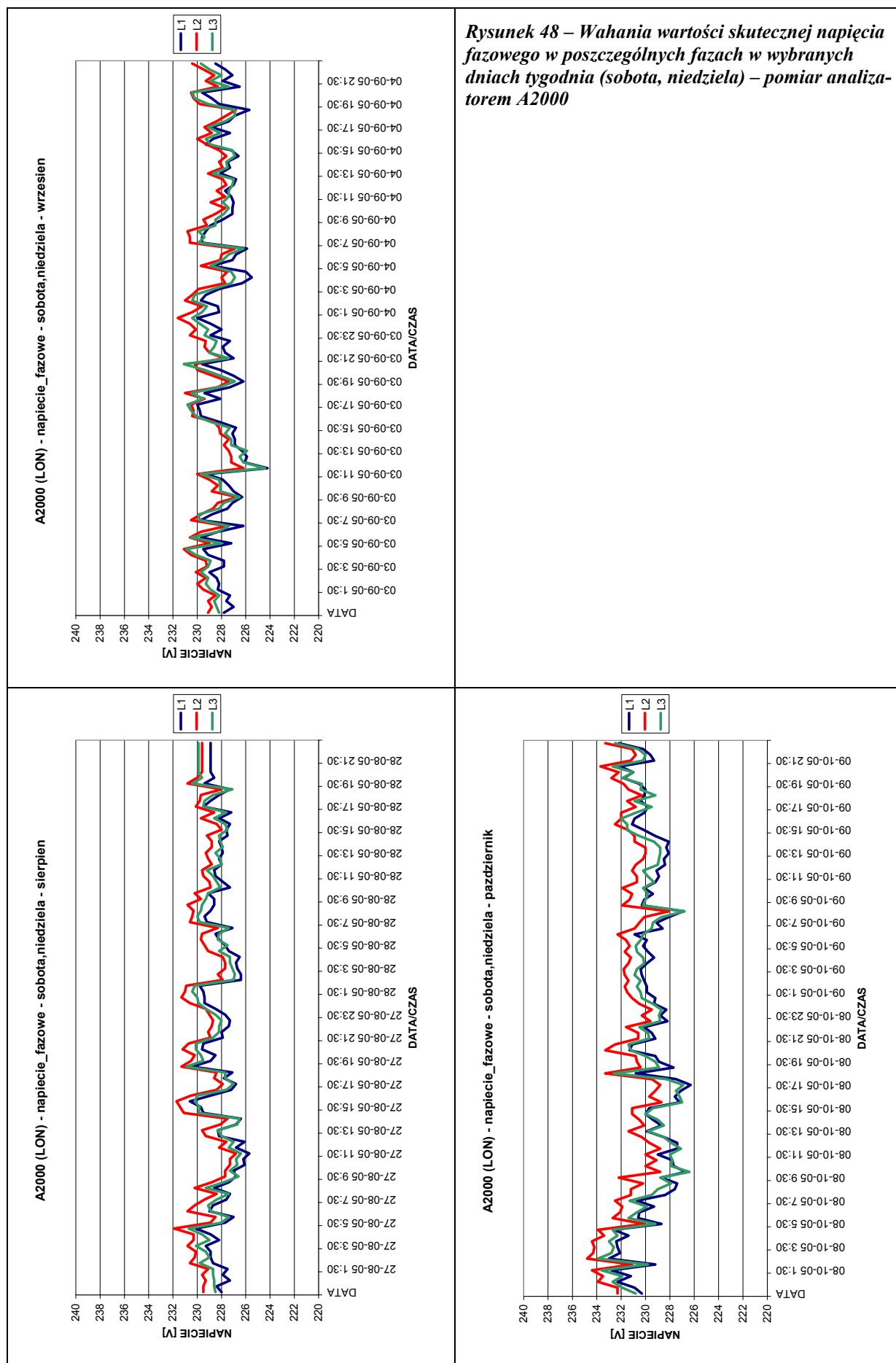
## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



Analizując zaprezentowane wykresy, sporządzone na podstawie danych zebranych za pomocą magistralowych systemów standardu LonWorks oraz EIB/KNX stwierdzić można, iż mogą być one wykorzystane w monitoringu, kontroli i ocenie podstawowych parametrów sieci zasilających budynki. Z wykresów widać wyraźnie różnice w zużyciu energii w różnych okresach oraz zmiany wartości poziomu chwilowej mocy czynnej. Zmienia się również zakres wałań wartości skutecznej napięcia sieci zasilania w zależności od okresu, a tym samym od ilości odbiorników przyłączonych do tejże sieci. Dodatkowo telegramy niosące informację o zużyciu energii elektrycznej mogą być wykorzystane np. w rozliczeniach odbiorców z zakładem energetycznym, a informacja o zmianach wartości skutecznej napięcia może stanowić w uzasadnionych przypadkach, podstawę do roszczeń związanych z zachowaniem właściwej jakości zasilania.

Ze względu na dość krótki okres czasu w jakim dokonywano opisywanych pomiarów w podrozdziale tym zaprezentowano jedynie część możliwości interpretacji danych pomiarowych. Kolejny podrozdział prezentuje znacznie szerszą gamę tego typu możliwości, opracowany został bowiem w oparciu o znacznie szerszy zbiór danych.

### **4.4. Analiza wyników pomiarów zużycia energii elektrycznej w istniejących instalacjach automatyki budynkowej**

W latach 1998-1999 w budynku Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki (EAiE) Akademii Górnictwo - Hutniczej w Krakowie (pawilon B-1), wykonana została pilotażowa instalacja automatyki budynku w oparciu o technologię LonWorks. Początkowo zostały nią objęte jedynie cztery pokoje na parterze budynku, zaś w latach 2001-2002 również pozostałe pomieszczenia znajdujące się na parterze oraz pierwszym piętrze pawilonu B-1. W pokojach tych zamontowano sterowniki STP-02/E wraz z czujnikami, mające za zadanie przede wszystkim sterowanie automatycznym wyłączaniem oświetlenia w przypadku nieobecności osób w pomieszczeniu, oraz moduły czujnika i zadajnika temperatury TSSP-02 wraz z elektrycznie sterowanymi zaworami grzejnikowymi, regulującymi temperaturę, zgodnie z zapisanym w zadajniku harmonogramem trybu nocnego i dziennego [42]. Równocześnie z budową instalacji pilotażowej uruchomiono układ służący do pomiaru zużycia energii, oparty o zainstalowane w rozdzielnicy energetycznej moduły, przetwarzające obroty tarczy licznika tradycyjnego, na impulsy dyskretne. Moduły te nie mają niestety możliwości transmisji danych przez sieć LonWorks. W odstępach 15 minutowych odczytywana jest przez urządzenie liczba impulsów, proporcjonalna do pobranej w tym okresie czasu energii. Dane te rejestrowane są w plikach tekstowych, oddzielnie dla każdego z liczników, a następnie prze-

noszone do pamięci komputera. W pliku zawarta jest informacja o dacie i godzinie pomiaru oraz liczbie odpowiadającej ilości zliczonych przez układ impulsów [66], [67]. Format zarejestrowanych danych, poddawanych następnie obróbce dla wykorzystania ich jako danych liczbowych do analizy statystycznej i graficznej, przedstawia się następująco:

2003 02 06 16,15  
(data i godzina)

117

(liczba impulsów)

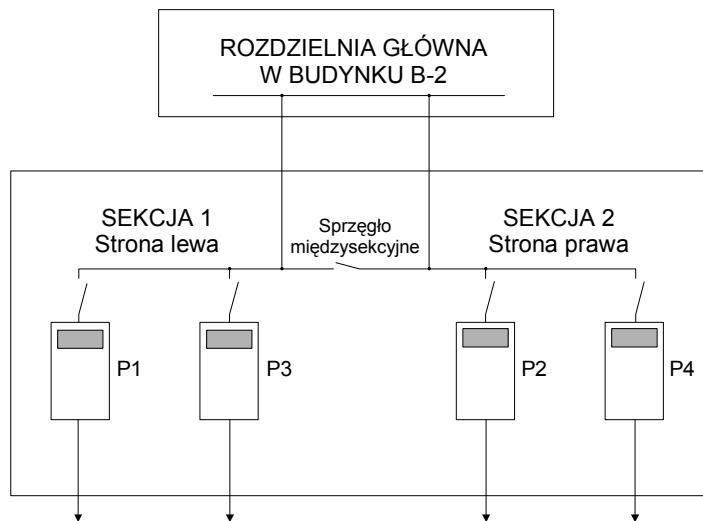
W celu otrzymania wartości energii elektrycznej pobranej w okresach 15 minutowych, konieczne było pomnożenie liczby impulsów przez odpowiednią wagę (współczynnik) wynikającą z zastosowanych przekładników prądowych oraz liczby impulsów przypadających na 1 kWh energii [66].

$$waga = \frac{v_I \cdot v_U}{c_{imp}} \text{ [kWh/imp]}$$

$$\text{energia} = waga \cdot \text{liczba\_impulsów} \text{ [kWh]}$$

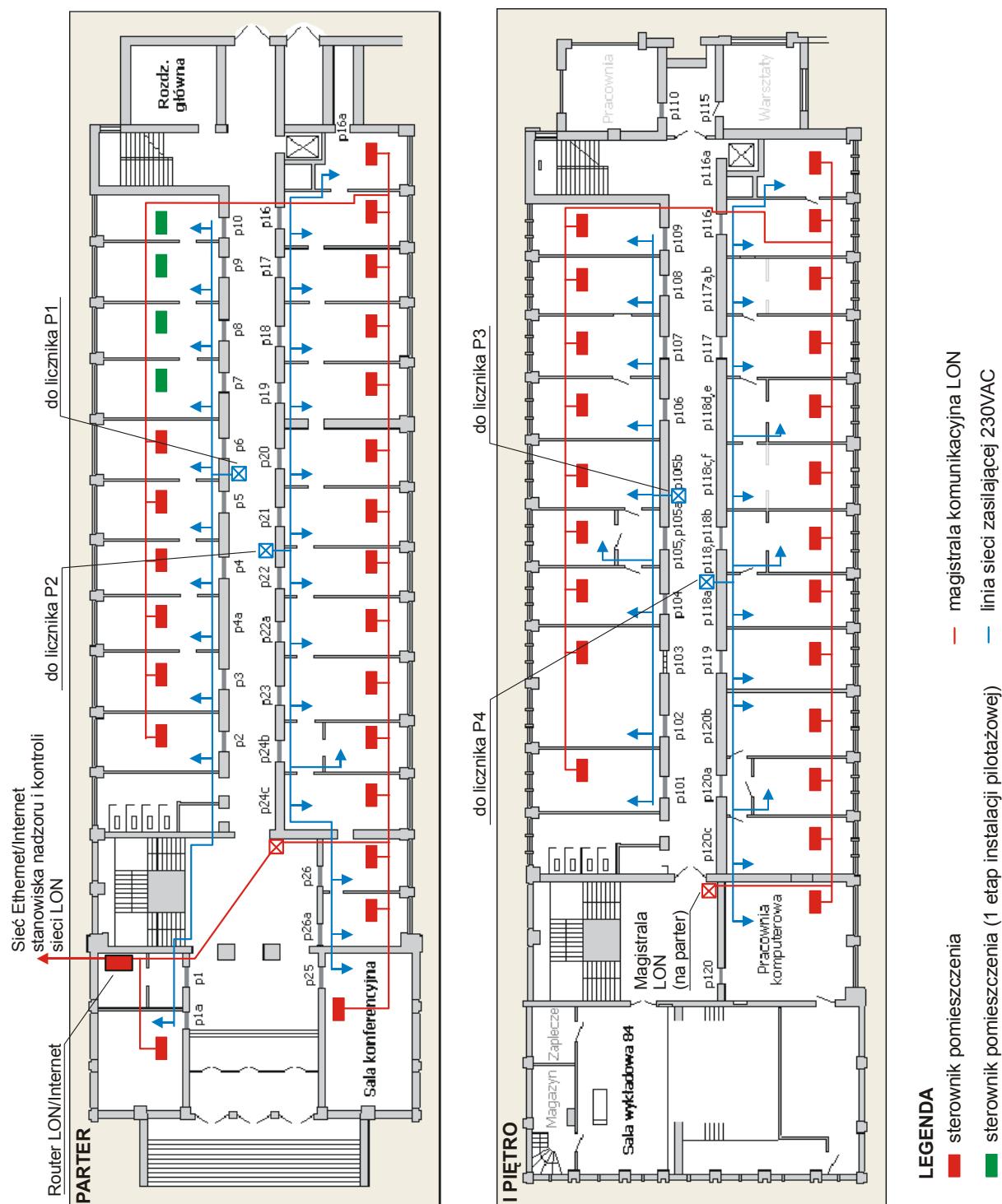
gdzie:  
 $c_{imp} = 1600$  [imp/kWh] - stała zastosowanych liczników energii  
 $v_I = 10$  - przekładnia prądowa  
 $v_U = 1$  - przekładnia napięciowa

