

Infrastruktura Sieci Domowej (ISD) w ramach Inteligentnych Sieci / *HAN* *within Smart Grids*

Raport Technologiczny



ATKearney

Spis treści

1. Komunikacja pomiędzy urządzeniami ISD	7
1.1. ZigBee	8
1.2. Wireless Mesh	11
1.3. Powerline Communication (PLC)	12
1.4. M-Bus (Meter Bus).....	14
1.5. Z-Wave	15
1.6. Bezprzewodowe sieci kratowe WLAN/WiFi (IEEE 802.11).....	16
1.7. WiMax (IEEE 802.16).....	16
1.8. Ethernet	17
1.9. Otwarte i zamknięte protokoły komunikacyjne.....	18
2. Bezpieczeństwo danych w ISD	22
2.1. Przykłady naruszenia bezpieczeństwa ISD	22
2.2. Przeciwdziałanie naruszeniom bezpieczeństwa w ISD.....	23
3. Opis wybranych elementów ISD.....	25
3.1. Brama domowa.....	25
3.2. Wyświetlacze	29
3.3. Termostat.....	32
3.4. Przełączniki.....	34
3.5. Urządzenia smart.....	36
3.6. Aplikacje www umożliwiające konfigurację ISD, zarządzanie energią oraz analizę danych pomiarowych.....	37
4. Ekspozycja na pola elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej generowane przez układy komunikacji bezprzewodowej.....	39
5. Zaburzenia przewodzone generowane przez interfejsy energoelektroniczne w sieciach nn i SN.....	40
6. Rekomendacje w zakresie architektury ISD i jej funkcjonalności	44
6.1. Założenia funkcjonalne	45
Własność infrastruktury ISD	45

Zadania ISD w obszarze zarządzania energią.....	45
Zadania dodatkowe	45
Rola Odbiorcy Aktywnego	45
Beneficjenci i mierzalność efektów działania ISD	46
Usługi systemowe (zewnętrzne)	46
Dostęp do elementów ISD	47
6.2. Miejsce ISD w gospodarstwie Odbiorcy Aktywnego	47
Integracja ISD z instalacjami energetycznymi i mediów	49
Rola ISD w procesach zarządzania energią	51
6.3. Struktura organizacyjna ISD.....	51
Podmioty decyzyjne	52
Interfejsy ISD – podmiot	53
Układy zarządzania sygnałami	54
Urządzenia wykonawcze	56
6.4. Komunikacja pomiędzy elementami ISD	60
Medium komunikacyjne i protokoły	61
Klasy sygnałów i zakres wymienianych informacji	61
Częstość komunikacji pomiędzy elementami ISD.....	62
Identyfikacja elementów ISD	63
6.5. Tryby pracy	63
Konfiguracja ISD	64
Praca ze zdefiniowanym scenariuszem.....	73
Warunki zmiany scenariusza pracy – hierarchia sygnałów decyzyjnych	74
Praca autonomiczna ISD a praca koordynowana z AMI	77
6.6. Dodatkowe funkcjonalności ISD	78
7. Podsumowanie.....	80
Bibliografia:.....	86

Spis rysunków

Rysunek 1. Udział poszczególnych standardów w komunikacji węzłów sieci ISD	8
Rysunek 2. Dostępne topologie fizyczne sieci ZigBee	9
Rysunek 3. ISD - własność operatora	10
Rysunek 4. Sieć sąsiedzka (NAN) własnością operatora	10
Rysunek 5. ISD własnością Odbiorcy	10
Rysunek 6. Topologia sieci mesh	12
Rysunek 7. Typowe rozmieszczenie urządzeń PLC w ISD	13
Rysunek 8. Przykładowe interfejsy PLC-ZigBee oraz PLC-LAN	14
Rysunek 9. Topologia sieci M-Bus.	15
Rysunek 10. Typowe rozmieszczenie urządzeń PLC w ISD	17
Rysunek 11. Brama domowa Harmony Platinum firmy Smartenit	26
Rysunek 12. Brama domowa firmy Smartenit zintegrowana z gniazdem sieciowym	26
Rysunek 13. Brama domowa Home Base firmy EnergyHub	27
Rysunek 14. Wyświetlacze firmy Green Energy Options (GEO) Ltd	29
Rysunek 15. Koncepcja topologii ISD proponowana przez firmę Green Energy Options (GEO) Ltd	30
Rysunek 16. Wyświetlacze Busch-priOn	30
Rysunek 17. Termostat CT-30 firmy RTCOA	32
Rysunek 18. Przełącznik Circle firmy Plugwise	34
Rysunek 19. Urządzenia smart w ISD	36
Rysunek 20. Aplikacja www firmy Plugwise umożliwiająca konfigurację ISD, zarządzanie energią oraz analizę danych pomiarowych	37
Rysunek 21. Zestaw Home Basic firmy Plugwise	38
Rysunek 22. Schemat instalacji laboratoriów badawczych, w których wykonano pomiary rozprzestrzeniania się zaburzeń	41
Rysunek 23. Wykresy pudełkowe wartości quasi-szczytowej zaburzeń w poszczególnych punktach instalacji: a) przekształtnik wyłączony, b) przekształtnik włączony	42
Rysunek 24. Widmo natężenia pola magnetycznego: a) po stronie pierwotnej transformatora dla włączonego przekształtnika, b) po stronie wtórnej transformatora dla włączonego przekształtnika	43

Rysunek 25. Różnica zaburzeń zmierzonych pod siecią SN i zaburzeń tła: a) w odległości 20 m od stacji transformatorowej, b) w odległości 1300 m od stacji transformatorowej	44
Rysunek 26. Infrastruktura ISD na tle instalacji elektrycznej Odbiorcy Aktywnego	48
Rysunek 27. Struktura organizacyjna ISD	52
Rysunek 28. Rejestracja urządzeń w ISD	66
Rysunek 29. Etykiety energetyczne z informacjami o charakterystyce energetycznej urządzeń	70
Rysunek 30. Rejestracja danych profilowych i taryfowych	71
Rysunek 31. Zapis wybranego scenariusza działania	73
Rysunek 32. Praca automatyczna ISD	74
Rysunek 33. Przykład pracy ze scenariuszem realizującym usługi systemowe	75
Rysunek 34. Zmiana scenariusza działania pod wpływem przekroczenia limitu kosztów	76
Rysunek 35. Wyłączenie Odbiorcy na skutek zignorowania przez ISD sygnału redukcji mocy w trybie Emergency	76
Rysunek 36. Realizacja usług dodatkowych – alarmowych z wykorzystaniem ISD	79

Spis tabel

Tabela 1. Technologie komunikacyjne stosowane w Smart Grid	7
Tabela 2. Zestawienie podstawowych parametrów standardów komunikacji stosowanych powszechnie w ISD	18
Tabela 3. Przegląd standardów komunikacyjnych w Smart Grid.....	20
Tabela 4. Zestawienie parametrów technicznych bram domowych.....	28
Tabela 5. Zestawienie parametrów technicznych wyświetlaczy	31
Tabela 6. Zestawienie parametrów technicznych termostatów	33
Tabela 7. Zestawienie parametrów technicznych przełączników	35
Tabela 8. Miara efektów działania ISD	46
Tabela 9. Współpraca ISD z instalacjami Odbiorcy Aktywnego	49
Tabela 10. Częstość transmisji danych pomiędzy elementami ISD	63
Tabela 11. Sposoby konfiguracji ISD.....	65
Tabela 12. Przykład tabeli rejestracyjnej z podstawowym zestawem parametrów identyfikujących urządzenia w ISD	67
Tabela 13. Przykład kodowania typów urządzeń ISD	68
Tabela 14. Przykładowa tabela definiowania priorytetów zasilania urządzeń elektrycznych ..	69
Tabela 15. Przykładowa tabela definiowania kategorii ISD urządzeń elektrycznych	69
Tabela 16. Przykład definiowania udziału urządzeń w predefiniowanych scenariuszach	72

1. Komunikacja pomiędzy urządzeniami ISD

Rozwój komunikacji elektronicznej umożliwił budowanie efektywnych systemów ISD. Różnorodność oferowanych obecnie standardów powodowana jest wysokim poziomem specjalizacji. Umożliwia to optymalizację parametrów komunikacji w zależności od wybranego obszaru aplikacyjnego. Parametry komunikacji są zazwyczaj kompromisem pomiędzy sprzecznymi wymaganiami technicznym, np. duży zasięg sieci bezprzewodowej zapewniający dobre pokrycie, będzie się wiązał ze znaczną mocą nadajnika, a w konsekwencji będzie powodował szybkie rozładowanie baterii. Możliwość adresowania większej ilości urządzeń powoduje wydłużenie ramki, a jej transmisja będzie również wymagała większej ilości energii (np. ze względów oszczędności energii w sieciach ZigBee ilość adresowanych urządzeń jest celowo ograniczana) itd. Zatem w zależności od wymaganych przez Odbiorcę właściwości systemu, istotny będzie odpowiedni dobór standardu komunikacji do specyficznych funkcji ISD. Przegląd przykładowych technik komunikacyjnych, które mogą znaleźć zastosowanie w ISD zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Technologie komunikacyjne stosowane w Smart Grid

Technologia	Pasmo	Przepustowość	Zasięg	Aplikacje	Ograniczenia
GSM	900-1800 MHz	Do 14,4 kbps	1-10 km	AMI, ADR, ISD	Mała przepustowość
GPRS	900-1800 MHz	Do 170 kbps	1-10 km	AMI, ADR, ISD	Mała przepustowość
3G	1,92-1,98 GHz 2,11-2,17 GHz (licencjonowane)	384 kbps-2 Mbps	1-10 km	AMI, ADR, ISD	Oplaty licencyjne
WiMax	2,5 GHz; 3,5 GHz; 5,8 GHz	Do 75 Mbps	10-50 km (LOS) 1-5 km (NLOS)	AMI, ADR	Mało popularny
PLC HomePlug AV2	2 - 86 MHz	600 Mbps– 1,8 Gbps	1-3 km	AMI, ISD	Zaburzone medium komunikacyjne
PLC HomePlug AV	2 - 28 MHz	200 Mbps	1-3 km	AMI, ISD	Zaburzone medium komunikacyjne
PLC G3	35,9–90,6 kHz	33,4 kbps	1-3 km	AMI, ISD	Zaburzone medium komunikacyjne
PLC PRIME	42–89 kHz	128.6 kbps	1-3 km	AMI, ISD	Zaburzone medium komunikacyjne
PLC S-FSK	9-95kHz	2400 Baud	1-3 km	AMI, ISD	Zaburzone medium komunikacyjne
ZigBee	2,4 GHz; 868 MHz; 915 MHz	250 kbps	30-50m	AMI, ISD	Mała przepustowość, Mały zasięg

Źródło: [1]

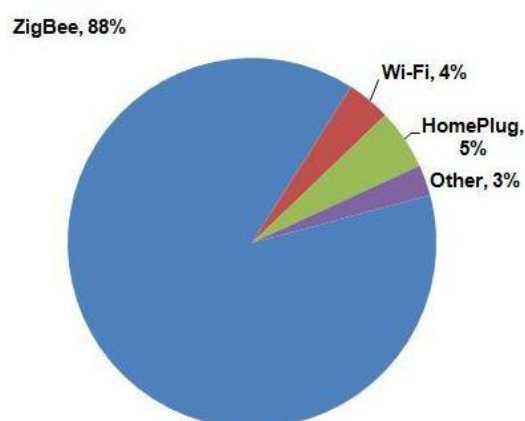
Opisywane w raporcie techniki komunikacji wykorzystują dwa podstawowe media komunikacyjne, przewodowe i bezprzewodowe, i mogą być zastosowane do transmisji danych pomiędzy licznikiem AMI i pozostałymi elementami ISD. W wielu z tych aplikacji komunikacja bezprzewodowa ma przewagę nad komunikacją przewodową[1][2]. Nie wymaga ona kosztownej infrastruktury instalacyjnej oraz zapewnia łatwość włączania do systemu elementów zlokalizowanych w niedostępnych obszarach. Jednakże typowe dla takich lokalizacji właściwości ścieżki komunikacyjnej mogą powodować silne tłumienie sygnału. Dodatkowo, komunikacja przewodowa jest bardziej niezawodna a jej funkcjonowanie nie zależy od zasilania bateryjnego, jak to ma zazwyczaj miejsce w przypadku wykorzystania komunikacji bezprzewodowej. Zatem dla zapewnienia optymalnej funkcjonalności ISD stosowane są często systemy hybrydowe, wykorzystujące oba typy struktur komunikacyjnych.

1.1. ZigBee

ZigBee jest bezprzewodowym, nieskomplikowanym standardem komunikacji, który charakteryzuje się relatywnie niskim zużyciem energii, małą przepustowością oraz niskim kosztem integracji systemu. Jest to standard komunikacyjny dedykowany automatyce oświetleniowej, monitoringowi energii, automatyce budynkowej, automatycznemu pomiarowi wskazań liczników itd. ZigBee Smart Energy Profile (SEP) uznany został przez U.S. National Institute for Standards and Technology (NIST) najlepszym standardem komunikacyjnym dla instalacji budynkowych typu Smart Building [3][4].

Potwierdzają to wyniki badań ilości dostarczonych dla ISD punktów węzłowych wykorzystujących najbardziej powszechne standardy komunikacyjne, Rysunek 1.

Rysunek 1. Udział poszczególnych standardów w komunikacji węzłów sieci ISD



Źródło: Pike Research

We wszystkich kanałach ZigBee wykorzystuje prostą metodę rozpraszania widma z kluczkowaniem bezpośrednim DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Taka metoda transmisji może być zaimplementowana w tanich, nisko napięciowych układach scalonych.

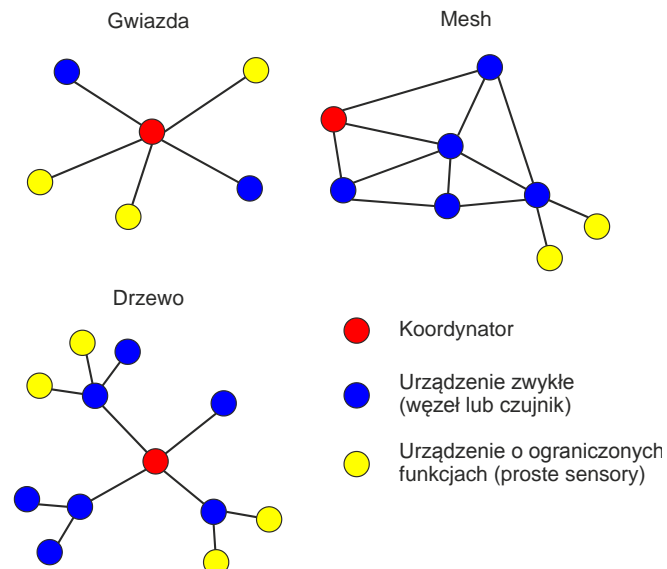
Pewność komunikacji pomiędzy elementami ISD jest kluczowa dla właściwego funkcjonowania całego systemu. Wielu dostawców liczników AMI wybrało ZigBee jako protokół komunikacyjny zintegrowany z licznikiem AMI[5]. Liczniki AMI ze zintegrowanym protokołem ZigBee mogą przysyłać komunikaty do urządzeń sieci ISD z modułami komunikacyjnymi ZigBee. ZigBee SEP umożliwia również wysyłanie wiadomości do Odbiorców i jest wykorzystywany m.in. do przesyłania informacji o bieżącym zużyciu energii[3].

ZigBee posługuje się czterema rodzajami ramek: koordynacyjną, danych, potwierdzenia oraz rozkazu. Pozwala również tworzyć sieci o różnej topologii, przede wszystkim dzięki zróżnicowaniu urządzeń na:

- Koordynujące (coordinator) – urządzenie inicjuje i kontroluje działanie sieci, zapisuje informacje dotyczące sieci, funkcjonując jako element uwierzytelniający (Trust Center), przechowujący klucz bezpieczeństwa,
- Zwykłe (router) – umożliwiające dynamiczne routowanie, co pozwala na utrzymanie komunikacji również w przypadku uszkodzeń, przekonfigurowania lub wyłączenia części sieci. Może łączyć urządzenia koordynujące, zwykłe i urządzenia o ograniczonej funkcjonalności,
- O ograniczonej funkcjonalności – odbierają i przesyłają informację, ale nie mają zdolności routujących, są to zazwyczaj proste czujniki, będące zarazem urządzeniami końcowymi ISD.

Ze względu na przestrzeń adresową pojedyncza sieć może liczyć do 256 urządzeń.