Sieć elektryczna zasilająca obie kondygnacje pawilonu B-1 na których została zrealizowana instalacja pilotażowa sieci LonWorks, podzielona jest w rozdzielnicy elektrycznej budynku na skrzydła (odpowiadające lewej i prawej stronie budynku), a każde ze skrzydeł na poziomy, związane z kondygnacjami budynku. Strukturę połączeń w rozdzielnicy pokazano na rysunku 49.



**Rysunek 49 – Schemat rozdzielnicy elektrycznej z podziałem na sekcje**

Schemat strukturalny zaś omawianej instalacji elektrycznej dla poziomu parteru i pierwszego piętra przedstawiono na rysunku 50 [42].



Rysunek 50 – Schemat ideowy zasilania i instalacji LonWorks w pawilonie B-1.

Zaznaczone na rysunku 49 liczniki energii elektrycznej przyporządkowane są odpowiednio:

- P1 parter - strona lewa (pokoje pracowników naukowych); tu początkowo została zrealizowana instalacja dla wybranych czterech pokojów
- P2 parter - strona prawa (dziekanat i pokoje pracowników naukowych)
- P3 I piętro - strona lewa (pokoje pracowników naukowych i sala dydaktyczna)

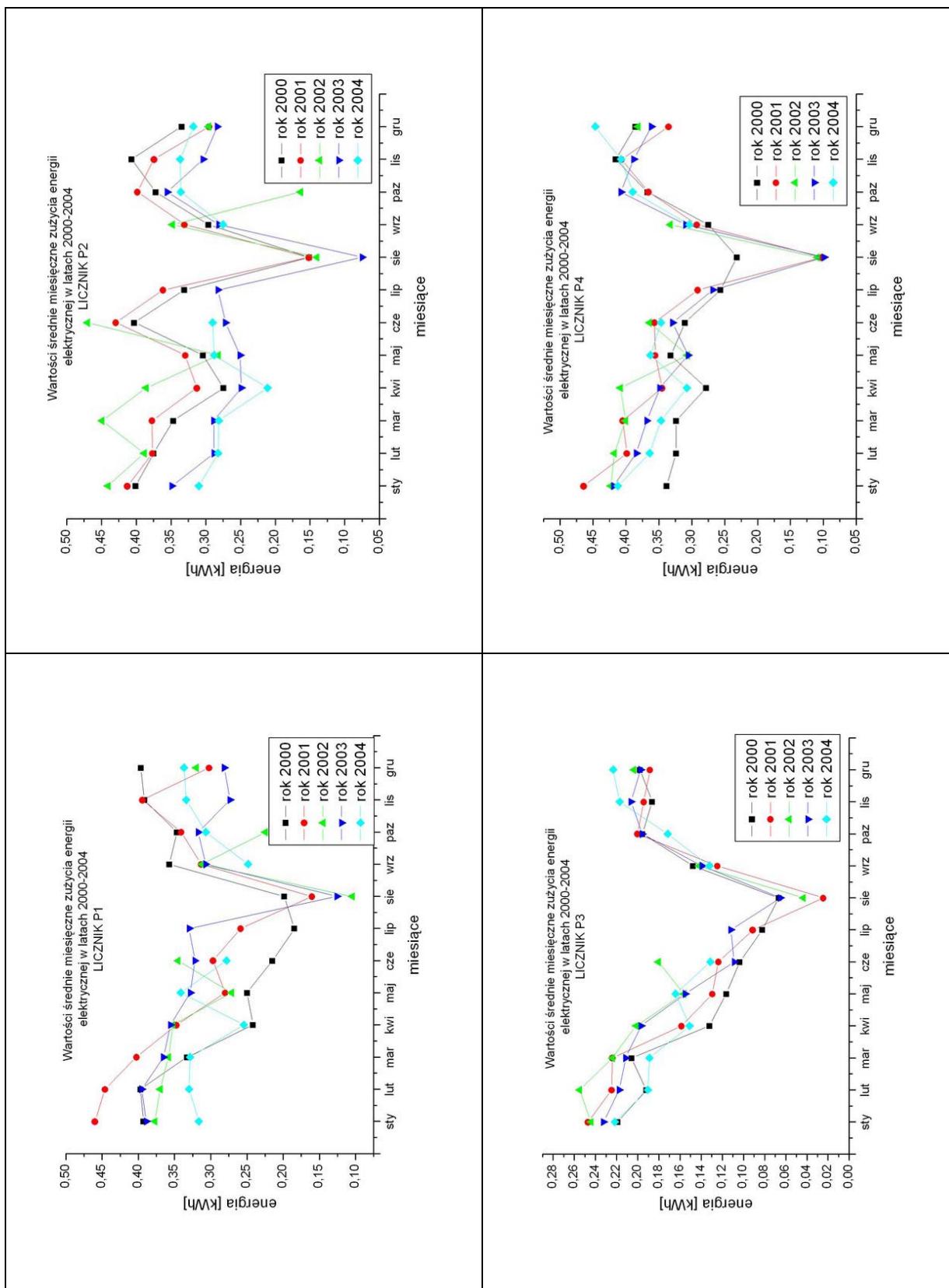
P4 I piętro - strona prawa (pokoje pracowników naukowych) [66], [67].

Zbiory danych pomiarowych dla wszystkich dni i miesięcy w roku zarejestrowano poczynając od roku 2000 do końca roku 2004. Zbiory te posiadają niewielkie braki danych w niektórych dniach, pojawiające się losowo z przyczyn natury technicznej, niezależnych od prawidłowej obsługi modułów pomiarowych. Znaczące braki danych zaobserwowano jedynie w roku 2002 i 2004 w miesiącach letnich. W danych z roku 2002 nie uwzględniono więc danych pomiarowych z drugiej połowy czerwca oraz miesięcy: lipca i listopada. Ze względu na awarię zasilania urządzeń pomiarowych, wyposażonych we własne baterie podtrzymujące pracę modułu, w miesiącach letnich roku 2004 (lipiec, sierpień) nastąpiło wyzerowanie się liczników oraz ich wewnętrznego zegara i daty. Obróbka danych pomiarowych z kolejnych miesięcy po wspomnianej awarii, była w znacznym stopniu utrudniona ze względu na problem precyzyjnego wyznaczenia dnia i godziny ponownego rozpoczęcia poprawnej rejestracji. Możliwość ustalenia poprawnej daty i godziny w danych pomiarowych pojawiła się dopiero na początku września 2004 (5.09.2004), kiedy to przy odczycie stanu modułów pomiarowych została zapisana rzeczywista data i godzina początku nowej rejestracji dla każdego z liczników. Datę tę potraktowano jako punkt odniesienia dla kolejnych rejestracji i na jej podstawie odtworzono prawidłowe dane pomiarowe poczynając od dnia 1 września 2004. Ostatecznie, po uwzględnieniu wszystkich braków danych, obliczono procentowe wskaźniki efektywności gromadzenia danych w poszczególnych latach całego okresu pomiarowego. Pokazują one jaki procent danego roku objęty jest rzeczywistymi, poprawnymi danymi uwzględnionymi w analizach: rok 2000 – 96,9%, rok 2001 – 99,8%, rok 2002 – 71,3%, rok 2003 – 99,9% oraz rok 2004 – 72,6%.

W pracy zdecydowano się na interpretację statystyczną danych pomiarowych, opartą o wartości średnie oraz maksymalne dla okresów 15 minutowych. Jako punkt wyjścia do porównania poziomów zużycia energii elektrycznej wybrano wartości średnie i maksymalne dla kolejnych miesięcy w latach 2000 – 2004, osobno dla każdego z czterech liczników. Otrzymane wartości przedstawiono w formie wykresów liniowych oraz histogramów, pozwalających na szybką interpretację i analizę trendów zmian zachodzących w zużyciu energii w tak znacznych okresach czasu.

#### **4.4.1. Porównanie zużycia energii na podstawie miesięcznych wartości średnich**

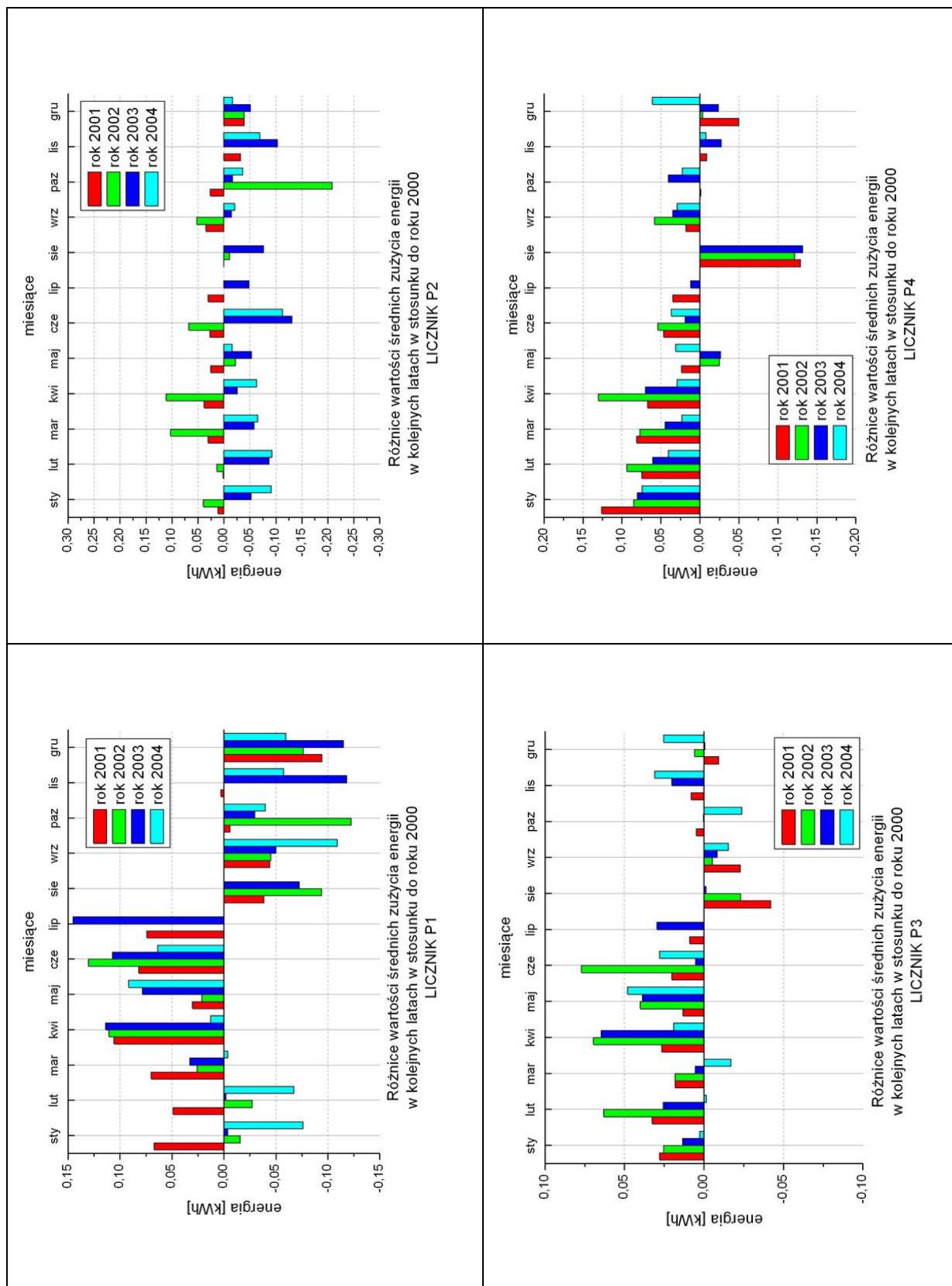
Na rysunku 51 zamieszczono wykresy, przedstawiające jak kształtoły się zmiany średnich 15 minutowych wartości zużycia energii w kolejnych miesiącach dla poszczególnych liczników, w latach 2000 – 2004.



Rysunek 51 – Wykresy zmian wartości średnich 15 minutowych zużycia energii elektrycznej w latach 2000 – 2004

Na ich podstawie można jednoznacznie stwierdzić, że praktycznie dla wszystkich linii zasilania największe zużycie energii występuje w miesiącach późno jesiennych i zimowych: od listopada do marca. Od tej reguły odbiega nieco wskazanie dla licznika P2, gdzie wzrost zużycia widoczny jest również w czerwcu i październiku. Fakt ten można dość łatwo wy tłumaczyć, gdy weźmiemy pod uwagę iż jest to licznik zainstalowany na linii zasilania obejmującej sobą pomieszczenia wydziałowego dziekanatu, gdzie w tych miesiącach panuje wzmożony ruch, związany z obsługą studentów. Dla wszystkich liczników najmniejsze zużycie występuje w miesiącach wakacyjnych lipiec, sierpień ze szczególnym naciskiem na drugi z nich, kiedy to pracownicy uczelni przebywają na urlopach, a budynek jest praktycznie wyłączony z użytkowania.

Ze względu na małą czytelność tego typu wykresów dla celów porównawczych zużycia w kolejnych latach, opracowano histogramy, przedstawiające różnice zużycia energii elektrycznej w kolejnych latach, w relacji do poziomu z roku 2000. Wykresy te zaprezentowano na rysunku 52.

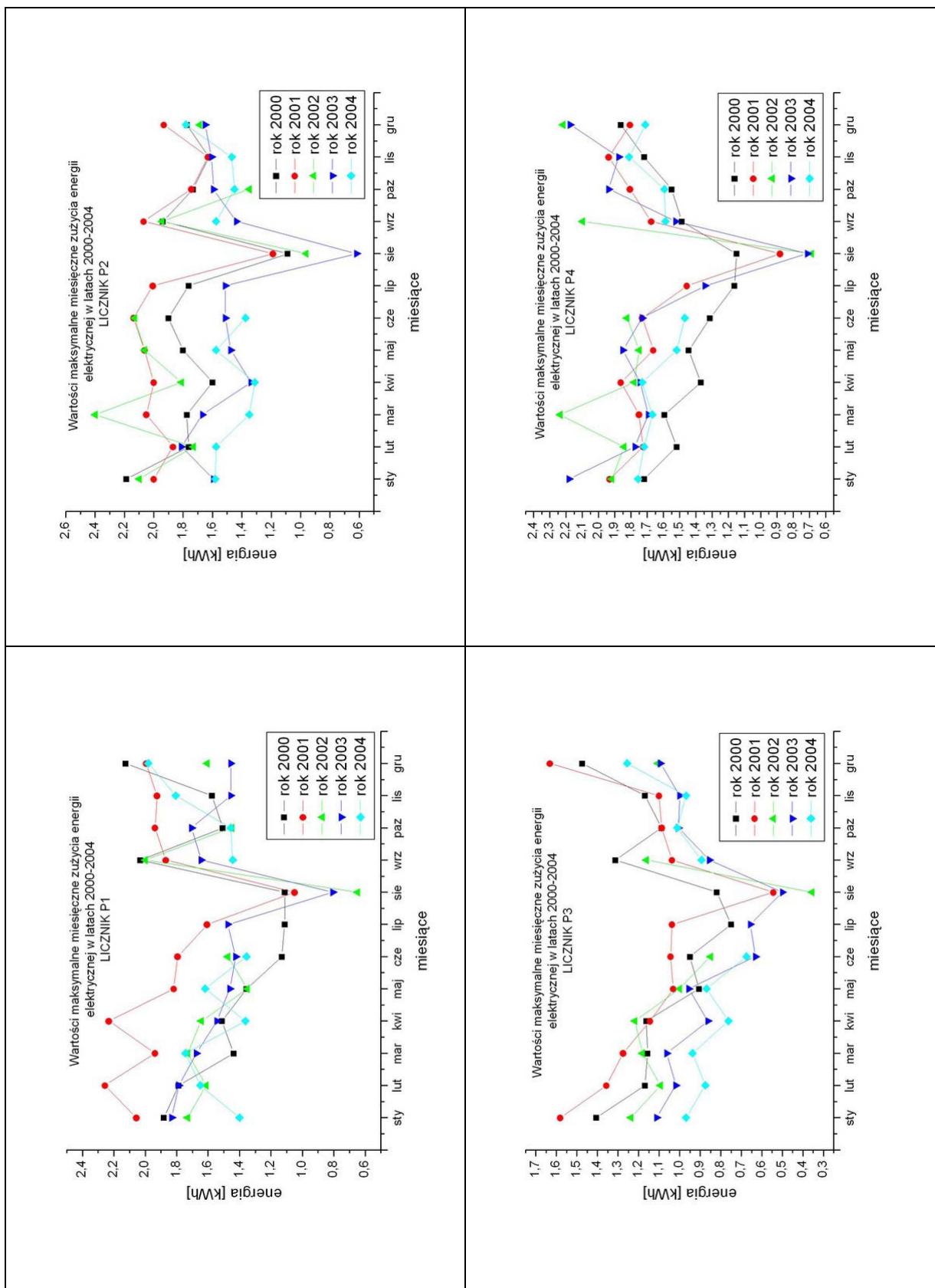


Rysunek 52 – Wykresy różnic wartości średnich 15 minutowych zużycia energii elektrycznej w latach 2001 – 2004 w stosunku do roku 2000 (histogramy)

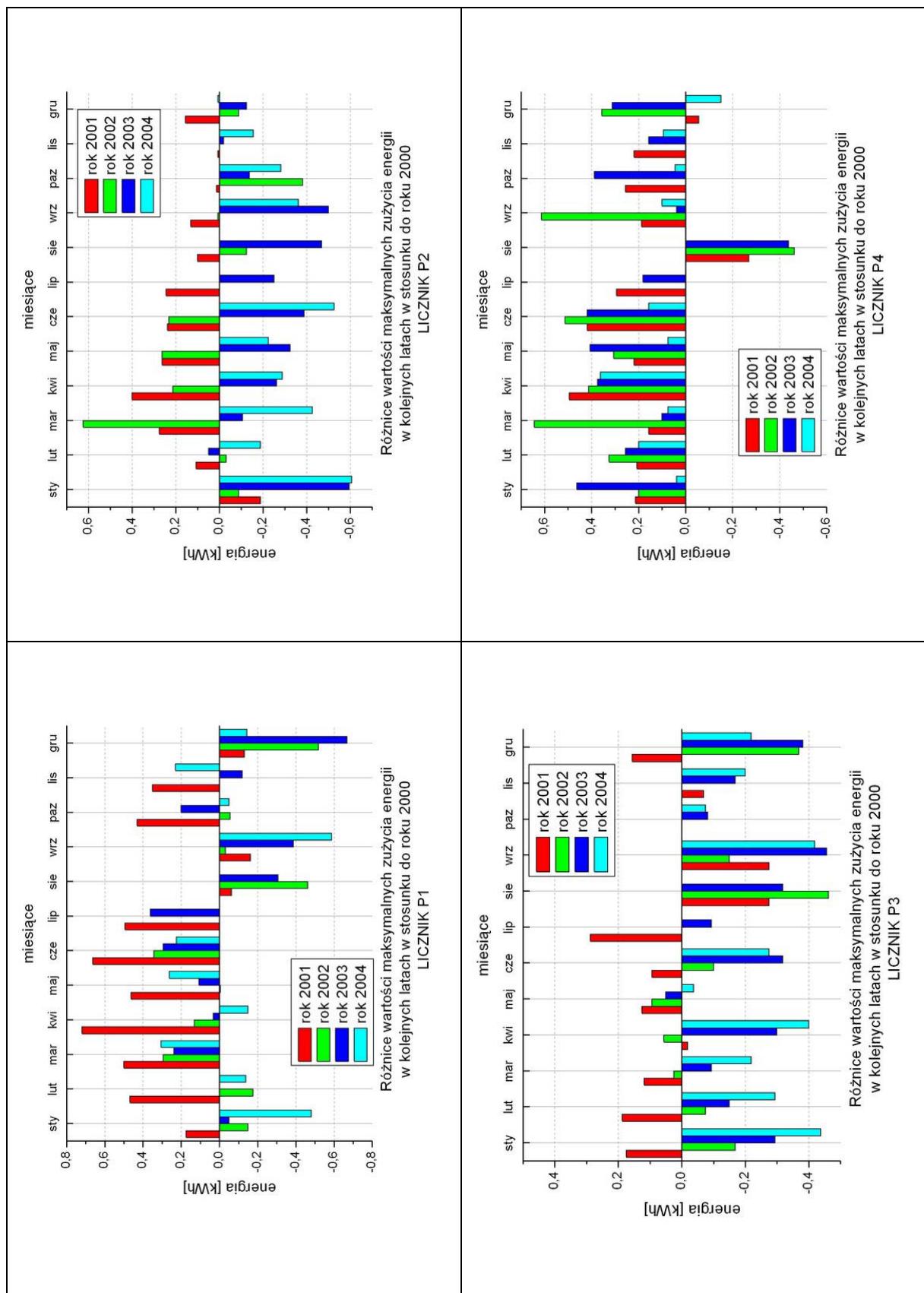
Dzięki przyjęciu takiej formy graficznej wykresów możliwe jest szybkie porównanie poziomów zużycia energii oraz analiza trendów dotyczących wzrostu lub spadku tego zużycia w kolejnych okresach pomiarowych. Z wykresów widać wyraźnie iż największe zmiany poziomu zużycia energii elektrycznej po zainstalowaniu systemu automatyki LonWorks dotyczą licznika P2 (dziekanaty) oraz P1. Dla pierwszego z nich zmniejszenie zużycia obserwujemy praktycznie we wszystkich miesiącach w latach 2003 i 2004, zaś dla licznika P1 zmniejszone zużycie pojawia się w miesiącach zimowych, kiedy to występuje największe zapotrzebowanie energetyczne, o czym wspomniano już wcześniej. Pozostałe dwie linie – P3 i P4 – nie wykazują tak znaczących obniżeń poziomu zużycia (kolumny różnic nad osią poziomą, co oznacza wzrost zużycia w stosunku do roku 2000), choć i tu zauważać można, że w kolejnych latach te dodatnie różnice zmniejszają się, szczególnie w linii P4. Dla tych dwóch liczników znaczące różnice ujemne występują tylko w miesiącach wakacyjnych. Należy mieć jednak świadomość, iż zaobserwowane zjawisko mniejszego zużycia energii dla niektórych linii nie świadczy jednoznacznie o oszczędności energii związanej z racjonalizacją jej zużycia. Autor nie posiada bowiem danych dotyczących zmian liczby i charakteru odbiorników w liniach w całym okresie pomiarowym. Można jedynie hipotetycznie przyjąć, że ich liczba wzrosła w relacji do roku 2000, stanowiącego początek okresu pomiarowego. W oparciu o taką hipotezę można stwierdzić, iż oszczędności energii wystąpiły, jednak nie można tego stwierdzenia przyjmować jako pewnik, uwzględniając właśnie wspomniane wyżej wątpliwości.