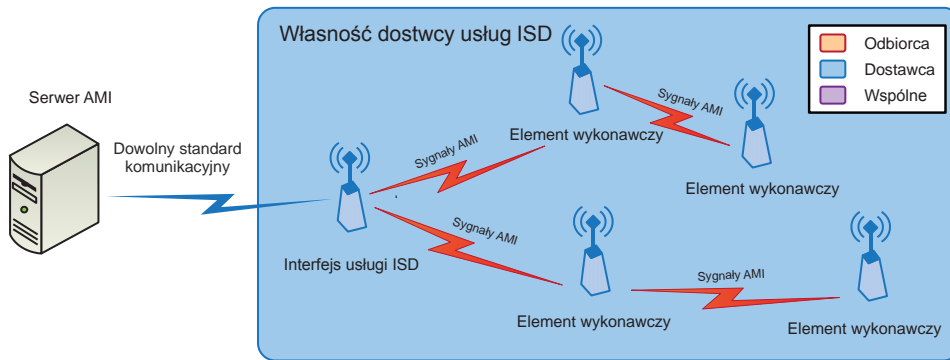
Rysunek 2. Dostępne topologie fizyczne sieci ZigBee



Źródło: Opis standardu ZigBee

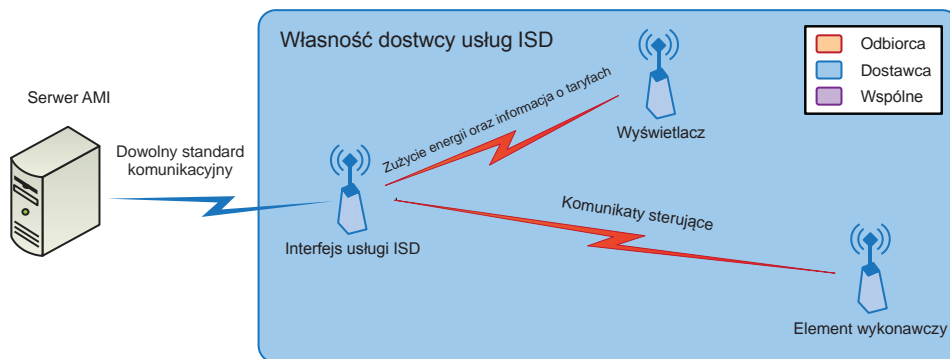
Dostępne obecnie topologie sieci ZigBee umożliwiają elastyczną realizację różnych konfiguracji sieci ISD. Na Rysunkach 3, 4, 5 przedstawiono rekomendowane w specyfikacji ZigBee Smart Energy[6] topologie ISD odpowiadające przyjętym założeniom związanym z zależnościami własnościowymi oraz funkcjonalnością ISD.

Rysunek 3. ISD - własność operatora



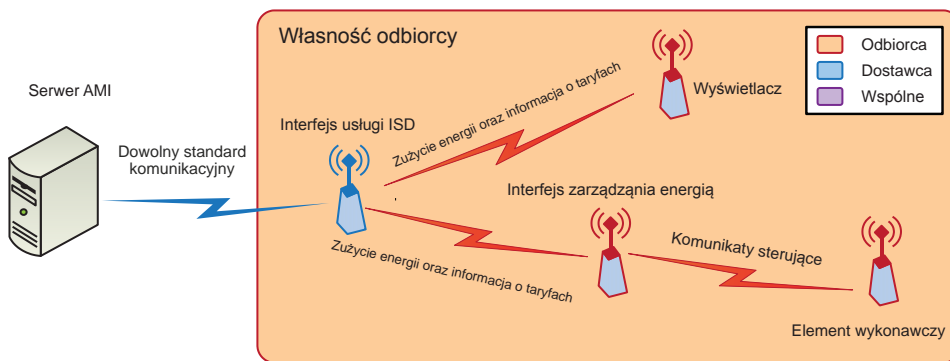
Źródło: ZigBee Smart Energy Profile Specification [6]

Rysunek 4. Sieć sąsiedzka (NAN) własnością operatora



Źródło: ZigBee Smart Energy Profile Specification [6]

Rysunek 5. ISD własnością Odbiorcy



Źródło: ZigBee Smart Energy Profile Specification [6]

Jak to zostało opisane wcześniej, ZigBee zalecany jest jako standard komunikacyjny dla systemów automatyki budynkowej, szczególnie w zakresie zdalnych pomiarów, zarządzania energią i w innych zastosowaniach typu Smart Grid. Zalecenia w zakresie stosowania standardu ZigBee wynikają głównie ze względu na prostotę implementacji, mobilność, rozumianą jako możliwość elastycznego przekonfigurowania systemu, wysoką niezawodność, niewielkie wymagania dotyczące szerokości pasma dla komunikacji radiowej, niski koszt urządzeń, wykorzystywanie bezpłatnego nielicencjonowanego pasma, łatwość konfiguracji sieci, oparcie o standardowy protokół IEEE 802.15.4 [6][7][8][9]. Dodatkowo

ZigBee jest przygotowany do sterowania instalacjami elektrycznymi, gazowymi i wodno-kanalizacyjnymi w zakresie kontroli i redukcji obciążenia, odpowiedzi na sygnały DR (Demand Response), dynamiczne kształtowanie taryf, monitoring systemu, wsparcie zaawansowanych systemów pomiarowych [7].

Podsumowując ten punkt, można wymienić następujące zalety oraz wady opisywanego standardu komunikacyjnego ZigBee.

Zalety: Główną zaletą standardu jest jego znaczne rozpowszechnienie i wynikająca z doświadczeń aplikacyjnych niezawodność komunikacji. ZigBee współpracuje również z innymi popularnymi standardami komunikacji. Posiada 16 kanałów na częstotliwości 2,4 GHz, o szerokości pasma równej 5 MHz każdy. Typowy poziom mocy wyjściowej nadajnika wynosi 0dBm (1 mW), umożliwia to transmisję na odległość od 1 m do 100 m z przepustowością 250 Kb/s przy modulacji OQPSK [9].

Wady: Główne ograniczenia aplikacyjne ZigBee, prezentowane w literaturze, to niewielkie zdolności obliczeniowe, niewielkie rozmiary pamięci, możliwość interferencji z innymi standardami komunikacyjnymi wykorzystującymi jako medium transmisyjne nielicencjonowane pasmo przemysłowe oraz pasmo naukowo-medyczne (ISM), takimi jak IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks (WLAN), WiFi, Bluetooth oraz Microwave [9]. Istotna dla zapewnienia niezawodności komunikacji w sieci ZigBee jest odpowiednia detekcja sygnałów zakłócających oraz projektowanie instalacji uwzględniające możliwość sprzężeń zakłóceńowych. Ulokowanie urządzeń ZigBee w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń wykorzystujących standard 802.11/b/g może spowodować degradację komunikacji w całym kanale [10]. Wadą jest również niewielki zasięg komunikacji, przy typowej mocy 1 mW wynoszący, wewnątrz budynku, ok. 10 m. Zasięg można zwiększyć poprzez podniesienie mocy nadajników (regulowanej standardami), będzie się to jednak wiązało z szybszym zużyciem zasilania bateryjnego.

1.2. Wireless Mesh

Wireless Mesh jest elastyczną siecią zawierającą grupy węzłów, w której węzły mogą łączyć grupy a każdy z węzłów może działać jako niezależny router. Sieć posiada zdolność tzw. samonaprawy polegającej na znajdowaniu przez sygnał ścieżki komunikacyjnej poprzez aktywne węzły – również w przypadku wyłączenia/wypadnięcia z sieci innych węzłów, Rysunek 6.

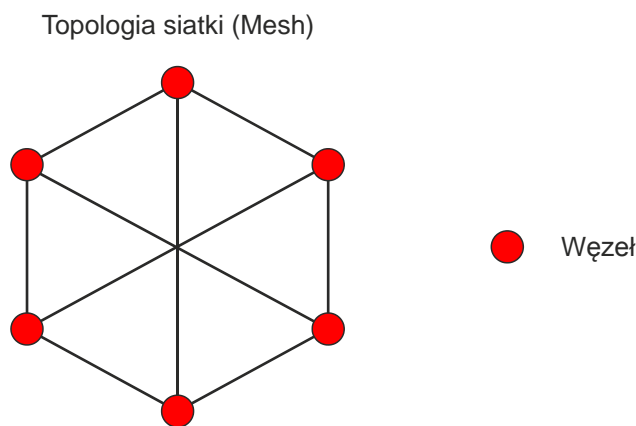
Bezprzewodowe sieci RF typu Mesh są bardzo popularne szczególnie w Ameryce Północnej. W systemie pomiarowym SmartMeter grupy PG&E każdy z liczników AMI został wyposażony w radiowy moduł komunikacyjny i każdy z nich przekazuje dane poprzez inne liczniki znajdujące się w sąsiedztwie. Poszczególne liczniki pełnią funkcję repeaterów dopóki zagregowane dane pomiarowe nie dotrą do punktu dostępowego sieci. Zgromadzone w ten sposób dane są transmitowane dalej. Firma SkyPilot Networks stosuje Mesh Network w aplikacjach Smart Grid szczególnie ze względu na niezawodność wynikającą z redundancji typowej dla sieci mesh [1]. Sieci mesh mogą tworzyć urządzenia komunikujące się w standardzie ZigBee, jak również PRIME PLC.

Podsumowując ten punkt, można wymienić następujące zalety oraz wady sieci typu Mesh.

Zalety: Mesh Network jest efektywnym rozwiązaniem dla zapewnienia dynamicznej samoorganizacji, samokonfiguracji, samonaprawialności. Sieć taką charakteryzuje wysoka skalowalność, poprawiająca funkcjonalność poprzez rozłożenie obciążeń sieci oraz rozszerzenie obszaru pokrycia siecią [11]. Sieci takie są rekomendowane do stosowania w systemach Smart Grid, w szczególności w instalacjach ISD.

Wady: Największe wyzwania dla sieci typu mesh związane są z przepustowością oraz z wygaszaniem fal, spowodowanym interferencją fal elektromagnetycznych generowanych przez poszczególne urządzenia. Jeżeli przepustowość sieci utworzonej z samych mierników okazuje się niewystarczająca, konieczne jest jej uzupełnienie o dodatkowe punkty węzłowe, co ma wpływ na koszt sieci. Obsługa takiej sieci wymaga zatem specjalizowanego administratora. Konieczne jest również stosowanie zaawansowanych technik kodowania ze względu na przepływ informacji przez poszczególne punkty dostępowe [10].

Rysunek 6. Topologia sieci mesh



1.3. Powerline Communication (PLC)

Powerline Communication (PLC) jest techniką komunikacyjną wykorzystującą istniejącą instalację elektryczną do transmisji danych pomiędzy włączonymi do sieci urządzeniami. Istnieje wiele standardów, różniących się znacznie przepustowością, wynikającą z zastosowanej techniki modulacji oraz częstotliwości i pasma transmisji, Tabela 1. Na przykład wśród standardów Home Plug można wyróżnić: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2, HomePlug Green PHY, HomePlug Access Broadband Power Line (BPL) [13]. Różnorodność prędkości transmisji wynika z szerokiego obszaru dedykowanych zastosowań [15][16][17][18]. Najnowszy standard HomePlug AV2 [13][14] może służyć do przesyłania sygnału HDTV z maksymalną przepustowością 1,8 Gbps, natomiast najprostszy standard stosowany w prostych układach automatyki osiąga przepustowość 2400 bodów. Typowe wartości szybkości transmisji to 2-3 Mbps [13][15].

Standard PLC został wybrany jako pierwszy do komunikacji z licznikami AMI, głównie ze względu na bezpośrednie połączenie medium transmisyjnego z licznikiem. Ze względów technicznych wyróżnia się trzy generacje:

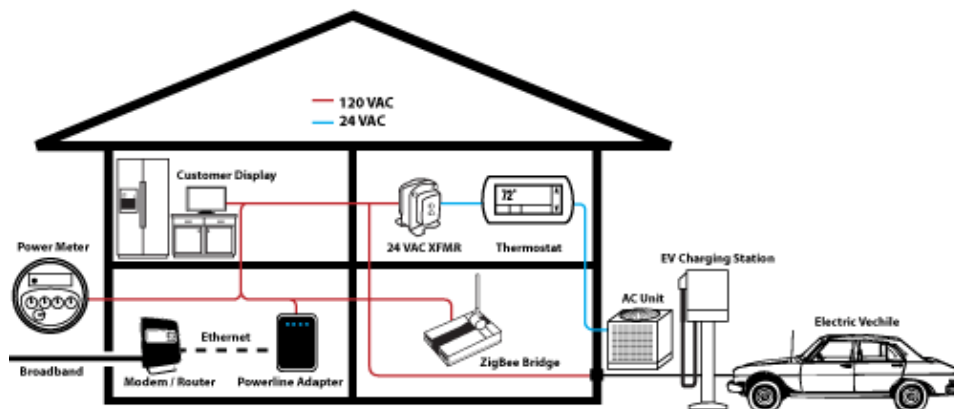
- I generacja (FSK, S-FSK, BPSK) – unormowanie, pojedyncza nośna, transfer <2400 bps, wrażliwa na zakłócenia,
- II generacja (DCSK) – rozproszone widmo, transfer <2400 bps, wzrost niezawodności transmisji, modulacja opracowana specjalnie dla PLC,
- III generacja (transfer szerokopasmowy: OFDM, DCSK, 3G) – zwielokrotnione nośne (PRIME: 97 nośnych, MAXIM: 36 nośnych), transfer typowo ok. 2-3 Mbps [14].

Wybór odpowiedniego standardu podyktowany będzie wymaganiami Odbiorcy, natomiast zasięg transmisji zależał będzie od jakości łącza oraz częstotliwości. Generalnie można przyjąć zasadę, że zwiększanie częstotliwości transmisji powodowało będzie zmniejszanie zasięgu.

Zastosowanie komunikacji PLC w sieciach niskich napięć jest jednym z kierunków badań mających służyć rozwojowi systemów Smart Grid [12]. W typowej sieci PLC liczniki AMI połączone są zazwyczaj z koncentratorami za pomocą instalacji elektrycznej, a dalsza transmisja danych odbywa się z wykorzystaniem sieci komórkowych. PLC wybrane zostało jako standard komunikacji pomiędzy licznikami a koncentratorom, natomiast GPRS jest stosowany w komunikacji koncentratorów z centrami danych. Podobny model przyjęty został przez ENEL we Włoszech [5]. Zastosowanie komunikacji PLC umożliwiło uruchomienie we Francji projektu „Linky meter”, który zakłada zastąpienie 35 milionów tradycyjnych liczników licznikami Linky Smart Meter. ~~PLC wybrane zostało jako standard komunikacji pomiędzy licznikami a koncentratorom, natomiast GPRS jest stosowany w komunikacji koncentratorów z centrami danych. Podobny model przyjęty został przez ENEL we Włoszech [5].~~

Na Rysunku 7 przedstawiono możliwości aplikacyjne standardu PLC w ISD [13]. Jako medium komunikacyjne może być wykorzystywana instalacja 230V, 120V oraz 24V. Zastosowanie interfejsów, przedstawionych na Rysunku 8, realizujących konwersję do innych standardów komunikacyjnych, pozwala na realizację hybrydowych, przewodowych i bezprzewodowych, sieci telekomunikacyjnych. Umożliwia to elastyczne wykorzystywanie w ISD urządzeń różnych producentów, wyposażonych w różnorodne standardy komunikacyjne, usytuowanych w różnych lokalizacjach.

Rysunek 7. Typowe rozmieszczenie urządzeń PLC w ISD



Źródło: Strona internetowa HomePlug

Rysunek 8. Przykładowe interfejsy PLC-ZigBee oraz PLC-LAN



Źródło: Strona internetowa HomePlug

Podsumowując ten punkt, można wymienić następujące zalety oraz wady komunikacji PLC.

Zalety: znaczne zainteresowanie komunikacją PLC spowodowane jest ograniczeniem kosztów instalacyjnych związanych z wykorzystywaniem jako medium transmisyjnego istniejącej instalacji elektrycznej. Siła i popularność PLC wynika również ze znacznych wysiłków standaryzacyjnych oraz dużej dostępności rozwiązań. Aplikacje w systemach ISD są traktowane jako najbardziej naturalne dla PLC. Będą również najprawdopodobniej stosowane w urządzeniach Full Smart Grid, które będą posiadały możliwość konfigurowania przez system nadrzędny oraz włączenie poprzez PLC do ISD (podobnie jak w przypadku DLNA – Digital Living Network Alliance). Potwierdzenie tej koncepcji można znaleźć w Tabeli 4, gdzie standard ten został wybrany przez producentów bram domowych do sterowania multimediami.

Wady: wyzwania techniczne wynikają z natury sieci elektroenergetycznych. Wykorzystanie istniejącej sieci elektroenergetycznej jako medium transmisyjnego powoduje, że należy wziąć pod uwagę braki konstrukcyjne w zakresie wielkich częstotliwości (znaczne tłumienie, zmiana impedancji falowej powodująca odbicia i interferencje fal, przesłuchy pojemnościowe i indukcyjne) oraz znaczny poziom występujących zaburzeń elektromagnetycznych. Topologia sieci, ilość i typ przyłączonych do sieci urządzeń, odległości pomiędzy transmiterem a odbiornikiem mogą mieć negatywny wpływ na jakość sygnału transmitowanego za pomocą PLC [5].

1.4. M-Bus (Meter Bus)

Meter Bus jest europejskim standardem opracowanym do komunikacji z licznikami energii, gazomierzami oraz innymi urządzeniami monitorująco-sterującymi[20]. M-Bus posiada zarówno protokół transmisji, jak i odpowiednie interfejsy[1][19]. M-Bus występuje również w wersji bezprzewodowej. Najczęściej stosowaną topologią sieci Wireless M-Bus jest gwiazda, patrz Rysunek 9, w której poszczególne mierniki stanowiące węzły sieci komunikują się z koncentratorem zbierającym pomiary. Sposób komunikacji pomiędzy miernikami inteligentnymi a koncentratorem opisuje standard Wireless M-Bus, Tabela 3.

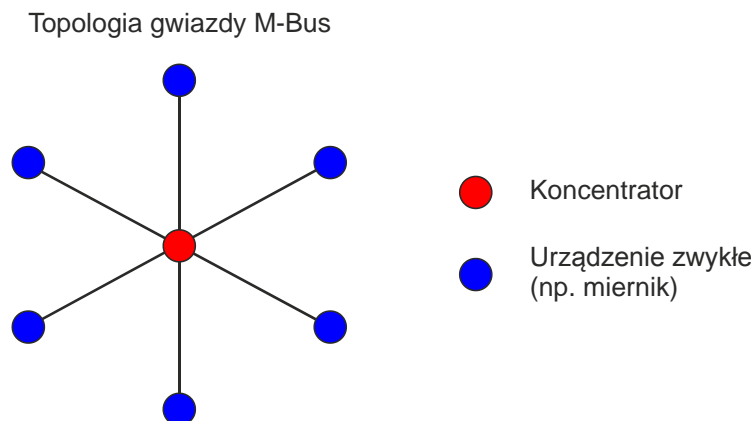
Pasma komunikacyjne:

- 868-868,6 MHz – pasmo ISM (Industry, Science, Medicine), pasmo rekomendowane do transmisji danych ze względu na mniejsze obciążenie, moc poniżej 25 mW,
- 868,7-869,2 MHz – wykorzystywane w sygnalizacji charakteryzującej się rzadkimi, krótkimi telegramami, moc poniżej 25 mW,
- 869,4-869,65 MHz – przerywana transmisja znacznych ilości danych wykorzystywana w komunikacji wewnątrz budynku lub pomiędzy budynkami, moc poniżej 500 mW.

Moc sygnałów, wpływająca na dostępną odległość pomiędzy miernikiem a koncentratorem, ograniczona jest wymaganiami normalizacyjnymi [19]. Biorąc pod uwagę powyższe, ze względu na znaczne tłumienie sygnałów wewnątrz budynków, istotne jest odpowiednie rozmieszczenie koncentratorów lub wymagana jest retransmisja sygnałów.

Możliwa jest praca w trybie jedno i dwukierunkowym. W trybie jednokierunkowym mierniki są jedynie nadajnikami a koncentrator odbiornikiem komunikatu. W trybie dwukierunkowym mierniki generują żądanie dostępu a koncentrator inicjuje transmisję wysyłając potwierdzenie.

Rysunek 9. Topologia sieci M-Bus.



1.5. Z-Wave

Z-Wave jest bezprzewodową, energooszczędną technologią komunikacyjną stosowaną w automatyce budynkowej do zdalnego sterowania urządzeniami [19][21]. Ze względu na niski koszt aplikacji Z-Wave znalazł zastosowanie w urządzeniach elektroniki użytkowej ponad 200 producentów, zarówno europejskich, jak i amerykańskich.

Najczęściej stosowaną topologią sieci jest siatka (mesh). Każdy z węzłów jest w stanie zarówno wysłać, jak i odbierać komunikaty. W martwych punktach sieci dla zapewnienia ciągłości komunikacji stosuje się węzły pośrednie. Urządzenia mogą pracować w grupach lub indywidualnie, można zaprogramować ich działanie w zależności od zdarzeń, sterować z pilota lub za pośrednictwem Internetu [22].

Dla zapewnienia kompatybilnej współpracy urządzeń powstało konsorcjum Z-Wave Alliance, które zrzesza ponad 160 producentów sprzętu. Typowy zasięg komunikacji wynosi 30 m, przepustowość 40 kbps lub 9,6 kbps. Z-Wave korzysta w Europie z częstotliwości 868,42 MHz (nie występują interferencje ze standardem 802.11/b/g). Może być on z powodzeniem stosowany w ISD.

Zalety: główną zaletą jest brak interferencji z popularnymi standardami komunikacji, wykorzystującymi nielicencjonowane pasmo częstotliwości. Urządzenia mogą tworzyć sieć typu mesh, zmniejszając nakłady na infrastrukturę.

Wady: zastrzeżony (zamknięty) protokół komunikacyjny, ograniczy konkurencję w zakresie dostarczanych rozwiązań, co prawdopodobnie przyczyni się do zwiększenia cen urządzeń pracujących w tym standardzie.

1.6. Bezprzewodowe sieci kratowe WLAN/WiFi (IEEE 802.11)

Bezprzewodowe sieci kratowe, np. WiFi, są zaawansowaną technologią pozwalającą na pokrycie sygnałem znacznych obszarów. Najczęściej są to sieci bezprzewodowe umożliwiające globalną komunikację zewnętrzną. W typowych, powszechnie znanych zastosowaniach zapewniają bezprzewodowy dostęp do Internetu. Powszechność standardu pozwala na łatwe zastosowanie w ISD [23][24][25][26].

Istotnym punktem tych sieci są punkty dostępowe AP (Access Points). Poszczególne punkty dostępowe komunikują się ze sobą na wybranych częstotliwościach, tworząc tzw. kraty, dzięki temu AP nie muszą komunikować się jedynie za pośrednictwem węzła centralnego i nie muszą być podłączone bezpośrednio do sieci kablowej.

Ze względu na powszechny dostęp do tych sieci, są one bezpieczne i w znacznym zakresie samonaprawialne dzięki dynamicznemu wyborowi najlepszej ścieżki komunikacyjnej (istnieje możliwość lokowania AP nawet w autobusach). Dzięki takiej topologii sieć ma większą pojemność i jest bardziej odporna na zakłócenia radiowe [19][29].

Zalety: główną zaletą jest powszechne stosowanie standardu w bezprzewodowej komunikacji z siecią Internet. Powoduje to, że wiele urządzeń powszechnego użytku, wyposażonych w moduły komunikacyjne WLAN/WiFi, może być wykorzystywane jako elementy ISD, zmniejszając koszt inwestycji w infrastrukturę (tablety, smartfony, smart TV).

Wady: możliwość interferencji z innymi standardami komunikacji bezprzewodowej.

1.7. WiMax (IEEE 802.16)

WiMax jest bezprzewodową radiową transmisją danych (Worldwide Interoperability for Microwave Access) opartą na standardach opracowanych dla zapewnienia szerokopasmowego dostępu, głównie do Internetu, na dużych obszarach [19][23][24][27]. Maksymalne przepustowości WiMax osiągają 75 Mbps dla odbiornika oddalonego od

nadajnika na odległość nie większą niż 10 km. Technologia zastosowana w Polsce pozwala uzyskiwać jedynie przepustowość 4 Mbps, zasięg został jednak zwiększony do 50 km.

Zalety: bezprzewodowa łączność, duży zasięg, duże przepustowości.

Wady: znaczny koszt modemów, silna zależność przepustowości od odległości od nadajnika, wysoki koszt infrastruktury (stacje bazowe), małe rozpowszechnienie technologii w Polsce.

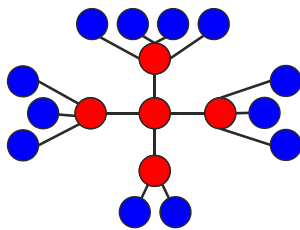
1.8. Ethernet

Ethernet jest powszechnym standardem komunikacyjnym wykorzystującym sieć LAN (skrętka lub światłowód). Osiągane przepustowości to: 10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps, 10000 Mbps. Ze względu na kosztowną infrastrukturę w sieciach ISD Ethernet najprawdopodobniej wykorzystywany będzie w konfiguracjach hybrydowych z komunikacją bezprzewodową [19][23][24][27][28].

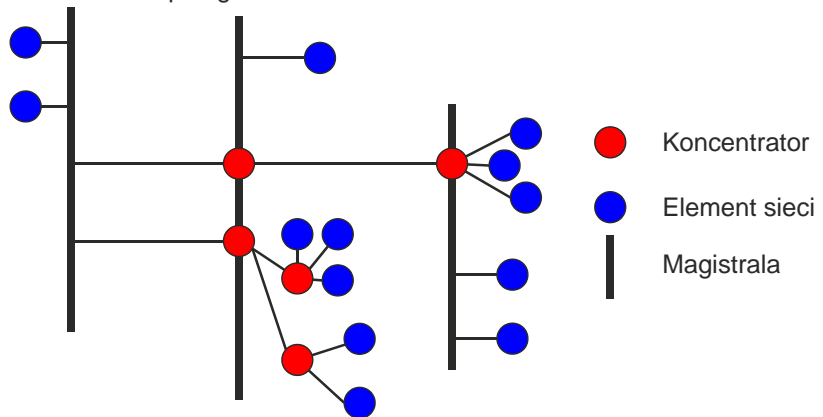
Na Rysunku 10 przedstawiono najpopularniejsze obecnie topologie sieci Ethernet. Topologia gwiazdy rozszerzonej posiada punkt centralny (podobnie do topologii gwiazdy) i punkty poboczne i jest jedną z najczęściej stosowanych topologii fizycznych Ethernetu, natomiast topologia hierarchiczna, zwana także topologią drzewa, jest kombinacją topologii gwiazdy i magistrali. Topologia ta jest podobna do drzewa binarnego.

Rysunek 10. Typowe rozmieszczenie urządzeń PLC w ISD

Topologia rozszerzonej gwiazdy



Topologia hierarchiczna



Zalety: powszechność standardu, pewność transmisji wynikająca z dedykowanego medium transmisyjnego, bardzo duże przepustowości, łatwa konfiguracja.

Wady: największą wadą jest konieczność przewodowego połączenia wszystkich elementów ISD z koncentratorami, co wiąże się ze znacznymi nakładami finansowymi.

W Tabeli 2 zestawiono podstawowe parametry techniczne oraz główne wady i zalety charakteryzujące standardy komunikacji najpowszechniej stosowane w ISD. Porównanie poszczególnych standardów jest utrudnione, ze względu na wielość rozwiązań dedykowanych konkretnym aplikacjom. W tabeli zestawiono wielkości typowe, dla stosowanych powszechnie w ISD rozwiązań. Zazwyczaj istnieje możliwość poprawy

poszczególnych parametrów, która odbywa się kosztem pogorszenia innych właściwości. Większa przestrzeń adresowa powoduje rozszerzenie ramki, zwiększając ilość przesyłanych danych oraz pobór energii. Zwiększenie zasięgu nadajnika w komunikacji bezprzewodowej odbywa się kosztem większego poboru energii itd. Stosowanie większych standardów bezpieczeństwa wymaga większych przepustowości. Osiąganie wyższych przepustowości wymaga generalnie większych nakładów na infrastrukturę sieciową, itd.

W ocenie przygotowujących raport, na podstawie danych technicznych oraz wyników pilotaży, można stwierdzić, że istniejące rozwiązania pozwalają na realizację techniczną proponowanych w dalszej części raportu rozwiązań ISD. Wielość dostępnych rozwiązań, nawet w obrębie poszczególnych standardów, pozwala na elastyczne dopasowanie techniki do planowanej funkcjonalności ISD oraz akceptowalnych nakładów inwestycyjnych.

Tabela 2. Zestawienie podstawowych parametrów standardów komunikacji stosowanych powszechnie w ISD

	ZigBee	Z-Wave	WiFi	HomePlug	Ethernet
Połączenie	Bezprzewodowe	Bezprzewodowe	Bezprzewodowe	Przewodowe	Przewodowe
Max szybkość transmisji/kanal	250 kbps (2,4 GHz) 40 kbps (915 MHz)	40 kbps (915 MHz)	11 Mbps 300 Mbps	14 Mbps 200 Mbps	10 Mbps – 1000 Mbps
Zasięg	10 -100 m (typowo 30 m)	30 m (teren otwarty, mniejsza wewnątrz budynku)	100 m (wewnątrz budynku)	300 m	100 m (skrętka)
Zabezpieczenia	Kodowanie 128-bit AES	Kodowanie 128-bit AES	802.11i (WPA2)	Kodowanie 56-bit DES możliwy 128-bit AES	
Podstawowe cechy	Niski koszt, niskie zużycie energii (długa żywotność baterii)	Wolny od wpływu zaburzeń wprowadzanych przez inne, typowe standardy komunikacyjne	Duża popularność standardu	Niski koszt, różnorodność protokołów, niskie prędkości transmisji, wymagająca konfiguracja	Popularny, łatwa konfiguracja, znaczny koszt ISD ze względu na konieczność połączeń z koncentratorem

1.9. Otwarte i zamknięte protokoły komunikacyjne

Analizując znane rozwiązania w zakresie ISD [1][30][31][32][33][34], komunikacja urządzeń odbywa się zawsze za pomocą protokołu komunikacyjnego, który zawiera ściśle określoną sekwencję poleceń i odpowiedzi. Protokół może być otwarty (znany, opisany, ustandaryzowany) lub zamknięty (dedykowany, firmowy).

Otwarty protokół komunikacyjny powinien umożliwiać niezawodną współpracę elementów systemu pochodzących od różnych producentów dzięki zastosowaniu znanego, ściśle i jednoznacznie zdefiniowanego protokołu [19]. Taki opis jest udostępniany publicznie, aby umożliwić jego nieograniczoną implementację. Zapewnia to dynamiczny rozwój urządzeń i

oprogramowania oraz rynkowe oddziaływanie zwiększonej konkurencji na kształtowanie cen elementów systemu, dostarczanych przez wielu producentów.

Niestety, niejednoznaczne sformułowania w opisie protokołu mogą skutkować niekompatybilnością elementów systemu. Powodowane jest to najczęściej różną interpretacją niejednoznacznych zapisów. Ponadto, zastosowanie standardów otwartych, przez ich dostępność, powoduje większe niebezpieczeństwo ataków hackerskich.

Z kolei zastosowanie zamkniętych i unikalnych protokołów komunikacyjnych:

- Zapewnia spójność i jednorodność systemu,
- Utrudnia ataki hackerskie,
- Ogranicza możliwości rozbudowy systemu,
- Podnosi koszt systemu,
- Uzależnia nabywcę od dostawcy (znającego protokół).

W tym kontekście interesującym z punktu widzenia zastosowań w ISD jest konsorcjum Smart Energy Home Area Network (HAN) utworzone przez ZigBee Alliance, Wi-Fi Alliance, The HomePlug Alliance oraz HomeGrid Forum [6][13][35]. Przyczyną powstania konsorcjum były wymagania rynkowe związane bezpośrednio z rozwojem ISD. Ma ono na celu zapewnienie kompatybilności urządzeń i standardów komunikacji dostarczanych na rynek produktów w ramach: Consortium for SEP 2 Interoperability [35]. Kompatybilność urządzeń wielu dostawców w ramach otwartych standardów będzie warunkowała rozwój ISD. W 2009 roku SEP 2 został wybrany przez U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST) standardem zarządzania energią w systemach HAN.

Standard SEP 2.0 powinien ukazać się w roku 2012. Informacje uzyskane od producentów systemów ISD, a wynikające z dotychczasowej praktyki, pozwalają przypuszczać, że aplikacje tego standardu pojawią się najwcześniej za 2-3 lata. Jednakże producenci stanowczo twierdzą, że standard SEP 1.1 jest wystarczający dla zapewnienia niezawodnej komunikacji urządzeń wielu producentów z wykorzystaniem ZigBee, WiFi oraz PLC.

Kluczowe znaczenie dla realizacji usług związanych z zarządzaniem energią elektryczną w ISD będzie miała komunikacja pomiędzy licznikiem AMI a bramą domową. Analizy przygotowujących raport, poparte danymi literaturowymi [1][3][4][5], wskazują, że najkorzystniejsze będzie wykorzystanie jednego ze standardów zrzeszonych w ramach SEP (ZigBee, WiFi, PLC). Każdy z tych protokołów zapewnia wymaganą pomiędzy AMI a bramą domową przepustowość. Ostateczny wybór zależeć będzie prawdopodobnie od rozpowszechnienia techniki komunikacyjnej oraz indywidualnych preferencji. Zazwyczaj możliwe jest połączenie elektryczne pomiędzy licznikiem AMI oraz bramą domową – czyli zastosowanie PLC. W przypadku wyboru komunikacji bezprzewodowej dla zwiększenia zasięgu oraz zapewnienia niezawodnego przesyłu danych rekomendowane jest zazwyczaj zwiększenie mocy nadajników [1][3]. Zwiększenie mocy nadajnika z typowo stosowanej, wynoszącej 1 mW, do 20 mW powoduje zwiększenie zasięgu, wewnątrz budynku, z 10 m do 100 m. Należy zaznaczyć, że moc nadajnika w telefonie komórkowym jest stokrotnie większa i wynosi typowo ok. 2 W!!! Według producentów 20 mW jest wystarczającą mocą zapewniającą niezawodną komunikację pomiędzy licznikiem AMI a bramą domową w

typowych rozwiązaniach ISD. Należy podkreślić, że również w tym przypadku nie ma zagrożenia związanego z nadmierną ekspozycją na pola elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej.