#### **4.4.2. Porównanie zużycia energii na podstawie miesięcznych wartości maksymalnych**

Podobne formy wykresów analitycznych jak dla wartości średnich opracowano dla maksymalnych wartości zużycia energii w okresach 15 minutowych. Otrzymane wykresy przedstawiono na rysunkach 53 i 54.



Rysunek 53 – Wykresy zmian wartości maksymalnych 15 minutowych zużycia energii elektrycznej w latach 2000 – 2004

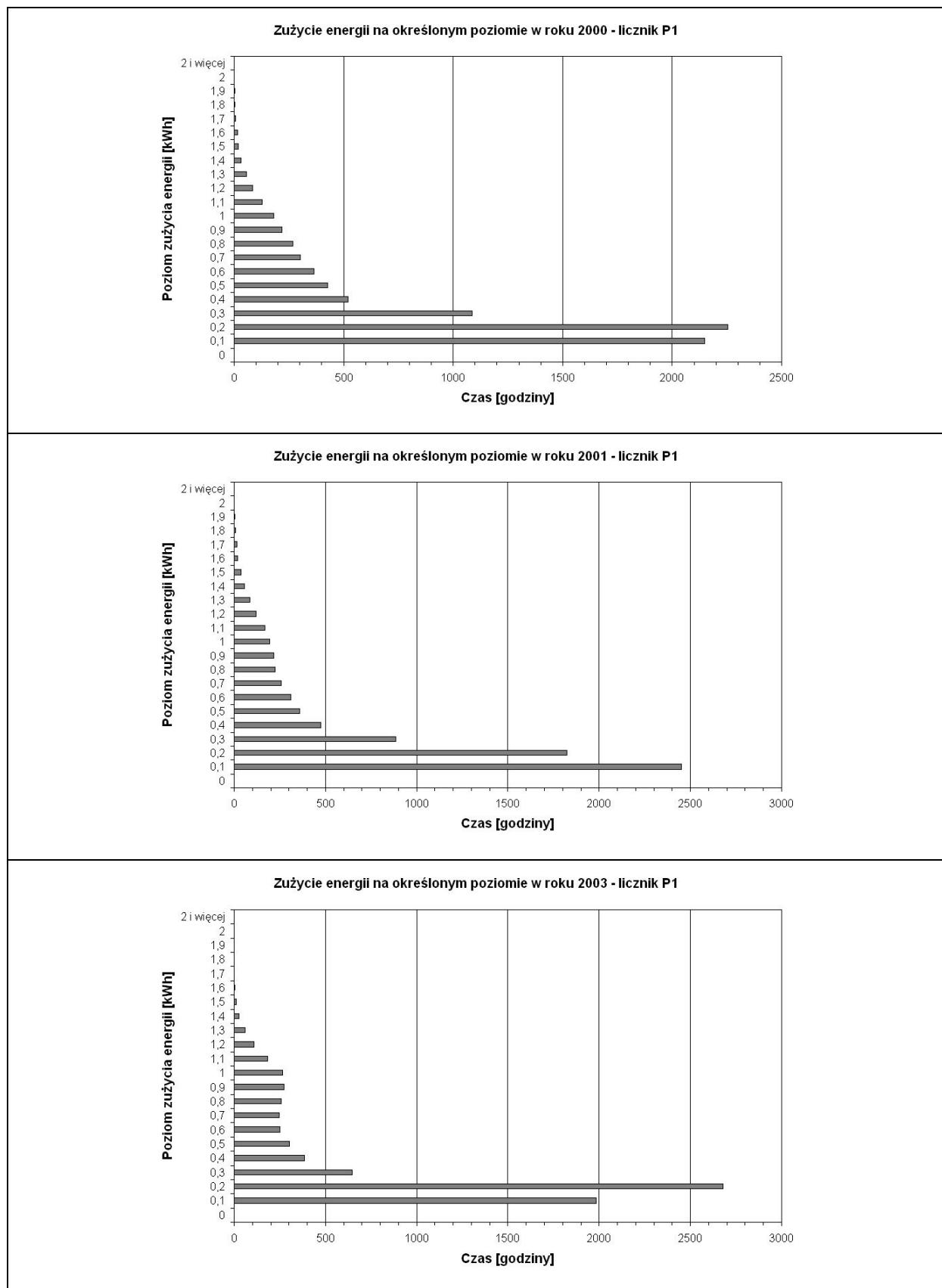


Rysunek 54 – Wykresy różnic wartości maksymalnych 15minutowych zużycia energii elektrycznej w latach 2001 – 2004 w stosunku do roku 2000 (histogramy)

Wnioski z analizy niniejszych wykresów są podobne jak w analizie dotyczącej wartości średnich. Również tu największe poziomy wartości maksymalnych uzyskano dla wszystkich liczników w miesiącach zimowych (listopad - marzec), zaś najniższe w wakacyjnych, szczególnie w sierpniu.

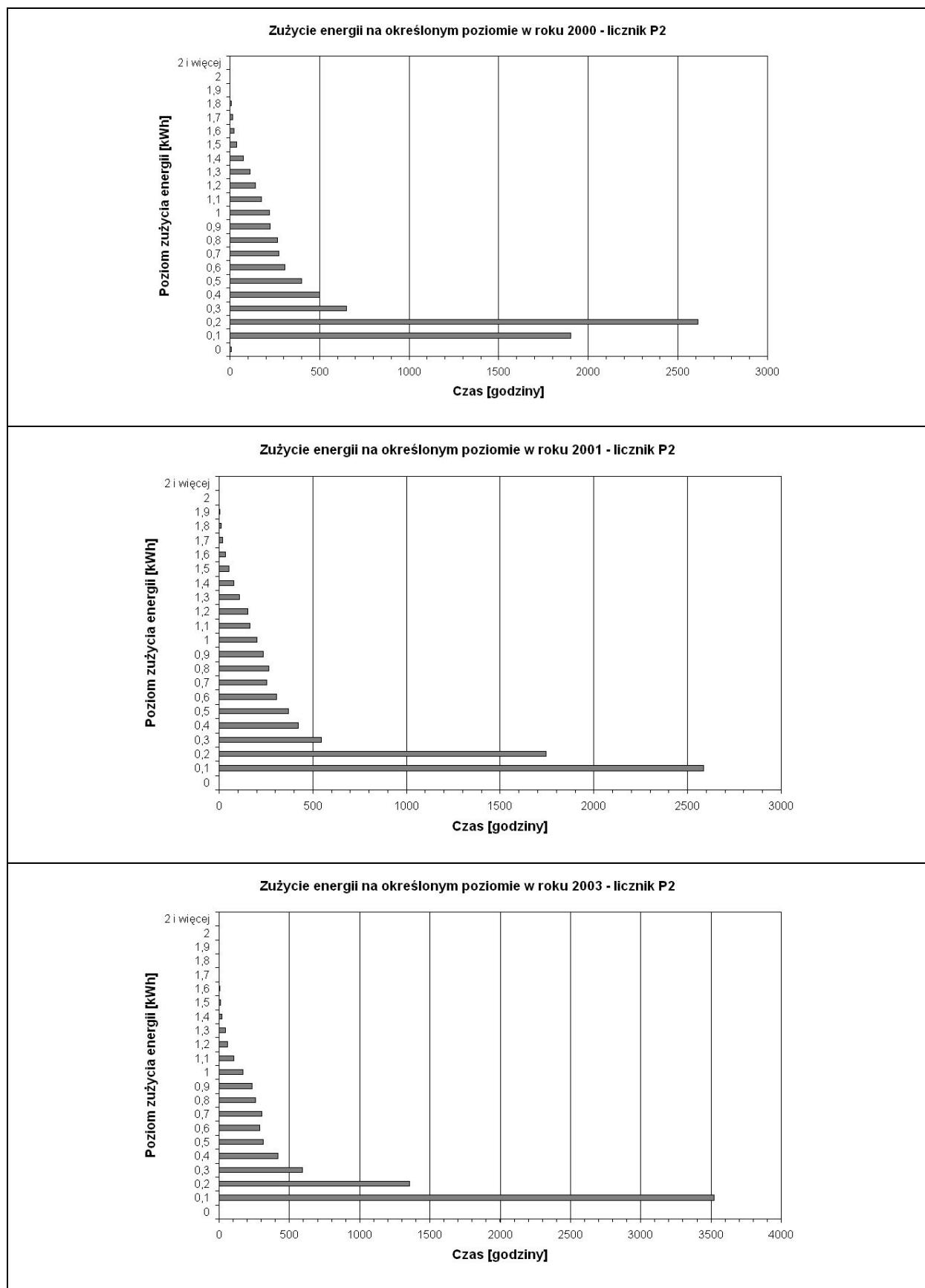
#### **4.4.3. Analiza poziomów zużycia energii elektrycznej w ciągu roku**

Dla wszystkich czterech linii zasilających przeprowadzono również ich analizę i porównanie pod względem czasu utrzymywania się określonego poziomu zużycia energii elektrycznej w okresach 15 minutowych w danej linii, w ciągu roku. Aby dokonać kompleksowego porównania do tych badań wybrano lata 2000, 2001 i 2003, dla których dane pomiarowe były najbardziej kompletne w poszczególnych miesiącach roku. Po wstępnej analizie danych, dla potrzeb kreślenia charakterystyk uporządkowanych, przyjęto gradację wartości zużycia energii rzędu 0,1 kWh, licząc od 0 kWh do 2 kWh. Ponieważ poziom zużycia rzędu 2 kWh w czasie 15 minut pomiędzy odczytem danych przez liczniki występował tylko sporadycznie, na osi poziomów zużycia jako najwyższą wartość przyjęto: „2 kWh i więcej”, by uniknąć zbędnego wydłużania osi pionowej charakterystyk i tym samym pogorszenia ich czytelności. Po przyjęciu tych założeń otrzymano 12 charakterystyk (po trzy charakterystyki dla każdego z liczników P1 do P4), które pogrupowano i zamieszczono na rysunkach 55, 56, 57 i 58.