Konwertery standardów komunikacji powinny być w sposób bezpieczny zabudowane pod pokrywą licznika AMI. Ich wielkość zależy w przypadku standardów bezprzewodowych od uzysku antenowego zastosowanych anten, mających oprócz mocy nadajnika wpływ na dostępny zasięg komunikacji. Jednakże zarówno w przypadku standardów przewodowych, jak i bezprzewodowych typowa objętość konwerterów USB do ZigBee, WiFi lub PLC nie powinna przekraczać wymiarów 3 cm / 1 cm / 0,5 cm.

Tabela 3. Przegląd standardów komunikacyjnych w Smart Grid

Typ/Standard	Szczegóły	Zastosowanie
IEC 61970 IEC 61969	Wspólny model informacyjny (CIM): IEC 61970 regulacje w dziedzinie transmisji IEC 61969 regulacje w dziedzinie dystrybucji	Systemy zarządzania energią
IEC 61850	Elastyczny, otwarty standard komunikacyjny dla automatyki systemów przesyłowych, transmisyjnych i podstacji	Automatyka podstacji
IEC 60870-6 /TASE2	Standard wymiany danych pomiędzy centrami agregacyjnymi	Komunikacja centralna Inter-control
IEC 61235	Bezpieczeństwo danych w protokołach transmisyjnych	Systemy ochrony danych
IEEE P2030	Przewodnik definiujący współpracę systemów elektroenergetycznych z systemami IT	Instalacje Odbiorcy
IEEE P1901	Szybka komunikacja PLC	Multimedia, instalacje użytkowe oraz Smart Grid
ITU-T G.9955 oraz G.9956	Opis warstwy fizycznej i warstwy łącza danych	Automatyka systemów dystrybucyjnych, AMI
OpenADR	Dynamiczne kształtowanie taryf, zarządzanie popytem	Sterowanie obciążeniem
BACnet	Skalowalny system komunikacyjny po stronie Odbiorcy	Automatyka budynkowa
HomePlug	Technologia PLC w zastosowaniach ISD	ISD
HomePlug Green PHY	Zoptymalizowany, niskoenergetyczny, ekonomiczny standard PLC dedykowany usługom Smart Grid	ISD
U-SNAP	Zawiera wiele protokołów komunikacyjnych służących do komunikacji ISD z miernikami inteligentnymi	ISD
ISA100.11a	Otwarty standard dla komunikacji bezprzewodowej	Automatyka przemysłowa

SAE J2836	Standard zasilania pojazdów elektrycznych z sieci elektroenergetycznej	Zasilanie pojazdów elektrycznych
Z-Wave	Alternatywa dla ZigBee (brak problemu interferencji ze standardem 802.11/b/g)	ISD
M-Bus	Europejski standard zdalnego odczytu mierników	AMI
PRIME	Otwarty, globalny standard integracyjny	AMI
G3-PLC	Standard dotyczący integracji, bezpieczeństwa i niezawodności	AMI
SAE J2836	Komunikacja pojazdów elektrycznych (wtyczki)	Pojazdy elektryczne
SAE J2847	Standaryzacja komunikatów pomiędzy pojazdem elektrycznym a siecią zasilającą	Pojazdy elektryczne

Dane przedstawione w Tabeli 3 prezentują efekt wysiłków komitetów normalizacyjnych w zakresie standaryzacji protokołów komunikacyjnych stosowanych w systemach Smart Grid [1][4][25][35]. Najlepszym – w ocenie zespołu przygotowującego raport – modelem dla zapewnienia kompatybilności standardów komunikacji jest zastosowanie publicznego, otwartego protokołu oraz certyfikacja zgodności ze standardem przez jednostki niezależne od producentów urządzeń.

2. Bezpieczeństwo danych w ISD

Analizując znane dotychczas instalacje ISD, transmisja danych wykorzystuje media, zarówno przewodowe, jak i bezprzewodowe, do których dostęp mogą mieć również inni użytkownicy. Istotne jest zatem zapewnienie odpowiedniego poziomu zabezpieczeń wykorzystywanych sieci transmisyjnych. W rozdziale przedstawiono rezultaty aktualnych badań poświęconych zagadnieniom bezpieczeństwa danych w systemach Smart Grid, w tym wykorzystywanych w ISD [30][35][36][37][38][39][40][41][42].

Biorąc pod uwagę wyniki badań, można stwierdzić, że istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa mają takie aspekty jak:

Poufność: dane przesyłane za pomocą wybranego standardu komunikacji, a w szczególności dane niejawne, powinny być niedostępne dla postronnych. W ISD oznacza to, że żadna osoba postronna nie może uzyskać uprawnień konsumenta lub dostawcy usługi oraz że sam Odbiorca informacji nie ma dostępu do danych poufnych pozwalających na nieuprawnione profilowanie, np. nie ma dostępu do informacji o pracy poszczególnych urządzeń a jedynie do zagregowanego poboru mocy.

Integralność: wymaganie to ma zapewnić, że odebrana wiadomość nie została zmieniona na drodze jej transmisji. W przypadku sieci ISD integralność ma wpływ na właściwą i nieopóźnioną transmisję danych. Zmiana treści informacji, na skutek interferencji lub ataku hackerskiego, mogłaby spowodować zerwanie komunikacji lub wystawienie niewłaściwego urządzenia [30].

Autoryzacja: autoryzacja wykorzystywana jest do identyfikacji urządzeń i węzłów oraz weryfikacji źródła lub pochodzenia danych w sieci. Autoryzacja jest istotna na poziomie realizacji zadań administracyjnych w sieci. W przypadku ISD szczególnie istotna jest właściwa autoryzacja licznika AMI i poszczególnych urządzeń sieci, warunkuje to prawidłową pracę systemu.

Dostępność: właściwość ta dotyczy zapewnienia dostępności do sieci nawet w przypadkach ataków oraz mogących występować uszkodzeń jej elementów. ISD powinna być tak zaprojektowana, aby jej zasoby, takie jak możliwości obliczeniowe, pamięć itp., umożliwiały pełną funkcjonalność przy maksymalnym zaangażowaniu procesowym jej elementów.

Czułość czasowa: każda przesyłana informacja przesunięta o pewne ustalone okno czasowe może stać się nieużyteczna. Sieć musi zachowywać zdolność do komunikacji z odpowiednimi czasami opóźnień. W przypadku ISD czułość czasowa powiązana jest z czasem odpowiedzi tj. czasem od żądania usługi do właściwej reakcji odbiornika. Zapewnienie odpowiedniego czasu odpowiedzi warunkuje prawidłową realizację żądanej usługi.

2.1. Przykłady naruszenia bezpieczeństwa ISD

Najczęściej opisywanymi w literaturze przykładami naruszenia bezpieczeństwa ISD są [30]:

Jamming: w tym rodzaju ataku hackerskiego „przeciwnik” przesyła celowo sygnały zakłócające przez wspólne medium. Komunikacja jest udana tylko wówczas, jeśli Odbiorca

jest w stanie skutecznie dekodować pakiet nadawcy. Jeśli medium jest zajęte przez sygnały zakłócające, nadawca nie może rozpocząć komunikacji (jeśli zawczasu medium wykryje zajętość/przeciążenie) lub przesyłany pakiet może zostać uszkodzony przez sygnał zakłócający. Jamming może być wywołany poprzez wysyłanie ciągłych lub przerywanych sygnałów zajętości w kanałach komunikacyjnych.

Prostsza metodą jest wysyłanie ciągłego strumienia pakietów w tej samej technologii, ale z większą szybkością transmisji, często z wykorzystaniem zafalszowanego protokołu dostępu w celu uzyskania niesprawiedliwej przewagi w dostępie. Przeprowadzone w literaturze badania eksperymentalne pokazują, że ten sposób ataku pozwala na zmniejszenie skuteczności odbioru pakietów z 80-90% do ok. 40% poprzez użycie szybkości transmisji 10-krotnie wyższej od średniej szybkości transmisji[43]. Ten rodzaj ataku jest zdaniem autorów najtrudniejszy do uniknięcia w bezprzewodowych sieciach ISD. W Polsce jamming jest zagrożony surowymi karami z pozbawieniem wolności włącznie.

Naśladowanie urządzeń (Appliance impersonation): jest traktowane jako atak hackerski ze strony użytkownika. Występuje wówczas, gdy ze względu na poprawę komfortu użytkownika zamienia on urządzenia nie wywiązując się z umowy związanej z odpowiedzią na sygnał redukcji obciążenia, np. przełącza odbiornik o znacznej mocy do niekontrolowanego gniazda.

Powtórzenie sygnału (Replay attack): hackerskie przechwycenie sygnału zapotrzebowania na usługę wysyłane przez licznik AMI, może być wykorzystywane przez atakującego. Wprowadzenie tego sygnału nie przynosi atakującemu żadnych korzyści, jednak jeżeli będzie wywoływało reakcję ISD, może być uciążliwe dla Odbiorcy.

Nie-odrzućenie (Non-repudiation): dotyczy usług ISD w sieciach bezprzewodowych, w których strony nie będą mogły udowodnić odrzucenia sygnałów sterujących z AMI, natomiast AMI nie będzie mogło udowodnić próby komunikacji związanej z zapotrzebowaniem na usługę [30].

2.2. Przeciwdziałanie naruszeniom bezpieczeństwa w ISD

W celu zapewnienia niezawodnego działania sieci bezprzewodowych konieczne jest ich zabezpieczenie przed zewnętrznymi atakami hackerskimi oraz nieuczciwością jednej z komunikujących się stron. Najistotniejszym elementem stanowiącym podstawę zabezpieczeń jest procedura uwierzytelnienia.

Procedura uwierzytelnienia

Dla zapewnienia „mocnego” uwierzytelnienia, w aktualnych danych literaturowych, proponuje się[30] poniższy algorytm dystrybucji klucza uwierzytelniającego:

1. Licznik AMI jest instalowany przez operatora na terenie Odbiorcy. Odbiorca otrzymuje hasło, które wprowadza manualnie do komunikujących się urządzeń ISD. Hasło jest wykorzystywane do generowania publiczno-prywatnego klucza kryptograficznego.

2. Przy pierwszym połączeniu licznik AMI żąda uwierzytelnienia za pomocą hasła. Właściwe uwierzytelnienie jest warunkiem ustanowienia dwukierunkowej komunikacji.
3. Po uwierzytelnieniu licznik AMI z uwierzytelnionym urządzeniem pracują z ustalonym kluczem lub generują nowy dla danej sesji.

Urządzenie, w rekomendowanym scenariuszu brama domowa, włączające się do sieci w trakcie uwierzytelnienia wykorzystuje predefiniowany kanał uwierzytelniający. Dopiero po uwierzytelnieniu komunikacja przenoszona jest do właściwego kanału komunikacyjnego. Stanowi to dodatkowe zabezpieczenie przed nieuprawnionym dostępem. Proces uwierzytelnienia wymaga udziału Odbiorcy, zatem bardzo istotne dla bezpieczeństwa sieci jest odpowiednie dostarczenie i przechowywanie hasła. Dla zabezpieczenia transmisji danych wykorzystywane są również unikalne identyfikatory urządzeń stosowanych w ISD. Zastosowanie powyższych zasad powoduje, że ataki na etapie uwierzytelnienia są rzadkie i łatwo wykrywalne.

Jamming. Metody przeciwdziałania jammingowi polegają najczęściej na stosowaniu zmian kanałów transmisji w przypadku wykrywania przeciążeń [43]. Stosowane są również techniki polegające na wykorzystywaniu rozproszonego widma, np. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ZigBee.

Naśladowanie urządzeń (Appliance impersonation). Urządzenia powinny być predefiniowane na podstawie danych producenta lub uzyskanych w trakcie eksploatacji profili obciążenia. Jeśli w przypadku żądania usługi obciążenia dane pomiarowe nie odpowiadają danym predefiniowanym, urządzenie powinno odrzucić zapotrzebowanie na usługę.

Powtórzenie sygnału (Replay attack). Atak polegający na powtórnym stosowaniu przechwyconych sygnałów sterujących można udaremnić korzystając ze znaczników czasowych, sekwencji pakietów oraz kluczy sesyjnych. Jeśli sieć jest czasowo synchronizowana, każdy pakiet zawiera informację o czasie, w którym został nadany. Jeśli czas różni się znacząco od aktualnego, pakiet zostanie odrzucony. Podobna reakcja jest możliwa w przypadku różnej sekwencji pakietów. Jeśli transmisja zabezpieczona jest kluczami sesyjnymi, dodatkowe zabezpieczenie przed atakami polegającymi na powtarzaniu przechwyconych sygnałów nie jest konieczne.

Nie-odrzućenie (Non-repudiation). Proponuje się, aby AMI i Odbiorca używali unikalnych kluczy. Licznik AMI powinien przechowywać informację o próbach komunikacji przez określony czas. Niezmieniona informacja powinna być dostępna w przypadku zgłaszania skargi przez którąkolwiek ze stron.

W opinii przygotowujących raport zastosowanie proponowanego w literaturze[30] algorytmu uwierzytelnienia, rejestracja w sieci urządzeń na podstawie unikalnych identyfikatorów, stosowanie pewnych metod kryptograficznych (128-bit AES) jest wystarczającym zabezpieczeniem przed nieautoryzowanym dostępem do danych przesyłanych w ISD. Wykorzystanie ISD do świadczenia usług bankowości elektronicznej wiązałoby się z koniecznością zastosowania dodatkowo kodowania SSL (Secure Socket Layer), które dla zapewnienia możliwości certyfikowania, autoryzacji klientów oraz poufności przesyłanych informacji korzysta z dwóch metod kryptografii: metody klucza publicznego i szyfrowania symetrycznego.

3. Opis wybranych elementów ISD

Zaprezentowane w raporcie rozwiązania aplikacyjne poszczególnych elementów ISD nie podlegają ocenie technicznej w ramach raportu. Prezentują jedynie ogólną, powszechnie stosowaną koncepcję, obecną u wielu producentów.

3.1. Brama domowa

„Gateway” w nomenklaturze sieciowej jest terminem opisującym środki zastosowane do łączenia dwóch różniących się sieci. Termin HAN gateway odnosi się do interfejsu łączącego infrastrukturę AMI z infrastrukturą ISD, kojarząc w sieć poszczególne elementy systemu. W wielu przypadkach interfejs umożliwia również komunikację elementów ISD posługujących się różnymi standardami komunikacyjnymi. Dobór standardu zależy zazwyczaj od realizowanej funkcji, wielkości transferowanych danych, rozproszenia systemu itd.

Zarówno organizacja ZigBee, jak i Open HAN podkreślają potrzebę stosowania bramy domowej w sieciach ISD, nie specyfikują jednak rozwiązań, gdzie ulokować te funkcje, pozostawiając implementację dostawcom usług lub operatorom. W rozwiązaniach aplikacyjnych prezentowanych w literaturze funkcje „gateway” są lokowane zarówno w miernikach inteligentnych, jak i termostatach opisanych w dalszej części raportu.

„Gateway” w szczególnych przypadkach oznacza również fizyczne urządzenie dedykowane realizacji tej funkcji. Rozwiązanie takie jest również rekomendowane przez zespół realizujący projekt. „Gateway” jest w tym przypadku, w dosłownym znaczeniu, „bramą domową” łączącą poszczególne elementy ISD z licznikiem AMI.

Brama domowa służy do komunikacji między urządzeniami działającymi w ramach ISD oraz siecią WAN lub Ethernet w danej lokalizacji.

Analizując rozwiązania firm technologicznych w zakresie infrastruktury ISD, bramom domowym można przypisać wiele funkcjonalności, w tym m.in.:

- Filtrowanie dostępu do konkretnej ISD,
- Zapewnienie autoryzowanego dostępu do ISD przez kanał internetowy lub telefon komórkowy,
- Umożliwianie zdalnego zarządzania urządzeniami w ramach sieci ISD za pośrednictwem platformy internetowej.

Ponadto brama domowa może zawierać zintegrowane moduły akwizycyjno-decyzyjne oraz może obsługiwać kilka protokołów komunikacyjnych.

Rysunek 11. Brama domowa Harmony Platinum firmy Smartenit



Źródło: Strona internetowa Smartenit

Przykładem „bramy domowej” może być urządzenie Harmony Platinum firmy Smartenit, które umożliwia komunikację pomiędzy Ethernetem a bezprzewodową lub hybrydową instalacją budynkową. Posiada wbudowany, konfigurowalny protokół IEEE802.15.4/ ZigBee PRO, 6LoWPAN, JenNet, plus interfejs dla INSTEON oraz sieć X10, z której można korzystać poprzez SmartLabs PLM. Pozwala na wprowadzenie do ISD i zharmonizowane urządzeń komunikujących się w wyżej wymienionych, znacznie różniących się, protokołach. Jednostkę obliczeniową stanowi 32-bitowy procesor RISC CPU (AVR32) z systemem Linux. Urządzenie to wyposażone jest we własne oprogramowanie, pozwalające na autonomiczną pracę, bez dodatkowego dedykowanego PC oraz na tworzenie własnych aplikacji użytkowych.

Rysunek 12. Brama domowa firmy Smartenit zintegrowana z gniazdem sieciowym



Źródło: Strona internetowa Smartenit

Na rysunku powyżej zaprezentowano kolejne rozwiązanie, a mianowicie „bramę domową” zintegrowaną z gniazdem wtykowym. Pozwala ona na zintegrowanie urządzeń, komunikujących się za pośrednictwem popularnych bezprzewodowych i przewodowych standardów komunikacji takich jak: ZigBee PRO, INSTEON oraz X10 oraz sieci komputerowej (LAN lub WAN). Konfiguracja jest możliwa z wykorzystaniem zewnętrznego komputera, tabletu itp. Wbudowana pamięć umożliwia archiwizację danych niezależnie od PC.

Rysunek 13. Brama domowa Home Base firmy EnergyHub



Źródło: Strona internetowa EnergyHub

Firma EnergyHub zintegrowała bramę domową z wyświetlaczem LCD. Rozwiązanie takie jest droższe od wcześniej prezentowanych, może być interesujące dla Odbiorców niekorzystających z sieciowych możliwości własnych urządzeń posiadających wyświetlacze, np. komputerów, tabletów, smartfonów, smart TV itp.

W Tabeli 4 zestawiono podstawowe parametry bram domowych. Informacje uzyskano z przeprowadzonej w ramach projektu ankietyzacji wybranych dostawców elementów ISD. Ankietyzacja potwierdziła dużą popularność standardów komunikacyjnych SEP, dostawców zrzeszonych w ramach konsorcjum Smart Energy Home Area Network (HAN).

Zarówno zasięg komunikacji, jak i liczba urządzeń obsługiwanych przez analizowane bramy domowe, są zazwyczaj wystarczające dla zapewnienia pełnej wymaganej funkcjonalności ISD. Znaczna rozpiętość cen związana jest z ilością obsługiwanych standardów komunikacyjnych oraz pamięcią wewnętrzną. Niemal wszystkie zaprezentowane bramy domowe mogą komunikować się ze smartfonami. Wszystkie mają możliwość sterowania za pomocą łącz szerokopasmowych, co umożliwia stworzenie równoległego do AMI kanału transmisyjnego o dużej przepustowości. Wzrost popularności ISD powinien spowodować w przyszłości znaczne obniżenie cen stosowanych urządzeń.

Tabela 4. Zestawienie parametrów technicznych bram domowych

Producent	Typ	Sterowanie interfejsami źródeł odnawialnych	Pamięć wewnętrzna [MB]	Komunikacja	Port Ethernet dla LAN	Ilość obsługiwanych jednocześnie urządzeń	Zasięg komunikacji [m]	Możliwość sterowania za pomocą łącz szerokopasmowych	Sterowanie przez smartfony	Komunikacja z multimediami	Cena jednostkowa [PLN]
EnergyHub	Home Base	Nie	Tak	ZigBee SE, ZigBee HA, Wi-Fi, Z-Wave	Nie (Wi-Fi)	15	-	Tak	Tak	-	683
Green Energy Options (GEO) Ltd	Bridge	Tak	Nie	868 MHz	Tak	30+	100+	Tak	Tak	Nie	100
Jetlun (Hong Kong) Ltd.	Gateway Pro	Tak	64	ZigBee, HomePlug	Tak	255 ZigBee do 10	30	Tak	Tak	HomePlug	750
Plugwise BV	Smile	Tak	32	WIFI	Tak	1	15	Tak	Nie	Home plug	300
	Stretch	Tak	64	ZigBee/WIFI	Tak	64	15	Tak	Tak	Home plug	420
Sagemcom Energy & Telecom SAS	PA	Tak	-	Ethernet GPRS Wifi WMBUS EnOCEAN Zigbee (opcja)	Tak	50	do 200	Tak	Tak	Nie	-

Źródło: Dane zebrane na podstawie materiałów przesłanych przez objęte ankietyzacją firmy technologiczne

3.2. Wyświetlacze

Funkcję wyświetlacza mogą pełnić różne elementy ISD posiadające komunikację z bramą domową oraz możliwość prezentacji danych procesowych. Mogą w tym charakterze zostać wykorzystane multimedia Odbiorcy niezwiązane z ISD, takie jak: PC, tablety, smartfony, smart TV itp. Zastosowanie w takim przypadku funkcjonujących już w gospodarstwie domowym wyświetlaczy pozwala znacząco zmniejszyć koszt inwestycji w ISD.

Analizy wyników projektów pilotażowych opisanych w ankietach wskazują, że wyświetlacz stale prezentujący podstawowe parametry energetyczne jest bardzo istotnym elementem sieci ISD, kształtującym zachowania Odbiorców wpływające na zwiększenie oszczędności energii. Wyświetlacze pełniące inne funkcje podstawowe, wykorzystywane przez większość czasu zgodnie z pierwotnym przeznaczeniem, są mniej wygodne w zakresie powodują w rezultacie utrudnia bieżącą obserwację „zachowania” własnego systemu. Rozwiązaniem tego problemu może być stosowanie dedykowanych okienek lub – w przypadku telewizorów – technik PiP (picture in picture).

Korzystanie z wyświetlaczy jest szczególnie istotne w przypadku konfiguracji ISD lub analizy zarchiwizowanych danych, dostępnych zazwyczaj poprzez dedykowaną aplikację internetową. W wielu rozwiązaniach dostępnych na rynku wyświetlacze integrowane są z bramą domową.

Rysunek 14. Wyświetlacze firmy Green Energy Options (GEO) Ltd



Źródło: Materiały informacyjne przekazane z ankietami dostawców ISD

Dla przykładu, w systemie oferowanym przez Green Energy Options (GEO) Ltd dedykowany wyświetlacz pełni funkcję interfejsu pomiędzy licznikiem AMI a ISD. Łącze korzysta ze standardu ZigBee (w który wyposażone są liczniki AMI w Wielkiej Brytanii). Dla zapewnienia niezawodnej komunikacji na dystansie 100 m, moc nadajnika zwiększono do 20 mW (zamiast 1 mW). Brama domowa przedstawiona na Rys. 15 jest definicyjną bramą domową służącą integracji standardów ZigBee, WiFi, HomePlug, LAN.

Rysunek 15. Koncepcja topologii ISD proponowana przez firmę Green Energy Options (GEO) Ltd



Źródło: Materiały informacyjne przekazane z ankietami dostawców ISD

Z kolei ekskluzywne wyświetlacze łączące usługi ISD z usługami automatyki domowej mogą stanowić element wystroju wnętrz podnosząc prestiż i wartość lokalu (patrz Rysunek 16).

Rysunek 16. Wyświetlacze Busch-priOn



Źródło: Materiały informacyjne przekazane z ankietami dostawców ISD

W Tabeli 5 zamieszczono dane wyświetlaczy. Funkcjonalność poszczególnych wyświetlaczy w analizowanym zakresie jest podobna. Znaczne różnice cenowe wynikają z zastosowanej technologii i wielkości wyświetlacza oraz pełnionej w ISD funkcji, np. zintegrowanej z wyświetlaczem bramy domowej. Należy zwrócić uwagę, że zdecydowanie najtańszym sposobem wyświetlania danych jest zastosowanie aplikacji obsługującej wyświetlacz zewnętrzny, np. smartfon lub tablet.

Tabela 5. Zestawienie parametrów technicznych wyświetlaczy

Producent	Typ	Sterowanie w trybie „Default”	Bieżące zużycie energii	Bieżąca cena energii	Historia zużycia energii	Całkowity koszt energii	Typ taryfy	Inne funkcjonalności	Pamięć wewnętrzna [MB]	Komunikacja	Zasięg komunikacji [m]	Cena jednostkowa [PLN] 500 do 100 k szt.
EnergyHub	Home Base	-	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	-	5	ZigBee SE, ZigBee HA, Wi-Fi, Z-Wave		683
Green Energy Options (GEO) Ltd	Ensemble	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	analiza ekonomiczna Sieć i telefon (dodatkowy koszt)	dane 1 miesiąc	868 MHz	100+	200-300
	Solo II	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	analiza ekonomiczna Sieć i telefon (dodatkowy koszt)	dane 12 miesięcy	868 MHz	100+	170-400
Jetlun (Hong Kong) Ltd.	ZigBee In-Home Display (IHD)	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	OTA	64	ZigBee	30	320
Plugwise BV	Smartphone Apps	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	-	-	-	-	12
	Screen	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	wg wymagań	-	-	-	2400
Sagemcom Energy & Telecom SAS	WMBUS Display	-	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Ponadnormatywne zużycie	-	RF 13757-4	200	-

Źródło: Dane zebrane na podstawie materiałów przesłanych przez objęte ankietacją firmy technologiczne

3.3. Termostat

Funkcjonowanie ISD związane jest z oszczędnością wszystkich możliwych mediów. Największy potencjał – w kontekście osiągniętych oszczędności – leży w energii cieplnej. Wyniki eksperymentów pokazują, że w oczywisty sposób zależne od specyficznych zachowań Odbiorców typowe oszczędności w tym zakresie mogą osiągać ok. 30%. Termostaty w zależności od zaawansowania technicznego mogą realizować różne funkcje związane z zarządzaniem komfortem cieplnym. Pozwalają, w zależności od wielkości wbudowanej pamięci, realizować autonomicznie scenariusze sterowania w cyklu tygodniowym lub dziennym. Mogą również realizować zadanie sterowania, będąc częścią systemu nadrzędnego. Z niektórymi termostatami integrowane są wyświetlacze, niektóre z nich, obsługujące wiele standardów komunikacji, mogą pełnić funkcję bramy domowej. Różnorodność proponowanych rozwiązań pozwala dobrać rozwiązanie optymalne z techniczno-ekonomicznego punktu widzenia.

W zależności od dostawcy termostaty posiadają zazwyczaj następujące funkcjonalności:

- Obniżają poziom wykorzystywanej energii elektrycznej na podstawie otrzymanego sygnału od konsumenta lub dostawcy energii,
- Wyświetlają bieżącą cenę, rzeczywiste bieżące oraz historyczne zużycie energii,
- Umożliwiają zdalną aktualizację oprogramowania.

Rysunek 17. Termostat CT-30 firmy RTCOA



Źródło: Materiały informacyjne przekazane z ankietami dostawców ISD

Zestawione w Tabeli 6 dane pokazują znaczne różnice w koncepcji, funkcjonalności, a w konsekwencji również w cenie termostatów. Najdroższe z analizowanych były termostaty posiadające wyświetlacze, które mają możliwość autonomicznej pracy. Jednakże istnieją również tanie rozwiązania zapewniające pełną funkcjonalność w odpowiednio skonfigurowanym i rozbudowanym systemie ISD.

Tabela 6. Zestawienie parametrów technicznych termostatów

Producent	Typ	Obsługiwane urządzenia	Wyświetlacz	Komunikacja	Zasięg komunikacji [m]	Sterowanie za pomocą łącza szerokopasmowego	Cena jednostkowa [PLN]
RTCOA	CT-30	-	Monochromatyczny	ZigBee	-	Tak	300
Honeywell	VisionPRO	-	Monochromatyczny	ZigBee	-	Tak	355
Green Energy Options (GEO) Ltd	Temperature sensor	Ensemble oraz Solo II	Korzysta z głównego wyświetlacza	868 MHz	100+	Tak	26
	Heating controller	Większość systemów grzewczych	Korzysta z głównego wyświetlacza	868 MHz	100+	Tak	120-180
Plugwise BV	Do nabycia w październiku 2012 r.	-	-	-	-	-	-

Źródło: Dane zebrane na podstawie materiałów przesłanych przez objęte ankietacją firmy technologiczne

3.4. Przełączniki

Przełączniki oferowane przez producentów urządzeń ISD są najczęściej dwustanowym elementem wykonawczym (włącz/wyłącz) sterowanym zdalnie. W ISD pełnią funkcję AGP (Aktywne Gniazdo Pośrednie), umożliwiając realizację algorytmów sterowania urządzeniami typu Smart Grid Ready. Bardziej zaawansowane technicznie przełączniki umożliwiają pomiar parametrów eksploatacyjnych oraz dwustronną komunikację między dostawcą energii lub konsumentem a urządzeniem, które nie jest urządzeniem Smart Grid Ready (wyposażonym fabrycznie w interfejs ISD). Dane przekazywane do bramy domowej i agregowane w ISD mogą stanowić podstawę analiz, prowadzących do opracowania scenariuszy oszczędnościowych oraz do profilowania urządzenia. Pomiar prądu urządzenia ma istotne znaczenie przy weryfikacji realizacji zapotrzebowania na usługę DR.

Analizując rozwiązania dostępne obecnie na rynku, jako reprezentatywny przykład przedstawiono przełącznik Circle firmy Plugwise. Umożliwia on pomiar energii z dokładnością $5\% \pm 0,5 \text{ W}$ lub $1\% \pm 0,2 \text{ W}$ dla danych mierzonych w czasie 1 godziny. Umożliwia programowe, zdalne włączanie i wyłączanie. Nominalny pobór mocy urządzenia wynosi 0,55 W. Konfiguracja odbywa się za pomocą oprogramowania Plugwise Source instalowanego na komputerze PC. Komunikacja zrealizowana jest w sieci ZigBee-mesh.

Z punktu widzenia funkcjonalności ISD interfejsy urządzeń, włączane pomiędzy gniazdo wtykowe a zasilane urządzenie, mogłyby realizować również funkcję ciągłej (nie dwustanowej) regulacji mocy dostarczanej do odbiornika. Funkcję tę mogą pełnić interfejsy energoelektroniczne, które przy zastosowaniu odpowiednich algorytmów sterowania realizują również zadania kondycjonowania energii elektrycznej, świadcząc dodatkowe usługi systemowe.

W Tabeli 7 zestawiono dane przełączników uzyskane z ankiet. Przełączniki te umożliwiają dwustanową regulację urządzeń, jak również pozyskiwanie danych procesowych i przekazywanie ich do nadrzędnych elementów ISD. Umożliwia to kontrolowanie i kompleksową analizę systemu w celu opracowania dedykowanych scenariuszy oszczędnościowych. Niestety, ceny przełączników są zaskakująco wysokie i powinny wraz ze wzrostem popularności ISD znacząco spadać.