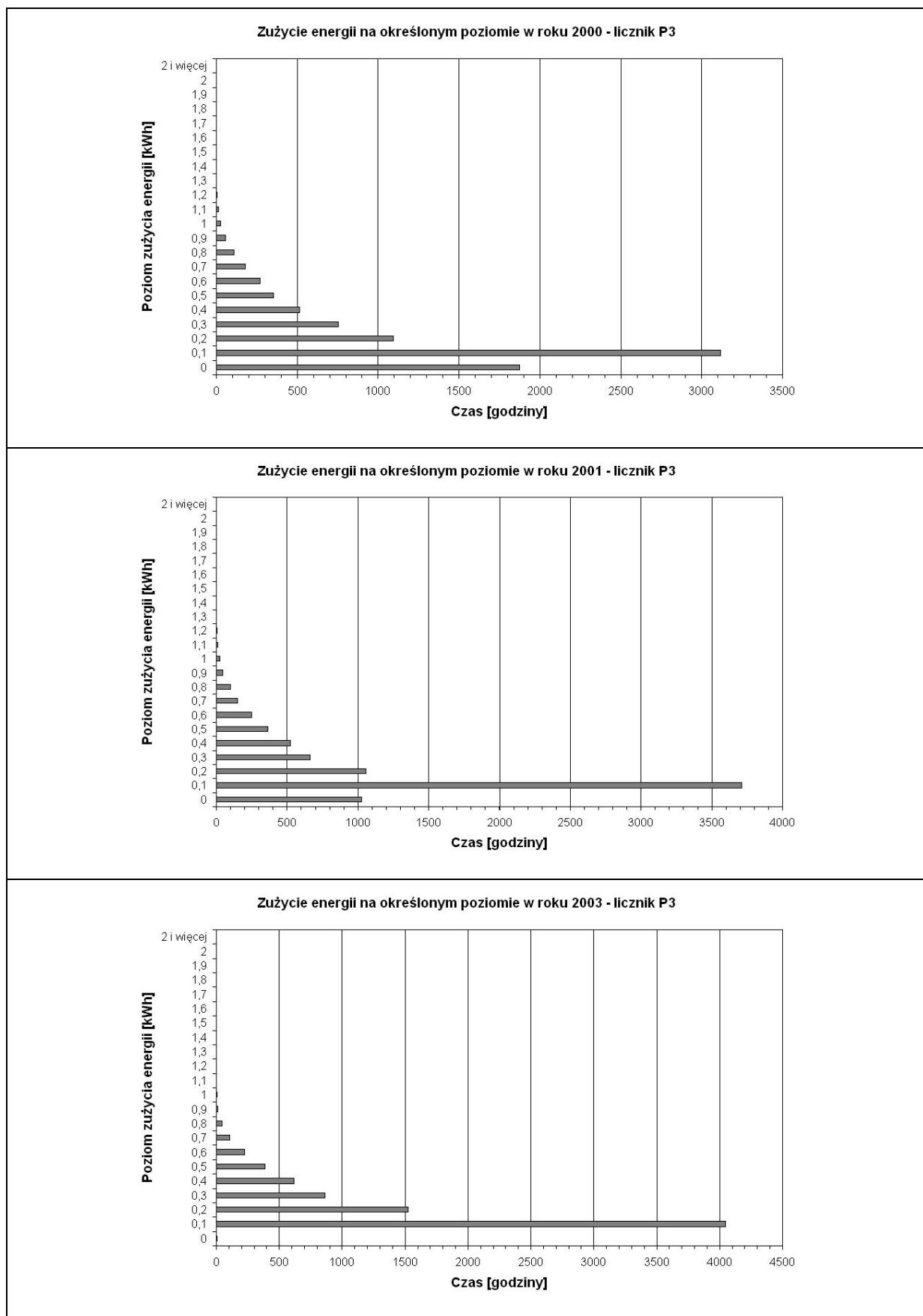
Rysunek 55 – Charakterystyki uporządkowane zużycia energii na określonym poziomie dla licznika P1

## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



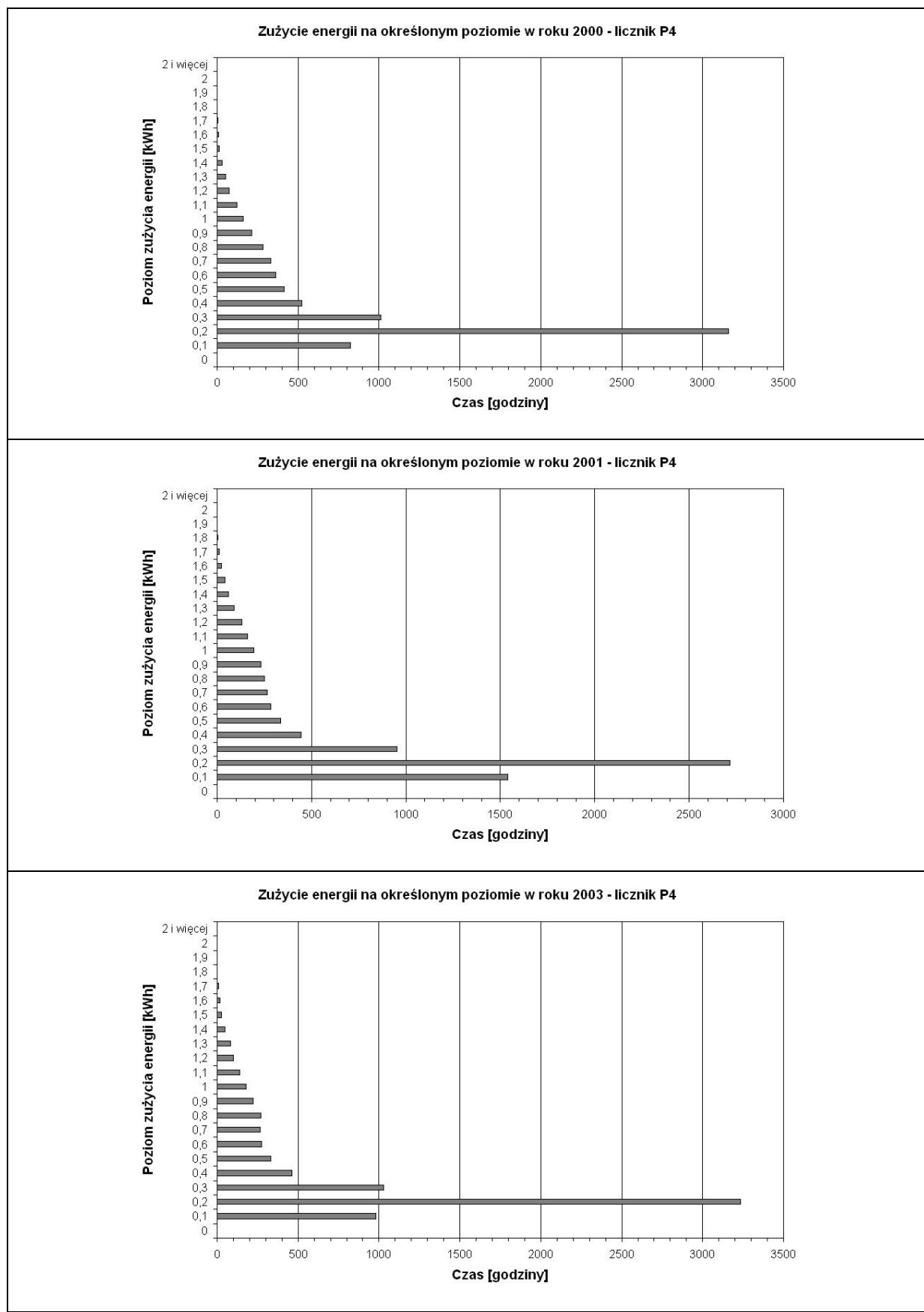
Rysunek 56 – Charakterystyki uporządkowane zużycia energii na określonym poziomie dla licznika P2

## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



Rysunek 57 – Charakterystyki uporządkowane zużycia energii na określonym poziomie dla licznika P3

## Rozdział 4 – Badania laboratoryjne



Rysunek 58 – Charakterystyki uporządkowane zużycia energii na określonym poziomie dla licznika P4

Dla wszystkich linii zasilania widać wyraźnie, iż w najdłuższym okresie czasu w ciągu całego roku, dla okresów 15 minutowych, zużycie energii utrzymuje się na poziomie 0,1 oraz 0,2 kWh. Szczególnie dotyczy to linii zasilającej P3, obejmującej niemal wyłącznie pokoje pracowników naukowych oraz jedną salę dydaktyczną. Fakt ten pozwala przypuszczać, że zastosowanie dodatkowych urządzeń automatyki budynkowej, sterujących głównie załączaniem i wyłączeniem oświetlenia może w znacznym stopniu przyczynić się do redukcji całkowitego zużycia energii elektrycznej w tego typu pomieszczeniach.

W przypadku większości linii zasilania zauważać można również, że w kolejnych latach zmieniał się dominujący poziom zużycia 15 minutowego. Sukcesywnie wzrasta bowiem długość czasu utrzymywania się zużycia o na poziomie 0,1 i 0,2 kWh, maleją zaś czasookresy o wyższych poziomie zużycia. Zwraca uwagę szczególnie przypadek linii P2 (pokoje pracowników naukowych i dziekanatu), gdzie w każdym kolejnym roku, w relacji do roku 2000, wzrasta czas utrzymywania się poziomu 0,1 kWh/15 minut, maleje zaś okres odpowiadający poziomowi 0,2 kWh/15 minut i wyższym.

Dość długi okres pomiarów pozwala zauważać korzystne tendencje w zużyciu energii elektrycznej, objawiające się niewielkimi spadkami tego zużycia rozpatrywanymi w kolejnych miesiącach oraz wydłużeniem się okresów czasu odpowiadających niższemu poziomowi zużycia w okresach 15 minutowych. Należy jednak jeszcze raz podkreślić, iż te trendy nie mogą być jednoznacznie utożsamiane z oszczędnościami energii, pojawiającymi się w kolejnych latach. W tym celu powinny być one rozpatrywane z uwzględnieniem danych dotyczących zmian liczby i charakteru odbiorników w liniach zasilających objętych pomiarami.

Jednoznacznie natomiast stwierdzić można, iż celowym byłoby zastosowanie systemów automatyki budynkowej w zbieraniu i analizie danych dotyczących zużycia energii oraz kształtowania się podstawowych parametrów zasilania (napięcie, prąd, częstotliwość, współczynnik mocy, THD) on-line, w oparciu o dostępne na rynku mierniki lub analizatory sieciowe z interfejsem LonWorks. Możliwe byłoby tu wykorzystanie dostępnych rozwiązań opisywanych szczegółowo w podrozdziale 4.3 niniejszej pracy. Znajomość wspomnianych parametrów i wielkości pozwala bowiem na sygnalizowanie wszelkich niekorzystnych zjawisk w sieci zasilania budynku i tym samym szybką lokalizację ich źródła oraz kontrolę jakości dostarczanej energii. Fakt ten nabiera ogromnego znaczenia, szczególnie w aspekcie urynkowionego sektora energetycznego, dającego możliwość stawiania wymagań i ich egzekwowania w stosunku do dostawcy energii. Dotychczasowy system zbierania danych, w oparciu o który opracowano niniejszą analizę nie może być rozumiany jako system on-line, przede wszystkim ze względu na to, że gromadzone dane w plikach tekstowych odczytywane są i kopowane do komputera

#### Rozdział 4 – Badania laboratoryjne

---

okresowo – najczęściej w odstępach ok. miesiąca i są to dane dotyczące tylko zużycia energii. Informacje z tych rejestratorów nie są przesyłane poprzez sieć LonWorks. Brak jest w nich również jakiejkolwiek informacji o innych parametrach sieci zasilania.

Opisane w tym podrozdziale pomiary i analizy były jednym z czynników, jakie przyczyniły się do podjęcia przez autora tematyki, stanowiącej przedmiot niniejszej pracy doktorskiej.

## 5. ZAKOŃCZENIE

### 5.1. Podsumowanie

W niniejszej pracy dokonano kompleksowego porównania dwóch najpopularniejszych obecnie w Europie standardów rozproszonych systemów automatyki budynkowej – LonWorks i EIB/KNX, ze szczególnym uwzględnieniem aspektu ich niezawodności oraz możliwości wykorzystania w systemach kontroli i poprawy zużycia oraz jakości energii elektrycznej w budynkach.

We wstępie, opierając się na analizie dostępnej literatury, przedstawiono zarys rozwoju instalacji elektrycznych i sterowania w budynkach, poczynając od tradycyjnych instalacji zasilającej, a kończąc na współczesnych zaawansowanych sieciach automatyki budynkowej, opartych o rozproszone, otwarte, magistralowe systemy sterowania. Opisano również zarysowujące się już obecnie tendencje dalszego rozwoju tego typu systemów. Szeroko omówiono powszechnie używane i nierozerwalnie związane z systemami automatyki budynkowej, pojęcie inteligentnego budynku, uwzględniając zarówno aspekty technologiczne jak i społeczno – psychologiczne.

Przedstawiono również wybrane systemy automatyki budynkowej, wykorzystywane zarówno w instalacjach budynkowych jak i typowo przemysłowych. Szczegółowy opis technologiczny dotyczył standardów LonWorks oraz EIB/KNX, będących przedmiotem badań w niniejszej pracy. Dokonano też pierwszego, wstępного ich porównania, w oparciu o analizę danych technicznych.

Kolejnym etapem pracy była budowa stanowisk laboratoryjnych dla obu standardów oraz opracowanie dla nich aplikacji programowych, umożliwiających funkcjonalne połączenie zainstalowanych na stanowiskach urządzeń sieciowych. Na podstawie praktycznych doświadczeń zebranych w trakcie tych prac, dokonano kolejnego porównania systemów LonWorks i EIB/KNX.

W praktycznych badaniach sprawdzono i zweryfikowano informacje dotyczące systemów inteligentnego budynku, zebrane wcześniej na podstawie analizy literatury oraz publikacji technicznych, dostarczanych przez organizacje zajmujące się opracowaniem standardów rozproszonych sieci sterowania oraz producentów urządzeń magistralnych. W ramach prac badawczych zrealizowano:

- pomiary podstawowych parametrów komunikatów transmitowanych przez magistrale komunikacyjne obu standardów, ze szczególnym uwzględnieniem ich znaczenia dla niezawodności funkcjonowania systemów automatyki budynkowej
- pomiary zaburzeń występujących w magistralach komunikacyjnych oraz odporności systemów na te właśnie zaburzenia
- w oparciu o dostępne narzędzia programowe, opracowano proste aplikacje systemów automatyki budynkowej oraz przedstawiono zebrane w trakcie ich działania dane pomiarowe, w celu określenia możliwości wykorzystania sieci intelligentnego budynku w kontroli i poprawie jakości zasilania w sieciach energetycznych budynków
- przedstawiono szeroką analizę danych dotyczących zużycia energii elektrycznej, zebrańych w trakcie pomiarów w budynku użytkowniczej publicznej AGH w Krakowie. Pomiary te realizowane były przy udziale autora w latach 2000 – 2004.

## 5.2. Zarys kierunków dalszych badań

W ramach dalszych prac badawczych związanych z poruszaną w niniejszej pracy tematyką, autor zamierza w najbliższym czasie:

- prowadzić dalsze pomiary i analizy dotyczące komunikacji magistralowej w systemach automatyki budynkowej, zmierzające do poprawy niezawodności funkcjonowania tego typu systemów w różnych środowiskach
- wykorzystując doświadczenia zdobyte w czasie pomiarów zużycia energii w pawilonie B-1 AGH, opracować i zrealizować system pomiaru podstawowych parametrów sieci zasilania w oparciu o urządzenia pomiarowe z interfejsem standardu EIB/KNX i LonWorks, wraz z systemem wizualizacji w oparciu o dedykowane programy LNS DDE (system LonWorks) oraz InterVisu2 (system EIB/KNX)
- przeprowadzić podobne do opisanych w pracy badania, oceniące niezawodność funkcjonowania systemu sterowania wykorzystującego jako medium transmisyjne istniejącą sieć zasilania 230 V AC, wraz z kompleksowym porównaniem standardów LonWorks i EIB/KNX w tym aspekcie
- wykorzystać wiedzę i doświadczenie zdobyte w trakcie zrealizowanych prac w działalności dydaktycznej, wraz z rozbudową wykonanych już stanowisk laboratoryjnych
- podjąć próby wykorzystania urządzeń systemów intelligentnego budynku w tzw. telemedycynie; np. zastosowanie tego typu systemów do fizycznej lokalizacji pacjenta przebywającego w domu oraz np. oceny jego aktywności fizyczno-ruchowej; wykorzystanie

## Rozdział 5 - Zakończenie

---

urządzeń i magistrali systemowej w zbieraniu niezbędnych danych dotyczących stanu zdrowia pacjenta itp.

## 6. INDEKS OZNACZEŃ ORAZ OKREŚLEŃ OBCOJĘZYCZNYCH

**ANSI** – American National Standards Institute – instytucja zajmująca się opracowywaniem norm technicznych obowiązujących w Stanach Zjednoczonych. We współpracy z innymi organizacjami normalizacyjnymi, uczestniczy w tworzeniu wielu norm o zasięgu międzynarodowym. Opracowywane tu normy dotyczą praktycznie wszystkich dziedzin techniki, w tym także elektrotechniki, technologii komputerowych, automatyki itp.

**CSMA/CA** – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – algorytm wielodołu-  
stępu ze śledzeniem częstotliwości nośnej z wykrywaniem kolizji. Popularny algorytm  
unikania kolizji stosowany powszechnie w sieciach teleinformatycznych typu Ethernet  
[98].

**EIS** – EIB/KNX Interworking Standard [77]. Obiekty wykorzystywane w standardzie komu-  
nikacyjnym systemu automatyki budynkowej EIB/KNX.

**EVT** – symbol używany przy określaniu nazw standardowych zmiennych sieciowych sys-  
temu EIB/KNX, wykorzystywanych w aplikacjach programowych dla urządzeń pracują-  
cych tym standardzie komunikacyjnym.

**Gateway** – urządzenie umożliwiające komunikację pomiędzy dwoma różnymi protokołami  
transmisji, zapewniające transmisję danych z jednego systemu do systemu o odmiennej  
architekturze. Wymiana komunikatów odbywa się w obydwu kierunkach [16].

**HVAC** – Heating, Ventilating and Air Conditioning – skrót używany do określenia okre-  
ślonej grupy urządzeń technologicznych oraz technik, wykorzystywanych do ogrzewania,  
chłodzenia oraz kontroli temperatury i wilgotności np. w pomieszczeniach, budynkach  
itp.

**ISO/OSI** – model protokołu komunikacji dla otwartych systemów wymiany informacji (ang.  
Open Systems Interconnection – OSI), opracowany i promowany jako standard przez  
międzynarodową organizację zajmującą się opracowywaniem obowiązujących na całym  
świecie standardów technicznych (ang. International Standard Organization – ISO),  
omówiony został szczegółowo w dalszej części pracy, w sekcji opisującej system Lon-  
Works.

**LAN** – Local Area Network; lokalna sieć komputerowa do transmisji danych na niewielkim  
obszarze (np. sieć komputerowa w pojedynczym budynku lub w firmie).

**LNS DDE** - LonWorks Network Services – narzędzia sieciowe; Dynamic Data Exchange – standard wymiany danych pomiędzy środowiskiem sieci LonWorks, a środowiskiem systemu operacyjnego Microsoft Windows [94].

**LON** – Local Operating Network; lokalna sieć sterowania dla systemów automatyki.

**Repeter** – urządzenie sieciowe wzmacniające i przetwarzające sygnał przesyłany w sieci [16].

**Router** – łącznik systemowy; ma możliwość połączenia dwu lub więcej podsieci w jedną sieć. W niektórych zastosowaniach ma również możliwość filtrowania komunikatów przesyłanych siecią transmisyjną. Router wybiera najlepszą drogę dla transmitowanych pakietów danych tak, by mogły one jak najszybciej dotrzeć do celu (odbiorcy) [16].

**Routing** – wzajemne połączenie dwu lub więcej podsieci w jedną sieć, za pomocą specjalnych urządzeń zwanych routerami [16].

**SCADA** – Supervisory Control and Data Acquisition – technologia komputerowa wykorzystywana do gromadzenia i analizy danych pomiarowych w czasie rzeczywistym. Systemy SCADA używane są do monitorowania i kontroli maszyn oraz urządzeń pracujących zakładach przemysłowych lub lokalnych sieciach automatyki [99].

**SCPT** – Standard Configuration Property Type – standardowe typy ustawień konfiguracyjnych dla systemu LonWorks.

**SFSK** – Spread Frequency Shift Keying; metoda transmisji danych w systemie EIB/KNX (opis w rozdziale nr 2.3.2 - Media transmisyjne systemu EIB/KNX).

**SNVT** – Standard Network Variable Type – standardowe typy zmiennych sieciowych. Zmienne te wykorzystywane są w komunikacji w systemie LonWorks.

**TCP/IP** – Transmission Control Protocol/Internet Protocol – zestaw protokołów sieciowych używany w sieci Internet oraz w lokalnych sieciach komputerowych do komunikacji pomiędzy wieloma komputerami [16].