Rysunek 18. Przełącznik Circle firmy Plugwise



Źródło: Materiały informacyjne przekazane z ankietami dostawców ISD

Tabela 7. Zestawienie parametrów technicznych przełączników

Producent	Typ	Komunikacja	Zasięg komunikacji [m]	Sterowanie za pomocą łącza szerokopasmowego	Komunikacja z bramą domową	Cena Jednostkowa [PLN]
Landis+Gyr	L730/L740	sygnał typu Ripple Control lub sygnał PLC(S-FSK)	-	Poprzez system centralny	Tak	-
EnergyHub	Heavy Duty Controller	ZigBee HAN do Home Base Wi-Fi	-	Tak, przez Home Base	Tak	370
Green Energy Options (GEO) Ltd	Euro Plug	868 MHz	100+	Tak	Tak	45-85
Jetlun (Hong Kong) Ltd.	15A Appliance Module	ZigBee	30	Tak, przez bramę domową	Tak	320
	30A Appliance Module Plus	ZigBee	30	Tak, przez bramę domową	Tak	640
Plugwise BV	Switch	ZigBee	5-10	Nie	Tak	200
	Scan	ZigBee	5-10	Nie	Tak	320
	Sense	ZigBee	5-10	Nie	Tak	280
Sagemcom Energy & Telecom SAS	C13	RF, 13757-4	200	Tak, przez bramę domową	Tak	-
	C65	RF, 13757-4	200	Tak, przez bramę domową	Tak	-

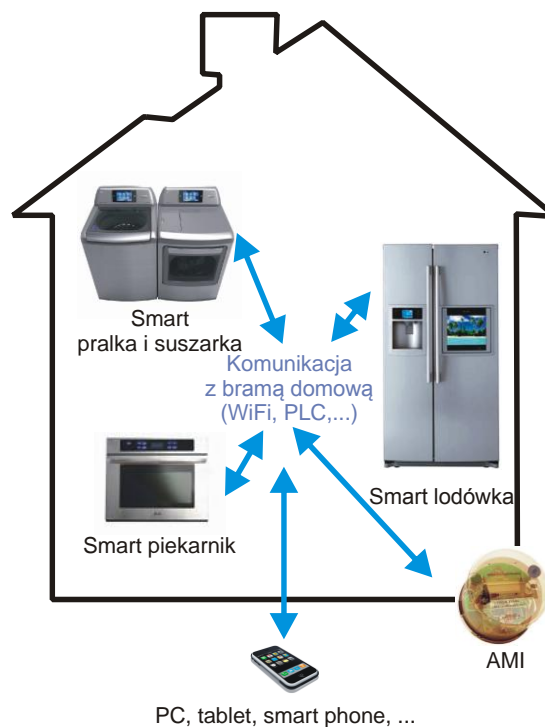
Źródło: Dane zebrane na podstawie danych przesłanych przez objęte ankietacją firmy technologiczne

3.5. Urządzenia smart

Urządzenia smart (Smart Appliances) będą prawdopodobnie stanowiły w przyszłości znaczącą grupę odbiorników mogących świadczyć usługi systemowe w sieciach Smart. Najnowsze rozwiązania w tej grupie urządzeń zaprezentowane zostały podczas targów Consumer Electronics Show (CES) 2012 w Las Vegas. Wszyscy wiodący producenci sprzętu AGD posiadają w swojej ofercie tego typu urządzenia. Sama nazwa urządzenia – smart – nie jest bezpośrednio związana z możliwością zarządzania energią. Funkcje Smart są oferowane przede wszystkim w celu zaspokojenia potrzeb najbardziej wymagających klientów z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć techniki. Lodówki, dzięki zainstalowanym czytnikom kodów oraz aplikacjom sterującym, ułatwiają zarządzanie przechowywaną żywnością. Urządzenie m.in. proponuje najlepszą lokalizację dla produktu, przypomina o terminie przydatności do spożycia, analizuje możliwość przygotowania dań z posiadanych obecnie produktów, drukuje lub przesyła listę zakupów, umożliwia zakupy za pośrednictwem Internetu itp. Mogą one również regulować głębokość zamrażania w zależności od pobranej z Internetu lokalnej prognozy pogody. Brak jest jednak danych, w jaki sposób wykorzystywanie tego typu technik, które mogą być identyfikowane z regulacją predykcyjną, wpływa na zmniejszenie zużycia energii w stosunku do stosowanych klasycznie układów regulacji dwustanowej.

Duży potencjał regulacyjny, potwierdzony wynikami pilotaży, zapewniają sterowane za pośrednictwem centralnej aplikacji internetowej suszarki do ubrań, wyposażone fabrycznie w porty komunikacyjne WiFi.

Rysunek 19. Urządzenia smart w ISD



Kolejnym przykładem urządzenia AGD typu smart może być zaprezentowany w ramach CES 2012 odkurzacz. Wyposażony został on w system kamer i układy nawigacji. Specjalnie

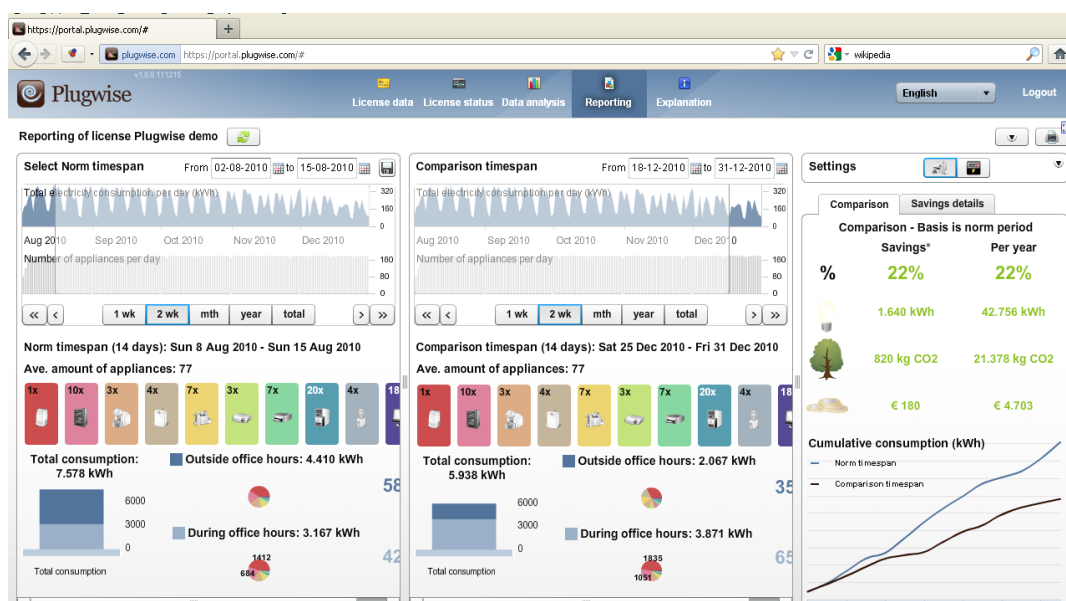
opracowane algorytmy sterowania umożliwiają budowanie bazy wiedzy na podstawie m.in. pozyskiwanych danych dotyczących rozkładu pomieszczeń oraz wykorzystują elementy sztucznej inteligencji, optymalizując realizowane zadania. Zdaniem producentów, pozwala to na szybsze, dokładniejsze i bardziej efektywne energetycznie sprzątanie niż w przypadku poruszania się odkurzacza po trajektorii losowej.

Urządzenia smart oferują wiele różnorodnych, często wysublimowanych usług. Inwencja producentów w tym zakresie pozwala przypuszczać, że urządzenia będą wyposażane również w rozmaite funkcje pozwalające na optymalizację zużycia energii (w jednym z urządzeń układy monitoringu wewnętrznego wykrywają zabrudzenie kratki wentylacyjnej powodujące wzrost zużycia energii i przekazują taką informację użytkownikowi). Jednakże w kontekście analizowanych w raporcie zagadnień najistotniejszy jest fakt, że urządzenia te są, zazwyczaj, wyposażone w układy elektroniczne, umożliwiające autonomiczną pracę z algorytmami oszczędnościowymi oraz w układy komunikacyjne pozwalające na włączenie tych urządzeń do ISD bez dodatkowych zabiegów instalacyjnych. W rekomendowanym w raporcie scenariuszu komunikacja wewnątrz ISD odbywałaby się za pośrednictwem bramy domowej w obsługiwanym przez urządzenia i bramę domową standardzie komunikacji, Rys. 19. W takiej sytuacji sterowanie urządzeniami smart nie różni się od sterowania innymi odbiornikami.

Producenci urządzeń proponują również skorzystanie z aplikacji umożliwiających łączenie urządzeń AGD w pełni funkcjonalną ISD z wykorzystaniem dostarczanych przez siebie urządzeń oraz dedykowanych aplikacji sterująco-monitorujących.

3.6. Aplikacje www umożliwiające konfigurację ISD, zarządzanie energią oraz analizę danych pomiarowych

Rysunek 20. Aplikacja www firmy Plugwise umożliwiająca konfigurację ISD, zarządzanie energią oraz analizę danych pomiarowych



Źródło: Demonstracyjna aplikacja www firmy Plugwise

Ciekawym niskobudżetowym zestawem umożliwiającym zbudowanie prostej ISD jest Home Basic firmy Plugwise. System składa się z aplikacji do zainstalowania na komputerze PC, dziewięciu AGP oraz widocznego na Rysunku 21 modułu komunikacji bezprzewodowej USB. Konfiguracja, monitorowanie oraz analiza danych archiwalnych odbywa się z wykorzystaniem aplikacji www.

Producenci systemów zapewniają, że korzystając z przygotowanych narzędzi konfiguracyjnych (wizards) oraz predefiniowanych modeli, osoby posiadające elementarne zdolności techniczne są w stanie samodzielnie skonfigurować ISD. Wyniki pilotaży opisanych w ankietach pokazały, że łatwy do osiągnięcia poziom oszczędności wynosił ok. 20%.

Przykładowe wymaganie sprzętowe dla PC, dotyczące prezentowanego rozwiązania:

- Windows XP/Vista/7,
- 30 MB wolnej pamięci dyskowej,
- 1 GB RAM,
- Procesor 1 GHz,
- Karta graficzna 64 MB,
- Internet.

Rysunek 21. Zestaw Home Basic firmy Plugwise



Źródło: Materiały informacyjne przekazane z ankietami dostawców ISD

4. Ekspozycja na pola elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej generowane przez układy komunikacji bezprzewodowej

Moc nadajników urządzeń do komunikacji bezprzewodowej jest regulowana odpowiednimi standardami, Tabela 3. Dodatkowo jest ona ograniczana przez producentów ze względu na powszechne dla urządzeń bezprzewodowych autonomiczne zasilanie bateryjne. Czas życia baterii urządzeń wynoszący ok. 2 - 5 lat dowodzi niewielkiej mocy nadajników. Dodatkowo, urządzenia, które nie posiadają funkcji routowania, ponad 90% czasu pozostają w stanie uśpienia.

Wymagania norm EMC oraz wyniki badań eksperymentalnych [44][45][46] pokazują, że nadajniki urządzeń komunikacji bezprzewodowej ISD, znajdujące się zazwyczaj w pewnym oddaleniu, dysponujące mocami rzędu pojedynczych miliwatów, generują pola elektromagnetyczne o natężeniach pomijalnych w porównaniu do pól generowanych przez telefony GSM (moc około wata) w polu bliskim [47][48].

5. Zaburzenia przewodzone generowane przez interfejsy energoelektroniczne w sieciach nn i SN

Tendencja do pozyskiwania energii ze źródeł lokalnych, a w szczególności ze źródeł odnawialnych, obecna w regulacjach administracyjno-prawnych Unii Europejskiej, spowoduje, że korzystanie z takiej energii wymagać będzie stosowania znacznej liczby układów energoelektronicznych, w celu dopasowania jej parametrów do wymagań standardów jakościowych. Instalacje takie stosowane będą również u Odbiorcy jako tzw. instalacje prosumenckie i będą zintegrowane z ISD.

Kumulacja przekształtników energoelektronicznych będących źródłem znacznych zaburzeń w.cz. na niewielkim obszarze oraz możliwość oddziaływania przekształtników wzajemnie na siebie i inne urządzenia zainstalowane w ISD, powoduje, że w rozproszonych systemach, zawierających przekształtniki energoelektroniczne, nie mogą być pominięte zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną (EMC) [49][50][51][52]. W zależności od typu źródła energii elektrycznej wymagana jest konwersja napięcia DC na AC lub AC na AC wraz z dopasowaniem parametrów do wymagań standardów jakości energii w sieciach zasilających. Interfejsy zapewniają możliwość wykorzystania przetworników energii ze źródeł odnawialnych przy typowych dla tych układów zmiennych warunkach pracy[49].

Przekształtniki pełnią w takich układach funkcję interfejsów energetycznych – są one z jednej strony powiązane z siecią zasilającą, z drugiej zaś z odbiornikiem lub źródłem energii elektrycznej. System taki często nie ma stałej konfiguracji, a sposób przekształcania energii może zmieniać się w zależności od warunków technicznych i ekonomicznych. Ta nieoznaczoność warunków eksploatacji powoduje, że w aktach normatywnych proponuje się – w odniesieniu do takich układów – systemową analizę EMC.

Kolejną przyczyną wzrostu znaczenia problemów związanych z zapewnieniem kompatybilności systemów zawierających przekształtniki energoelektroniczne jest to, że niemal każda nowa generacja elementów elektronicznych jest strukturalnie mniej odporna na zaburzenia elektromagnetyczne. Powoduje to istotne problemy przy zapewnianiu współpracy części silnopiękowej przekształtników z teleinformatycznymi układami sterowania, które są szczególnie istotne w systemach ISD. W najprostszej konfiguracji systemu zawierającego przekształtnik energoelektroniczny można zatem wyróżnić:

- Kompatybilność zewnętrzną systemu, obejmującą wzajemne oddziaływanie systemu ze środowiskiem elektromagnetycznym (tym z siecią zasilającą i układami teleinformatyki),
- Kompatybilność wewnętrzną systemu, obejmującą wzajemne oddziaływanie przekształtnika i źródła energii poprzez sprzęg energetyczny,
- Kompatybilność wewnętrzną przekształtnika, obejmującą wzajemne oddziaływanie obwodów sterowania i sprzęgu energetycznego przekształtnika.

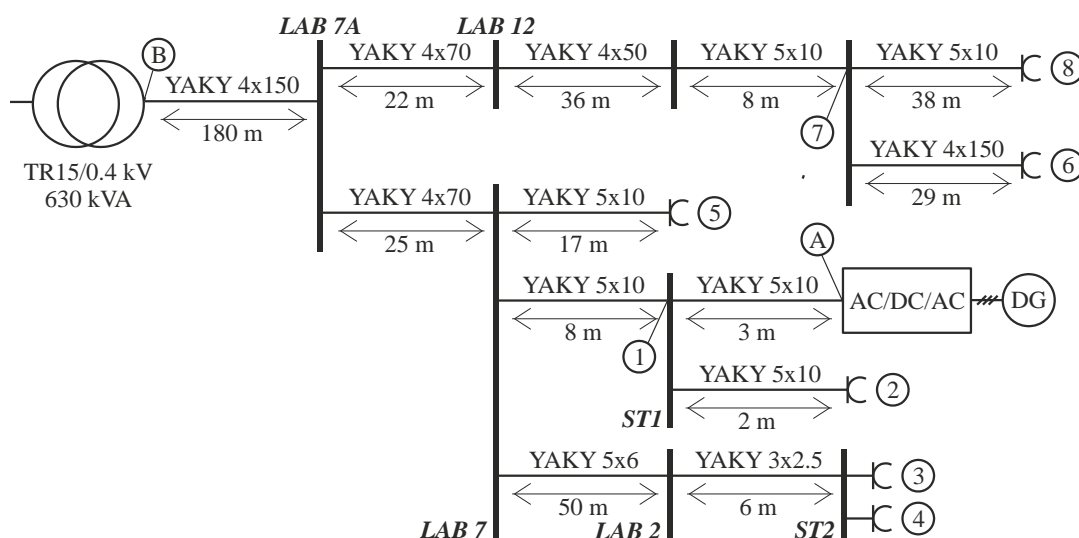
Dynamikę rozwoju kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), jako dziedziny wiedzy technicznej, zwiększyło wprowadzenie Dyrektywy 89/336/EEC – „Kompatybilnościowej” (zastąpionej Dyrektywą 2004/108/EC), która zaczęła obowiązywać od 15.12.2004 r. Jest to

jedną z tzw. Dyrektyw Nowego Podejścia i spełnienie jej wymagań oraz wymagań Norm Zharmonizowanych związanych z tą Dyrektywą stało się podstawą uzyskania znaku CE, uprawniającego do wejścia na rynki Unii Europejskiej. Rozwiązanie problemów kompatybilności dla każdego wyrobu wprowadzanego na rynek europejski („w konfiguracjach możliwych do przewidzenia przez producenta, jako reprezentatywne przykłady zwykłego użytkownika zgodnie z przeznaczeniem”) jest warunkiem koniecznym zaistnienia wyrobu w handlu i eksploatacji. Dla oceny kompatybilności aparatury, która może być stosowana w różnych konfiguracjach, Dyrektywa wymaga „przeprowadzenia oceny na podstawie konfiguracji, która może powodować największe zaburzenia oraz konfiguracji najbardziej podatnej na zaburzenia”. Ponieważ zaburzenia wytwarzane po jednej stronie przekształtnika mogą, poprzez sprzężenia pasytywne, przenosić się na jego drugą stronę, stosowanie typowych metod ograniczania zaburzeń wymaga dogłębnej analizy tzw. sytuacji kompatybilnościowej całego systemu [49][50]. Typowe środki stosowane do ograniczenia zaburzeń mogą w sposób niekontrolowany zmienić drogi rozptyłu zaburzeń, co może przynieść skutek odwrotny do zamierzonego [50].

Analiza głębokości wnikania zaburzeń w sieć była możliwa dzięki charakterystycznemu kształtowi widma zaburzeń generowanych przez przekształtnik. Obwiednia widma jest typowa dla przebiegów oscylacyjnych tłumionych o częstotliwości ok. 70 kHz, które powstają w obwodach rezonansowych po stronie sieci, zawierających m.in. wejściowe dławiki sieciowe, impedancję sieci oraz pojemności, natomiast kształt widma przy częstotliwościach będących wielokrotnością częstotliwości 40 kHz związany jest z częstotliwością sygnału synchronizującego przełączenia tranzystorów oraz tłumieniem wejściowego filtra rezonansowego [52].