**Terminator** – element umieszczany na końcach linii transmisyjnej w celu zapobieżenia niepożądanym odbiciom sygnałów [16], [99].

**Transceiver** – urządzenie realizujące elektryczne i mechaniczne połączenie układu Neuron-Chip z określonym fizycznym medium transmisji danych [94].

**UCPT** - User Configuration Property Type – typy ustawień konfiguracyjnych użytkownika definiowane w systemie LonWorks.

**UNVT** – User Network Variable Type – zmienna sieciowa użytkownika, definiowana w systemie LonWorks.

**WAN** – Wide Area Network – sieć rozległa; sieci spotykane w dużych korporacjach, mogą łączyć np. kilka sieci LAN zlokalizowanych w różnych miastach [16], [91].

**EIB/KNX** – European Installation Bus – europejski standard sieci automatyki budynkowej.

**EIBA** – European Installation Bus Association – organizacja zajmująca się rozpowszechnianiem i ochroną europejskiego standardu sieci automatyki budynkowej.

**LonWorks** – amerykański standard sieci automatyki budynkowej, oparty o standard sieciowy LON.

## 7. LITERATURA

- [1]. ABB Centrum IT Sp. z o.o.: „EIB/KNX Delta Meter. Elektroniczny miernik energii elektrycznej. Electricity Meters”, instrukcja producenta, Warszawa 2003.
- [2]. ABB Ltd: „Profibus Solutions from ABB”, ABB Control Systems-fieldbus solutions, listopad 2003, strona WWW: [www.abb.pl/global](http://www.abb.pl/global).
- [3]. ASTAT Sp. z o.o.: „Wielofunkcyjny miernik parametrów sieci - A2000”, materiały informacyjne, Poznań, czerwiec 2004, strona WWW: [www.astat-przekladnik.com.pl](http://www.astat-przekladnik.com.pl).
- [4]. Авдуевский А.: „Крыша для интеллекта. Технологии EIB/KNX автоматизации зданий”, strona WWW - [www.eiba.ru](http://www.eiba.ru).
- [5]. Balch T.: „A Perspective on Open Systems in Building Controls”, Honeywell Home & Building Contorls – Europe, strona WWW organizacji LonMark - [www.lommark.org/solution/building](http://www.lommark.org/solution/building).
- [6]. Ballast W.: „Landscape of Change: Built Environment of the Digital Age”, Bartlett School of Architecture at University College London, London, 1999.
- [7]. Barkan T.: „Driving up FM the Business Agenda”, referat wygłoszony na konferencji inaugurującej powstanie polskiego oddziału IFMA 15.01.2002.
- [8]. Berker-Polska: Materiały informacyjne firmy BERKER dotyczące standardu EIB/KNX – Polska, 2000.
- [9]. Bins Ely V. H. M., Dischinger M. i inni: „Post Occupancy Evaluation of a Shopping Center in Florianopolis: Suggestions for The Brazilian Norm of Accesibility for the Disabled”, Universidade Federal de Santa Catarina - arquitetura, urbanismo; Florianopolis, Brazylia, strona WWW - [www.inclusionbydesign.com/worldcongress](http://www.inclusionbydesign.com/worldcongress).
- [10]. Boroń W.: „Inteligentne systemy automatyzacji budynków”, Centrum Inteligentnych Systemów Automatyzacji Budynków, Instytut Systemów Sterowania – Chorzów. Materiały Międzynarodowego Kongresu „Intelligent Building Systems”, Kraków 2002.
- [11]. Boyd D.: „Intelligent Buildings”, Alfred Waller & Unicom, U.K. 1994.
- [12]. Bujalski I.: „Technologia LonWorks - fundament dla systemów automatyki budynków”, Napędy i sterowanie, nr 12(20) i 1(21), Racibórz 2000/2001.
- [13]. Byron D., Gaw D., Koch E., Marsh A., Schechter A.: „A Technology Roadmap for Enterprise Connectivity to Control Networks”, Coactive Aesthetics, Inc., kwiecień 2004, strona WW: [whitepapers.zdnet.co.uk](http://whitepapers.zdnet.co.uk).

- [14]. CEBus Industry Council, Inc.: „Bringing Interoperability to Home Networks”, materiały informacyjne CEBus Specification, październik 2003, strona WWW: [www.cebus.org](http://www.cebus.org).
- [15]. Clements-Crome D. J.: „Intelligent Buildings for the 21st Century”, materiały I Międzynarodowego Kongresu „Intelligent Building Systems”, Kraków 2001.
- [16]. Derfler F. Jr.: „Sieci komputerowe dla każdego”, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2001.
- [17]. Doctor Fungus Corporation: „Sick Building Syndrome”, Medical Education Website, University of Texas, strona WWW - [www.doctorfungus.org/mycoses/environ](http://www.doctorfungus.org/mycoses/environ).
- [18]. EBV Elektronik GmbH & Co KG: „An Introduction to Control Networks Based on LonWorks Technology”, firmowy biuletyn informacyjny - 2001, listopad 2004, strona WWW: [www.ebv.com](http://www.ebv.com).
- [19]. Echelon Corporation: „Introduction to the LonWorks System”, materiały informacyjne - support&documentation, wrzesień 2003, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [20]. Echelon Corporation: „Neuron C - Programmer's Guide and Reference Guide”, Echelon Manuals, czerwiec 2003, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [21]. Echelon Corporation: „The SNVT Master List and Programmer's Guide”, Echelon Support, listopad 2003, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com) lub [www.lonmark.com](http://www.lonmark.com).
- [22]. Echelon Corporation: „NodeBuilder, LonMaker - User's Guides”, Echelon Manuals, czerwiec 2003, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [23]. Echelon Corporation: „LNS DDE Server / Release 2.1”, broszura informacyjna, listopad 2003, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [24]. Echelon Corporation: „iLON 1000 Internet Server, iLON 100 Internet Server, iLON 10 Ethernet Adapter - User's Guides”, materiały informacyjne, styczeń 2004, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [25]. Echelon Corporation: „Troubleshooting LonWorks Devices and Twisted Pair Networks”, materiały informacyjne, wrzesień 2004, strona WWW: [WWW.echelon.com](http://WWW.echelon.com)
- [26]. Echelon Corporation: „LonWorks Development Tools”, materiały informacyjne, kwiecień 2004, strona WWW: [www.echelon.com/products/development](http://www.echelon.com/products/development).
- [27]. EIBA/Konnex Org.: „Student Training Documentation”, informacje techniczne o systemie EIB/KNX, kwiecień 2004, CD-ROM Konnex Association Scientific Partnership Forum 2004 Edition.

- [28]. EIBA/Konnex Org.: „Tutor Seminar”, informacje o konfiguracji systemu EIB/KNX, kwiecień 2004, CD-ROM Konnex Association Scientific Partnership Forum 2004 Edition.
- [29]. EIBA/Konnex Org.: „Project Engineering for EIB/KNX Installations”, podręcznik instalatora, edycja 4 poprawiona, Bruksela, Belgia 1998.
- [30]. EIBA/Konnex Org.: „Software-FAQ”, informacje i opis programu ETS 3, EITT, Falcon, OPC Server, czerwiec 2004. strona WWW: [www.eiba.com](http://www.eiba.com).
- [31]. Fisher D.: „BACnet and LonWorks: A White Paper”, PolarSoft Inc. Lipiec 1996. strona WWW - [www.bacnet.org/Bibliography](http://www.bacnet.org/Bibliography).
- [32]. 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).
- [33]. Gira Giersiepen GmbH & Co. KG: „Katalog firmowy 2002/2003”, katalog, informacja handlowa, przedstawiciel w Polsce - firma TEMA, Warszawa 2003.
- [34]. Gira Giersiepen GmbH & Co. KG: „Online Katalog”, katalog firmowy na stronie internetowej producenta - informacja handlowa, czerwiec 2004, strona WWW: [www.gira.de](http://www.gira.de).
- [35]. Gira Giersiepen GmbH & Co. KG: „Gira Data Pool”, katalog firmowy i dokumentacja techniczna na płycie CD-ROM, przedstawiciel w Polsce - firma TEMA, Warszawa 2003.
- [36]. Goossens M.: „The EIB/KNX System for Home & Building Electronics”, podstawy systemu EIB/KNX, Bruksela, Belgia 1998, strona WWW: [www.eiba.com](http://www.eiba.com).
- [37]. Gossen Metrawatt GmbH: „Instrukcja obsługi analizatora A2000 - interfejs Lon-Works”, instrukcja producenta, Norymberga, Niemcy 2003.
- [38]. Grega W.: „Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych”, Wydawnictwa AGH, Kraków 2004.
- [39]. Hagele H.: „EIB/KNX czy LON?”, tłum. Rostkowski T., Inteligentny Dom, nr 3-4(12) 2000, Wrocław 2000.
- [40]. Hanelka Z., Ożadowicz A.: „Jakość energii elektrycznej w obiektach budowlanych”, Elektroinstalator 12/2004, Warszawa 2004
- [41]. Hertel J. W.: „The Need of Integration”, konferencja Building Open Systems 2005, AGH, Kraków 2005.
- [42]. Hayduk G.: „Opóźnienia czasowe w rozproszonych systemach czasu rzeczywistego w przemyśle i automatyce budynków”, rozprawa doktorska, AGH-Kraków, 2005.

- [43]. IEC Intelligent Technologies: „A LONWORKS Technology Tutorial”, materiały informacyjne, styczeń 2004. strona WWW - [www.ieclon.com](http://www.ieclon.com).
- [44]. Kell A., Colebrook P.: „Open Systems for Homes and Buildings: Comparing LonWorks and KNX”, specjalistyczne opracowanie informacyjne organizacji I&I Limited (building intelligence and integration), Wielka Brytania 2005. Strona WWW: [www.iandi.ltd.uk](http://www.iandi.ltd.uk)
- [45]. Klepacz M, Skorupka Ł.: „Technologia LonWorks w realizacji inteligentnych budynków”, praca magisterska z Politechniki Warszawskiej, opiekun: dr inż. Krzysztof Duszczyk, Warszawa, grudzień 2002.
- [46]. Konnex Association: „KNX Handbook v. 1,1”, materiały informacyjne, kwiecień 2004, CD-ROM Konnex Association Handbook.
- [47]. Kupczyk T.: „Spojrzenie na rynek inteligentnych budynków w Polsce”, materiały Drugich Krajowych Warsztatów Kompatybilności Elektromagnetycznej „Warsztaty EMC – Wrocław 2000”, Wrocław 2000.
- [48]. Kwasnowski P.: „Otwartość w systemach automatyki budynków”, materiały Międzynarodowej Konferencji „International Congress on Intelligent Building Systems InBus 2002”, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
- [49]. Kwasnowski P.: „Przykład zastosowania technologii LonWorks do integracji systemów automatyzacji budynków”, Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej, tom V, zeszyt 1, Kraków 1999.
- [50]. Kwasowski P.: „Flexibility: Support Business Dynamics”, prezentacja w imieniu Siver Sponsors, konferencja Building Open Systems 2005, AGH, Kraków 2005.
- [51]. Kwasnowski P., Zygmunt H. i inni: „Zastosowanie technologii LonWorks w systemach automatyki budynków i monitoringu mediów”, Studia Informatica, Volume 22, number 3(45), Gliwice 2001.
- [52]. Kwasnowski P., Zygmunt H. i inni: „Automatyka budynków z zastosowaniem technologii LonWorks i TCP/IP”, Studia Informatica, Volume 24, number 4(51), Gliwice 2002.
- [53]. Mikulik J., Jakubas W.: „Badania sygnałów w magistrali systemu EIB”, materiały Międzynarodowej Konferencji „International Congress on Intelligent Building Systems InBus 2002”, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
- [54]. Mikulik J., Jakubas W., Boryczko T.: „Rola systemów elektronicznych w budynku inteligentnym”, II Konferencja Naukowo-Techniczna "Inżynieria elektryczna w budownictwie" - materiały konferencyjne, Kraków 2003.

- [55]. Newman H.M.: „BACnet - The New Standard Protocol”, Electrical Contractor, wrzesień 1997. strona WWW - [www.bacnet.org/Bibliography](http://www.bacnet.org/Bibliography).
- [56]. Niezabitowska E.: „Zarządzanie komfortem, a komfort użytkowania”, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, Materiały Międzynarodowego Kongresu „Intelligent Building Systems”, Kraków 2001.
- [57]. Niezabitowska E.: „Facility Management w budynkach inteligentnych”, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, Materiały Międzynarodowego Kongresu „Intelligent Building Systems”, Kraków 2002.
- [58]. Niezabitowska E.: „Czym jest budynek w FM?”, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, referat na konferencji inauguracyjnej polskiego oddziału IFMA 15.01.2002, International Facility Management Association-Polska, strona WWW - [www.ifma.pl](http://www.ifma.pl).
- [59]. Niezabitowski A.: „Jakość zarządzania w przestrzeni architektonicznej”, tom I: Jakosć przestrzeni biurowej, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
- [60]. Ożadowicz A.: „Intelligent Building - New Style of Our Life and Work”, The 1st International Conference on Lifestyle, Health and Technology - materiały konferencyjne, Lulea, Szwecja 2005.
- [61]. Ożadowicz A.: „Inteligentny budynek w standardzie EIB/KNX”, Elektroinstalator 05/2005, Warszawa 2005.
- [62]. Ożadowicz A.: „Komunikacja w systemach inteligentnego budynku - zasady, niezawodność, bezpieczeństwo”, Elektroinstalator 09/2005, Warszawa 2005.
- [63]. Ożadowicz A.: „Magistralne zintegrowane systemy automatyki budynku – porównanie systemów EIB/KNX i LonWorks”, Elektrotechnika i Elektronika, t. 21, z. 1, Wydawnictwa AGH, Kraków 2002.
- [64]. Ożadowicz A.: „Zagadnienia jakości energii elektrycznej w odniesieniu do instalacji inteligentnego budynku”, sympozjum - Problemy jakości energii elektrycznej w sieciach dystrybucyjnych i odbiorczych - materiały konferencyjne, Poznań, czerwiec 2004.
- [65]. Ożadowicz A.: Notatki własne autora pracy sporządzone w trakcie szkolenia w firmie TEMA oraz rozmowy z pracownikiem firmy ZDANiA. Warszawa/Kraków, 2003/2004.
- [66]. Ożadowicz A.: „Pomiary zużycia energii elektrycznej w budynku Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w Krakowie, w trakcie realizacji instalacji pilotażowej sieci LonWorks. Metodologia pomiarów i opracowanie wyników”, Elektrotechnika i Elektronika, t. 22, z. 2, Wydawnictwa AGH, Kraków 2003.

- [67]. Ożadowicz A., Stankiewicz A.: „Zastosowanie technologii LonWorks w układzie oszczędności energii - wstępne wyniki eksperymentu”, Elektrotechnika i Elektronika, t.20, z. 1, Wydawnictwa AGH, Kraków 2001.
- [68]. Petykiewicz P.: „Nowoczesna instalacja elektryczna w inteligentnym budynku”, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa 2001.
- [69]. Preiser W.: „Post-Occupancy Evaluation”, Van Nostrand Reinhold, New York 1988.
- [70]. Preiser W. i inni: „Building Evaluation”, Plenum Press, New York 1989.
- [71]. PROFIBUS International Association: „PROFIBUS - Technology and Application”, Profibus Documents&Materials, listopad 2003, strona WWW: [www.profibus.com](http://www.profibus.com).
- [72]. PROFIBUS International Association: „PROFINet - more than just Ethernet”, Profibus Documents&Materials, listopad 2003, strona WWW: [www.profibus.com](http://www.profibus.com).
- [73]. PROFIBUS International Association: „PROFINet - Technology and Application”, Profibus Documents&Materials, listopad 2003, strona WWW: [www.profibus.com](http://www.profibus.com).
- [74]. PWN-redakcja: „Słownik Języka Polskiego PWN”, słownik internetowy PWN, styczeń 2004, strona WWW: [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl).
- [75]. PWN-redakcja: „Encyklopedia PWN”, encyklopedia internetowa PWN, styczeń 2004, strona WWW: [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl).
- [76]. Robathan P.: „Intelligent Building Guide”, L.B. Group, IBI, 1989.
- [77]. Sauter T., Dietrich D., Kastner W.: „EIB/KNX - Installation Bus System”, podręcznik, Publicis Kommunikations Agentur GmbH GWA, Munich 2000.
- [78]. Seip G. G.: „Czas magistrali”, Inteligentny Dom nr 1(10)/2000, Wrocław 2000.
- [79]. Sedler K.: „Forum EIB/KNX w Katowicach”, Elektroinstalator, nr 7-8/2004, Instalator Polski Sp. z o.o., Warszawa 2004.
- [80]. SIEI S.p.A: „Axpact-V AXV. Instruction manual”, serwomechanizm - instrukcja producenta, Milano, Włochy 1999.
- [81]. Siemens AG: „Siemens-Profibus products – information”, Siemens-Profibus, listopad 2003, strona WWW - [www.ad.siemens.de/profibus](http://www.ad.siemens.de/profibus).
- [82]. Siemens Building Technologies Sp. z o.o.: „Inteligencja budynku na przykładzie rozwiązań Landis&Staefa”, materiały Międzynarodowego Kongresu „Intelligent Building Systems”, Kraków 2001.
- [83]. SMARTech Sp. z o.o.: „Inteligentny dom w systemie EIB”, materiały informacyjne, Warszawa 2003, strona WWW - [www.EIB/KNX.pl](http://www.EIB/KNX.pl) oraz [www.smartech.pl](http://www.smartech.pl).
- [84]. SMARTech Sp. z o.o.: „Inteligentny dom - porównanie systemów”, materiały informacyjne, styczeń 2004, strona WWW - [www.smartech.pl](http://www.smartech.pl).

- [85]. SMARTech Sp. z o.o.: „Opis systemu EIB/KNX Instabus”, materiały informacyjne, styczeń 2004, strona WWW - [www.EIB/KNX.pl](http://www.EIB/KNX.pl).
- [86]. SMARTHOMER Inc.: „What is CEBus?”, materiały informacyjne, październik 2003. strona WWW: [www.smarthome.com/cebus](http://www.smarthome.com/cebus).
- [87]. Stelcner M.: „Structured Cabling for Intelligent Buildings”, magazyn CTI Feature, strona WWW - [www.nordx.com/public/htmen/pdf/nordx.pdf](http://www.nordx.com/public/htmen/pdf/nordx.pdf).
- [88]. Sutterlin P., Downey W.: „A Power Line Communication Tutorial - Challenges and Technologies”, Echelon Corporation, maj 1999. strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [89]. Swan B.: „Internetworking with BACnet. A first look at networking in Bagnet”, Alerton Technologies, Inc. strona WWW - [www.bacnet.org](http://www.bacnet.org).
- [90]. Szepietowski M.: „Budynek inteligentny - opis rozwiązań”, Elektroinfo nr 5(7)/2002, Warszawa 2002.
- [91]. Tech Target Company: „What is?”, serwis informacyjny z dziedziny technologii IT, San Francisco-USA, kwiecień 2004, strona WWW: [whatis.techtarget.com](http://whatis.techtarget.com).
- [92]. TEMA-Warszawa: „Konspekt szkoleniowy EIB”, materiał szkoleniowy, firma TEMA - Teresa Machczyńska, Warszawa 2003.
- [93]. Tennefoss M. R.: „Implementing Open, Interoperable Building Control Systems”, Echelon White Paper, czerwiec 2003, strona WWW: [www.echelon.com](http://www.echelon.com).
- [94]. Tiersch K.: „LonWorks Technology - An Introduction”, LonTech Thuringen e.V., Erfurt, Germany, 2002.
- [95]. Trucker Cross L.: „A Post Occupancy Questionnaire for Residential Areas in Southern Sweden”, Environmental Psychology Unit, School of Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, Szwecja, strona WWW - [www.hel.fi/tietokeskus/tutkimuksia/enhr2000](http://www.hel.fi/tietokeskus/tutkimuksia/enhr2000).
- [96]. U.S. Environmental Protection Agency: „Indoor Air Facts No. 4 (revised): Sick Building Syndrome (SBS)”, strona WWW - <http://www.epa.gov/iaq/pubs>.
- [97]. Urząd Dozoru Technicznego: „Wykaz norm zharmonizowanych z dyrektywą 89/336/EWG dotyczącą kompatybilności elektromagnetycznej”, publikacja UDT: stan na 2003-11-12, Warszawa 2003, Strona WWW: [www.udt.gov.pl](http://www.udt.gov.pl).
- [98]. Watters S. (tłum. Tyszkiewicz C.): „Zestaw narzędzi 10/100 Ethernet - definicja CSMA/CD”, artykuł informacyjny. Tom's Hardware Guide PL, styczeń 2004. Strona WWW: [www.pl.tomshardware.com](http://www.pl.tomshardware.com).
- [99]. Webopedia: „Webopedia”, encyklopedia internetowa - definicje, terminy, czerwiec 2004, strona WWW: [www.webopedia.com](http://www.webopedia.com).

- [100]. Werewka J.: „Systemy rozproszone sterowania i akwizycji danych. Sterowniki programowalne i magistrale miejscowe”, Krakowskie Centrum Informatyki Stosowanej - CCATIE, Kraków 1998.
- [101]. Winnicka-Jasłowska D.: „Ewolucja obiektu biurowego na przestrzeni XX wieku jako wynik wzrastających wymagań użytkowników”, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Praca doktorska, maszynopis, Gliwice 2000.
- [102]. Wiśniewski W.: „Inteligentne instalacje elektryczne na przykładzie magistrali instalacyjnej standardu EIB”, biuletyn Techniczno-Informacyjny SEP o/Łódź, nr 2/2002, Łódź 2002.
- [103]. Wiśniewski W.: „Opis magistrali EIB”, materiały informacyjne, Łódź 2003, strona WWW: [www.EIB/KNX.lodman.pl](http://www.EIB/KNX.lodman.pl).
- [104]. ZDANiA Sp. z o.o.: „iBASe - STP-02/E”, „iBASe - TSSP-02”, „iBASe - DIGIO”, specyfikacje urządzeń, kwiecień 2004, strona WWW: [www.zdania.com.pl](http://www.zdania.com.pl).