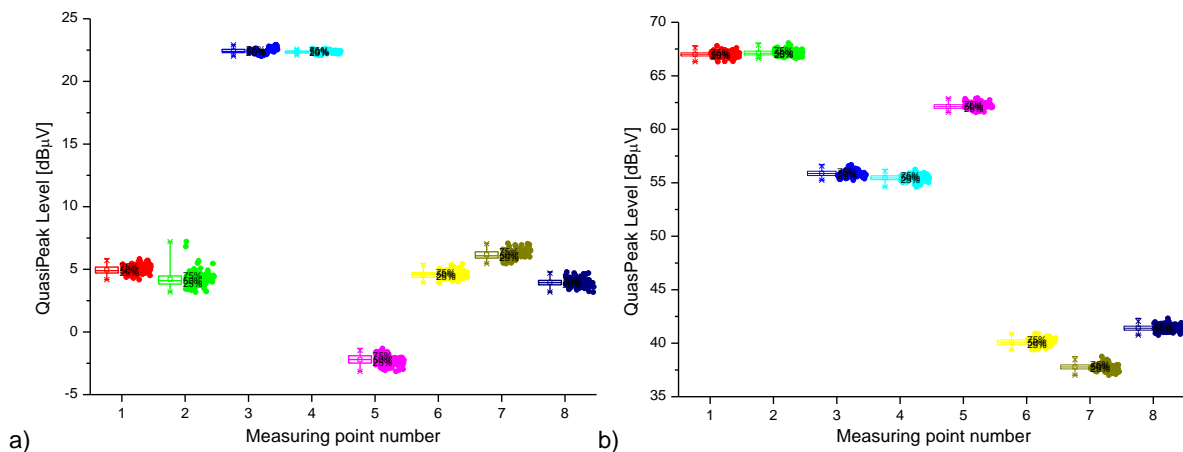
Na Rysunku 22 przedstawiono schemat instalacji laboratoriów badawczych, w których wykonano pomiary rozprzestrzeniania się zaburzeń z zaznaczonymi długościami kabli oraz punktami pomiarowymi [49].

Rysunek 22. Schemat instalacji laboratoriów badawczych, w których wykonano pomiary rozprzestrzeniania się zaburzeń



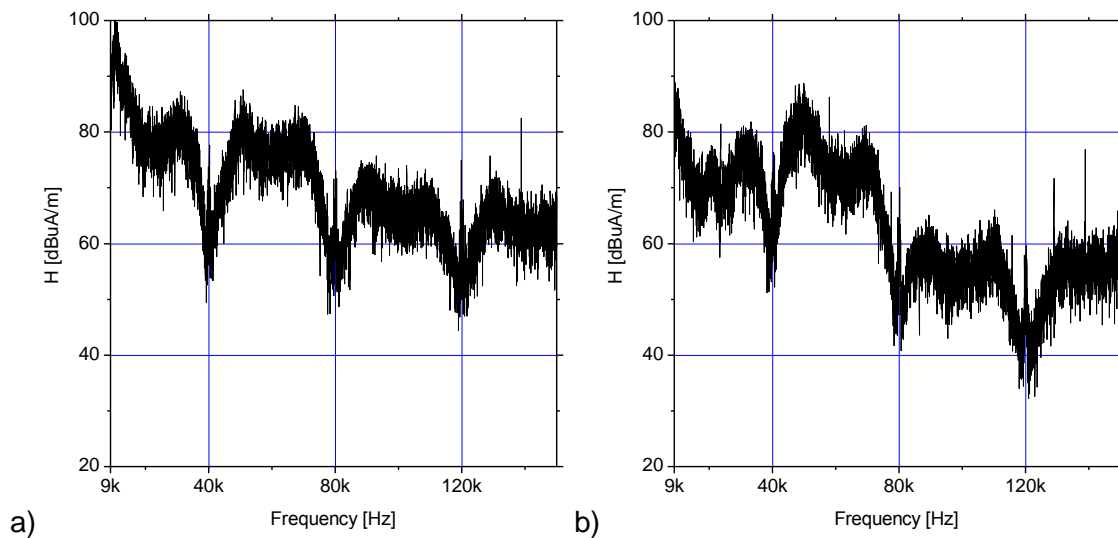
Na Rysunku 23 przedstawiono wyniki pomiarów zaburzeń wykonanych w punktach przedstawionych na Rysunku 22. W każdym z punktów wykonano 100 pomiarów trwających 1 s detektorem wartości quasi-szczytowej, dla częstotliwości oscylacji prądu zaburzeń generowanego przez przekształtnik. Pomiar wykonano dla wyłączonego i włączonego przekształtnika. Wyniki zestawiono w postaci wykresów pudełkowych z zaznaczonymi dodatkowo wartościami poszczególnych pomiarów. Włączenie przekształtnika powoduje znaczne zwiększenie poziomów obserwowanych zaburzeń. Wzrost poziomu zaburzeń może powodować niewłaściwe działanie urządzeń elektronicznych i zależy od odległości punktu pomiarowego od źródła zaburzeń.

Rysunek 23. Wykresy pudełkowe wartości quasi-szczytowej zaburzeń w poszczególnych punktach instalacji: a) przekształtnik wyłączony, b) przekształtnik włączony



Zaburzenia o znacznych poziomach, generowane przez interfejsy energoelektroniczne, mogą rozprzestrzeniać się w rozległych obwodach obejmujących również sieć SN. Pomiar w sieciach SN wymusił zastosowanie metod polowych do pomiaru zaburzeń z pasma zaburzeń przewodzonych (9 kHz – 30 MHz). W badaniach zastosowano więc aktywną antenę pętlową. Na Rys. 24 przedstawiono wyniki pomiaru składowej magnetycznej pola w stacji transformatorowej po stronie niskiego napięcia i średniego napięcia. Wyniki pomiarów pokazały, że zaburzenia wprowadzane przez przekształtnik przenoszą się za pośrednictwem sprzężeń pasożytniczych (niezgodnie z przekładnią transformatora) na stronę średniego napięcia.

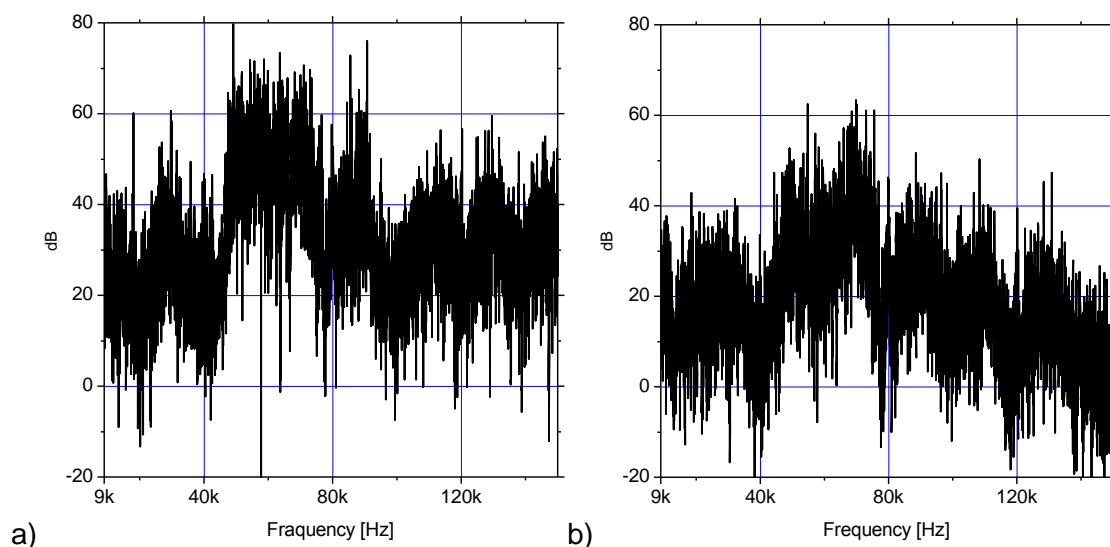
Rysunek 24. Widmo natężenia pola magnetycznego: a) po stronie pierwotnej transformatora dla włączonego przekształtnika, b) po stronie wtórnej transformatora dla włączonego przekształtnika



Dalsze badania wykonano pod linią napowietrzną SN w odległości 32 m oraz 1303 m od stacji transformatorowej. Antenę orientowano wzdłuż linii, co zapewniało maksymalne wskazania poziomu zaburzeń z pasma (9 kHz – 10 MHz) – mierzonych w polu bliskim. W celu łatwiejszej identyfikacji zaburzeń wprowadzanych przez przekształtnik, od widma zaburzeń przy włączonym przekształtniku odjęto zaburzenia tła. Różnicę zaburzeń zmierzonych pod siecią SN i zaburzeń tła w obu punktach pomiarowych przedstawiono na Rysunku 24.

Znaczny wzrost poziomu zaburzeń podczas pracy przekształtnika oraz typowy kształt widma zaburzeń (obwiednia wskazująca na obecność przebiegów oscylacyjnych tłumionych o częstotliwości ok. 70 kHz oraz zaburzenia odpowiadające częstotliwości łączeń 40 kHz) wskazują, że zaburzenia generowane przez przekształtniki energoelektroniczne w sieci nn mogą rozprzestrzeniać się w rozległych obwodach sieci napowietrznych SN. Przedstawione wyniki pokazują, że włączenie do sieci nn przekształtnika o znacznym poziomie generowanych zaburzeń może powodować 40-60 dB (100-1000-krotny) wzrost poziomu zaburzeń w stosunku do zaburzeń tła. Dla charakterystycznych częstotliwości wprowadzanych przez przekształtnik obserwuje się stłumienie zaburzeń o około 10-20 dB (3-10 razy) na długości linii. Należy zaznaczyć, że ze względu na efekty falowe (powstawanie fal stojących) wielkości te należy traktować jako orientacyjne.

Rysunek 25. Różnica zaburzeń zmierzonych pod siecią SN i zaburzeń tła: a) w odległości 20 m od stacji transformatorowej, b) w odległości 1300 m od stacji transformatorowej



Zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną będą szczególnie istotne w ISD ze względu na stosowanie wrażliwych układów elektronicznych i telekomunikacyjnych oraz charakteryzujących się znacznymi poziomami generowanych zaburzeń interfejsów energoelektronicznych. Rozwiązaniem ~~zarówno~~ problemu znacznych ~~zaburzeń poziomów~~ zaburzeń generowanych w obwodach wejściowych i wyjściowych może być zastosowanie kompensatorów napięć zaburzeń lub metod pasywnej filtracji oraz dobrej praktyki inżynierskiej, polegającej na separacji obwodów zakłócających i wrażliwych [49][50].

6. Rekomendacje w zakresie architektury ISD i jej funkcjonalności

Rekomendacje zawierają propozycję struktury organizacyjnej i funkcjonalności pozwalających na osiągnięcie celów stawianych takim systemom jak ISD w skali lokalnej (gospodarstwo Odbiorcy), jak i w szerszej skali systemowej (redukcja strat przesyłowych i obciążeń szczytowych) i krajowej (wzrost efektywności energetycznej i stopnia wykorzystania generacji lokalnej, w tym OZE). W szczególności uwzględnione zostały oczekiwania i obawy wynikające z wyników badań zamieszczonych w Raporcje Rynkowo-Społecznym.

6.1. Założenia funkcjonalne

Własność infrastruktury ISD

ISD powinien być systemem nadbudowanym nad instalacjami wbudowanymi Odbiorcy, może być jego własnością lub może być dzierżawiony od zewnętrznego podmiotu – Dostawcy Usług ISD. W modelu z dzierżawą elementów ISD, odbiorniki stanowiące elementy wykonawcze ISD są własnością Odbiorcy i w naturalny sposób są wówczas wyłączone poza obszar dzierżawy.

Zadania ISD w obszarze zarządzania energią

ISD, jako system instalowany w obszarze zarządzanym przez Odbiorcę Aktywnego, realizować ma przede wszystkim zadania związane z zarządzaniem energią (mocą), jakie umożliwiają struktury typu Smart Grid, a w szczególności:

- Redukcję kosztów energii,
- Redukcję obciążeń szczytowych,
- Wyrównywanie krzywej obciążenia dobowego,
- Zmniejszenie finalnego zużycia energii,
- Poprawę jakości energii,
- Zwiększenie udziału źródeł rozsianych.

Zadania dodatkowe

Infrastruktura komunikacyjna ISD oprócz zadań związanych z zarządzaniem energią i mocą przystosowana powinna być także do świadczenia dodatkowych (nieenergetycznych) usług na rzecz Odbiorcy Aktywnego. Funkcjonalność taka powinna uatrakcyjnić rozwiązania typu ISD oraz wpłynąć (skrócić) na czas zwrotu inwestycji. Świadczenie tych usług nie powinno jednak w żadnym stopniu zakłócić procesy zarządzania energią.

Rola Odbiorcy Aktywnego

Odbiorca Aktywny, niezależnie od modelu biznesowego realizowanego przy wdrażaniu u niego ISD, jak również niezależnie od realizowanego scenariusza sterowania, pełnić powinien zawsze rolę nadrzędną w procesie wyboru scenariusza sterowania i jego konfiguracji. Jedynym odstępstwem od tej reguły powinna być zaprogramowana w ISD reakcja na sygnały typu Emergency przekazywane przez Operatora za pośrednictwem infrastruktury Advanced Metering Infrastructure (AMI).

Beneficjenci i mierzalność efektów działania ISD

Zarządzanie energią z funkcjami wymienionymi wyżej przynosić ma korzyści zarówno Odbiorcy Aktywnemu, jak również pozostałym uczestnikom rynku energii. W tym celu każda z realizowanych funkcji energetycznych musi być mierzalna, np. jak to pokazano w Tabeli 8. Ułatwia to ocenę skuteczności działania na podstawie informacji o efekcie, jak również pozwala na ewidencjonowanie efektów w celach programowania działania ISD oraz rozliczania usług pomiędzy podmiotami w procesie zarządzania ISD.

Tabela 8. Miara efektów działania ISD

Funkcja/usługa	Miara efektu	Adresat usługi / informacji o efekcie	Miejsce przekazywania informacji o efekcie
Redukcja kosztów	<ul style="list-style-type: none"> • PLN 	Odbiorca Aktywny	<ul style="list-style-type: none"> • Wyświetlacz ISD • Platforma internetowa
Redukcja zużycia energii	<ul style="list-style-type: none"> • kWh 	Odbiorca Aktywny	<ul style="list-style-type: none"> • Wyświetlacz ISD • Platforma internetowa
Redukcja obciążeń szczytowych	<ul style="list-style-type: none"> • kW 	OSD	<ul style="list-style-type: none"> • Wyświetlacz ISD • Platforma internetowa • Licznik AMI
Wyrównanie krzywej obciążenia dobowego	<ul style="list-style-type: none"> • kW • kWh 	OSD	<ul style="list-style-type: none"> • Licznik AMI
Poprawa jakości energii	<ul style="list-style-type: none"> • kVar • kVar 	OSD	<ul style="list-style-type: none"> • Licznik AMI
Sterowanie komfortem	<ul style="list-style-type: none"> • °C • Lx 	Odbiorca Aktywny	<ul style="list-style-type: none"> • Wyświetlacz ISD • Platforma internetowa

Efekt mierzalny działania ISD w ramach konkretnej usługi powinien być ewidencjonowany w Lokalnym Systemie Zarządzania Energią, będącym integralną częścią ISD lub przesyłany za pomocą infrastruktury AMI do podmiotu zlecającego usługę (przesyłanie informacji ewidencyjnej w zakresie usług zewnętrznych może się także odbywać kanałem alternatywnym do AMI, np. poprzez Internet). Zmierzony efekt, w zależności od adresata usługi (Tabela 8), powinien być także na żądanie przedstawiony na jednym z urządzeń wyświetlających.

Usługi systemowe (zewnętrzne)

Usługi systemowe na rzecz Operatorów są usługami zewnętrznymi dla ISD jako systemu działającego w ramach gospodarstwa Odbiorcy Aktywnego. Zgłaszane powinny być przez nich sygnałami typu Demand Side Response (DSR) lub Power Quality (PQ) poprzez infrastrukturę AMI i powinny być realizowane wyłącznie za zgodą Odbiorcy Aktywnego (poza sytuacjami katastrofalnymi zgłoszonymi sygnałami w trybie Emergency). Muszą mu ponadto przynosić wymierne korzyści finansowe. Świadczenie usług zewnętrznych typu DSR z wykorzystaniem elementów instalacji Odbiorcy Aktywnego polegać może na wymuszonym (za zgodą Odbiorcy Aktywnego i wg ustalonych przez niego kryteriów) czasowym ograniczeniu dyspozycyjnej mocy czynnej w okresach szczytowego obciążenia Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) lub w określonych przypadkach na czasowym zwiększeniu mocy czynnej w „dolinie” obciążenia dobowego. Zgoda na redukcję mocy dyspozycyjnej w przyłączy niekoniecznie oznaczać musi dla Odbiorcy Aktywnego utratę

komfortu użytkownika urządzeń przez zmniejszenie mocy, z jaką obciążają one instalację i w rezultacie np. KSE. Odbiorcy dysponujący własnymi źródłami energii lub mediów zgłoszoną redukcję mocy w przyłączy pokryć mogą za pomocą zwiększenia udziału tych źródeł w wewnętrznym bilansie mocy (energii) lub mediów. Zauważyć należy, że zakres usług typu DSR nie jest ograniczony wyłącznie do systemu elektroenergetycznego, ale świadczony może być poprzez ISD na rzecz Operatorów innych systemów, np. gazowego lub wodociągowego, w których także wystąpić mogą sytuacje uniemożliwiające dotrzymanie parametrów jakościowych (np. ciśnienie). W przypadku Operatorów innych niż elektroenergetyczny, funkcjonowanie systemu usług zewnętrznych z wykorzystaniem ISD utrudnione może być w chwili obecnej z powodu braku spójnej polityki w zakresie wykorzystania AMI. Należy zatem przewidzieć możliwość ich zgłaszania i rozliczeń za pomocą kanału alternatywnego, jakim jest np. Internet. Większość nowoczesnych rozwiązań integrujących nowe elementy w instalacjach elektrycznych – tj. terminale ładowania pojazdów elektrycznych (EVSE) czy generacja własna Odbiorcy Aktywnego oparta na źródłach odnawialnych (RES) – wykorzystuje dwukierunkowe energoelektroniczne układy przekształtnikowe. Ich podstawową funkcją jest wymiana energii pomiędzy integrowanymi elementami, jednak konstrukcja i sposób działania w większości przypadków predysponuje je do działania także w zakresie kondycjonowania energii, a w szczególności generacji lub kompensacji mocy biernej (usługi PQ). Wykorzystanie możliwości, jakie dają tego typu układy przynieść może (i powinno) korzyści ich właścicielowi – Odbiorcy Aktywnemu w postaci możliwości kompensacji mocy biernej i uniknięcia opłat z nią związanych lub świadczenia za ich pomocą usług generacji mocy biernej o różnym charakterze. Z punktu widzenia Operatora układy takie ze względu na znaczne rozproszenie w systemie oraz możliwość ich koordynacji za pomocą ISD i AMI stanowią alternatywę dla układów stacyjnych, które nie zawsze docierają swoim oddziaływaniem w miejsca, gdzie jest ono wymagane.

Dostęp do elementów ISD

ISD ze względu na możliwość wywierania bezpośredniego wpływu na urządzenia Odbiorcy Aktywnego, jak również generację i ewidencję danych o zachowaniu Odbiorców musi zawierać układy i algorytmy filtrujące dostęp do tych danych.

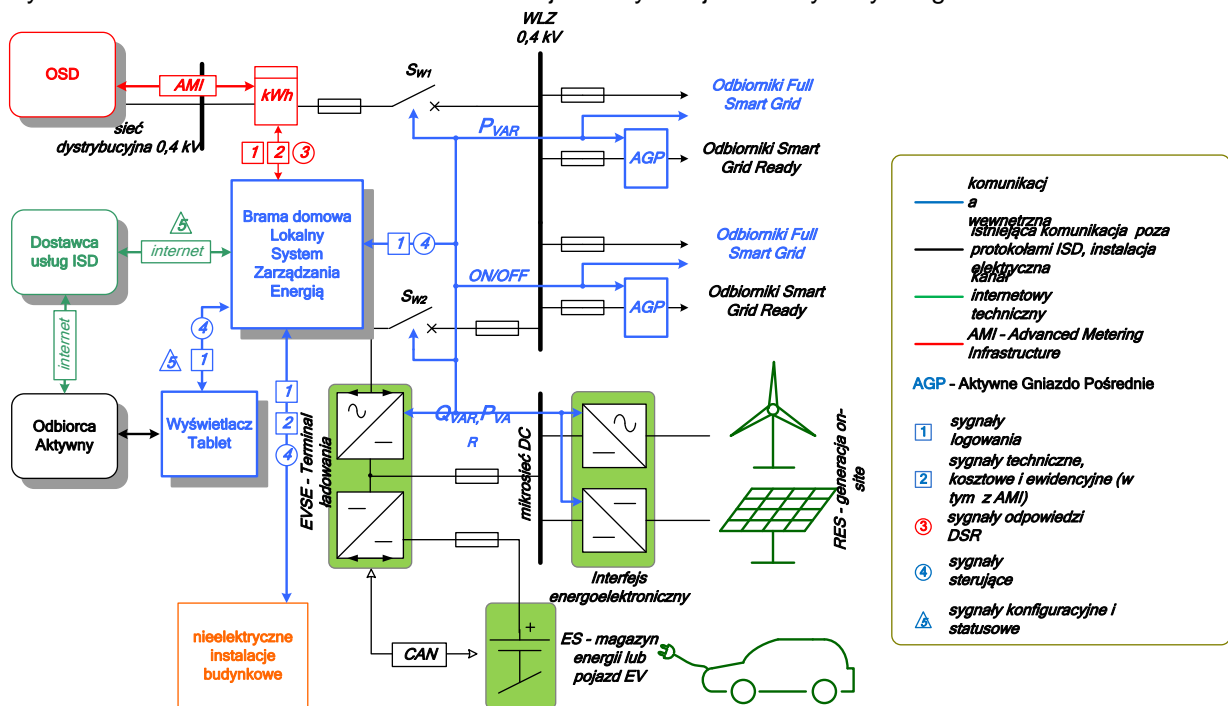
6.2. Miejsce ISD w gospodarstwie Odbiorcy Aktywnego

ISD jest systemem opartym w znacznej mierze na układach teleinformatycznych, które nie wymagają stałej zabudowy. Stanowić może zatem doskonałe uzupełnienie instalacji wbudowanych (elektrycznych, EIB/BMS, HVAC, CO, CWU, CHP, EVSE, RES, ES), bez konieczności ich przebudowy i ponoszenia towarzyszących temu kosztów.

ISD dzięki swojej funkcjonalności powinna być w stanie integrować wszystkie wspomniane systemy w ramach jednego Lokalnego Systemu Zarządzania Energią, przynosząc Odbiorcy Aktywnemu korzyści wynikające z optymalizacji zużycia energii i związanych z tym kosztów.

W przedstawionym na Rysunku 26 sposobie integracji ISD z instalacją elektryczną Odbiorcy Aktywnego zauważyć można brak konieczności ingerencji w istniejącą instalację podczas wdrażania ISD (poza instalację Aktywnego Gniazda Pośredniego – AGP pomiędzy odbiornikami typu Smart Grid Ready i standardowym gniazdem instalacyjnym). Wzajemna koordynacja pracy odbiorników przyłączonych do tej instalacji oraz sterowanie ich charakterystyką pracy w jeden z dwóch sposobów, tj. redukcję mocy (regulacja PVAR lub QVAR) lub czasowe przesunięcie ich pracy (sterowanie ON/OFF) umożliwi obniżenie mocy umownej, co bezpośrednio wiązać się może w przyszłości z redukcją opłat stałych związanych z mocą umowną (jeżeli takie zostaną wprowadzone), ale także w przypadku awarii sieci dystrybucyjnej pozwala na efektywniejsze zarządzanie energią z magazynów lub źródeł energii należących do Odbiorcy podczas realizacji zasilania awaryjnego. Nowe elementy instalacji elektrycznych w postaci odbiorników z zaawansowanymi funkcjami sterowania typu Full Smart Grid, generacji własnej Odbiorcy (RES) oraz infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych (EVSE) niejednokrotnie wymagają elementów zarządzania ich pracą oraz komunikacji z użytkownikiem. ISD powinien być w stanie zapewnić taką komunikację nie tylko w ramach gospodarstwa domowego Odbiorcy podczas jego obecności, ale także możliwość zdalnego nadzoru przez jeden z kanałów zewnętrznych (np. Internet jak na Rysunku 26). Dodatkowo kanał taki umożliwia zlecenie zarządzania energią i mediami podmiotowi zewnętrznemu, np. Dostawcy Usług ISD na podstawie umowy dwustronnej. Przedstawione na Rysunku 26 umiejscowienie ISD względem instalacji Odbiorcy Aktywnego pozwala nie tylko na skoordynowane sterowanie pracą urządzeń, ale także pozyskiwanie i transmisję danych pomiarowych i ewidencyjnych z wielu instalacji za pomocą jednego kanału komunikacji zewnętrznej, tzn. AMI lub alternatywnie Internet. Agregacja tak pozyskanych danych pomiarowych pozwolić może na efektywniejsze zarządzanie pracą systemów scentralizowanych i osiągnięcie nadrzędnych celów indykatorywnych, np. pakietu 3x20.

Rysunek 26. Infrastruktura ISD na tle instalacji elektrycznej Odbiorcy Aktywnego



Integracja ISD z instalacjami energetycznymi i mediów

Instalacje budynkowe w chwili obecnej odpowiedzialne są w przeważającym stopniu za zużycie energii w gospodarstwie Odbiorcy końcowego. Największy udział w kosztach „energetycznych” w warunkach klimatycznych występujących na terenie Polski mają instalacje do ogrzewania pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej. Energia elektryczna stanowi zaledwie kilka do kilkunastu procent energii zużywanej w budynkach. Jednocześnie energia elektryczna ze względu na sposób jej wytwarzania w KSE obciążona jest najwyższym współczynnikiem nakładu energii pierwotnej oraz charakteryzuje się dużo wyższym kosztem jednostkowym w stosunku do systemowej energii cieplnej lub gazu. Istotnym elementem w kosztach gospodarstwa Odbiorcy końcowego jest woda oraz produkt jej wykorzystania w postaci ścieków. Odbiorca końcowy w Polsce postawiony jest często w sytuacji ograniczonej możliwości reakcji na zmianę kosztów energii i mediów ze względu na długie interwały odczytowe dostawców mediów i energii. Z tego względu objęcie takich instalacji działaniem ISD pozwolić może Odbiorcy na kontrolowanie kosztów ich eksploatacji, jak również przyczynić się może do uzyskania efektów szerszych systemowych, tj. wspomniane w punkcie poprzednim cele pakietu 3x20. Oczekiwane skutki współdziałania ISD z instalacjami Odbiorcy Aktywnego zestawione zostały w Tabeli 9, w której wskazano także sposób osiągnięcia zamierzonego efektu w zależności od rodzaju instalacji lub elementu objętego koordynacją ISD.

Tabela 9. Współpraca ISD z instalacjami Odbiorcy Aktywnego

Typ instalacji	Funkcja instalacji	Możliwości regulacyjne	Efekt lokalny	Efekt systemowy
EE elektroenergetyczna	Zasilanie przetworników energii elektrycznej na inne użyteczne formy energii	Zmiana mocy przetworników Czasowe przesunięcie pracy	Redukcja kosztów energii	Redukcja zużycia finalnego Redukcja obciążeń szczytowych
CO centralnego ogrzewania	Wytwarzanie energii cieplnej z energii chemicznej lub elektrycznej, zasilanie lokalnych wymienników ciepła	Obniżenie temperatury zadanej otoczenia	Redukcja kosztów energii	Redukcja zużycia finalnego
CWU Ciepłej wody użytkowej	Wytwarzanie energii cieplnej do ogrzania ciepłej wody użytkowej z energii chemicznej lub elektrycznej	Obniżenie temperatury wody użytkowej	Redukcja kosztów energii	Redukcja zużycia finalnego
HVAC Wentylacyjna grzewczo-chłodząca	Wytwarzanie strumienia powietrza o wymaganym przepływie i temperaturze	Obniżenie/podwyższenie temperatury otoczenia (zima/lato)	Redukcja kosztów energii	Redukcja zużycia finalnego
CHP źródło kogeneracyjne	Wytwarzanie energii cieplnej na potrzeby CO i CWU w skojarzeniu z wytwarzaniem energii elektrycznej	Optymalna regulacja mocy generowanej (maksymalna efektywność)	Redukcja kosztów energii	Redukcja zużycia finalnego Wzrost efektywności SEE

RES źródło energii odnawialnej	Wytwarzanie energii elektrycznej lub ciepłej z wykorzystaniem lokalnych zasobów energetycznych otoczenia	Regulacja typu MPPT lub redukcja mocy generowanej	Redukcja kosztów energii	Zwiększenie udziału OZE Wzrost efektywności SEE
ES magazyn energii	Magazynowanie energii elektrycznej lub ciepłej	Czasowa regulacja ładowanie/rozładowanie	Redukcja kosztów energii	Redukcja obciążeń szczytowych Wzrost efektywności SEE
EVSE (V2G i V2H) dwukierunkowy system ładowania pojazdów elektrycznych	Wymiana energii elektrycznej pomiędzy zasobnikami pojazdów elektrycznych i instalacją EE	Czasowa przesunięcie pracy w trybie ładowanie Czasowa regulacja ładowanie/rozładowanie Regulacja i kompensacja mocy nieaktywnej	Redukcja kosztów energii	Redukcja obciążeń szczytowych
EIB/BMS systemy automatyki budynkowej	Regulacja parametrów środowiskowych w budynkach	Regulacja mocy systemów wewnętrznych Redukcja strat energii	Redukcja kosztów energii	Redukcja zużycia finalnego

Z przeprowadzonych badań (patrz Raport Rynekowo-Społeczny) wynika, że faktura wystawiona przez dystrybutora jest dla Odbiorcy końcowego podstawowym źródłem wiedzy o wielkości i strukturze zużycia mediów i energii. Do sytuacji takiej przyczynia się utrudniony w wielu przypadkach dostęp do układów pomiarowych, zwłaszcza energii elektrycznej i powoduje, że Odbiorca nie jest w stanie aktywnie reagować na czasową zmianę kosztów energii i mediów oraz wykorzystywać możliwości jakie niosą taryfy wielostrefowe.

ISD powinna zatem dać możliwość pozyskania informacji pomiarowej ze wszystkich liczników funkcjonujących w ramach gospodarstwa Odbiorcy Aktywnego, umożliwić nie tylko ich akwizycję, ale także podgląd, rejestrację i analizę. Analiza danych powinna dodatkowo umożliwić podejmowanie przez Odbiorcę Aktywnego świadomych decyzji wg założonych kryteriów (np. minimalne koszty lub maksymalny komfort). Decyzje te w formie sygnałów sterujących trafić powinny do elementów wykonawczych nadzorowanych instalacji.

ISD powinna być systemem, który za pomocą infrastruktury teleinformatycznej jest w stanie dostarczyć Odbiorcy informacje o aktualnym obciążeniu i profilu zużycia energii i mediów niemal online.

ISD powinna dać możliwość integracji w jednym systemie akwizycyjnym i decyzyjnym funkcji związanych z racjonalnym zarządzaniem energią i mediami na potrzeby redukcji kosztów, jak również komercyjną realizację funkcji związanych z modyfikacją profilu obciążenia w odpowiedzi na zapotrzebowanie zgłaszane przez operatorów systemów energetycznych za pośrednictwem struktury AMI.

Informacja o zapotrzebowaniu na usługi systemowe, jak również informacja o zmianie strefy taryfowej przekazywana przez operatorów do licznika AMI, nie jest wystarczająca do pełnej oceny opłacalności podejmowania usług systemowych, jak również do oceny kosztowej efektów działania ISD w zakresie redukcji zużycia energii. Dlatego niezbędne jest uzyskanie informacji o taryfach oraz archiwalnych danych o kosztach ponoszonych przez Odbiorcę z tytułu zakupu energii i mediów za pomocą dodatkowego kanału komunikacyjnego, np. za

pośrednictwem internetowej strony z indywidualnym kontem Odbiorcy Aktywnego umieszczonej na serwerze operatorów.

ISD oddziałując na instalacje energetyczne i mediów za pomocą elementów telemechaniki współpracujących z układami regulacyjnymi lub bezpośrednio z przetwornikami energii, powinna zmieniać (modyfikować) ich charakterystykę pracy (w zakresie wynikającym z bezpiecznego użytkowania urządzenia).

ISD powinna mieć także możliwość integracji istniejących rozproszonych (autonomicznych) systemów automatyki budynkowej w celu nadania im własnych, nadanych przez Odbiorcę Aktywnego priorytetów działania. W sytuacji takiej generowanie sygnałów sterujących urządzeniami objętymi konkretnym systemem autonomicznym pozostawia się jednostce sterującej tego systemu. Priorytety działania tej jednostki centralnej nadaje natomiast ISD.

Rola ISD w procesach zarządzania energią

W instalacjach Odbiorcy Aktywnego ISD pełnić powinna zawsze rolę nadrzędną w procesie zarządzania energią. Wyznaczać powinna priorytety załączania urządzeń lub stopień redukcji ich mocy wg ustalonych limitów mocy, kosztów lub komfortu odpowiednio do scenariusza działania.

ISD w procesach zarządzania energią realizuje następujące funkcje:

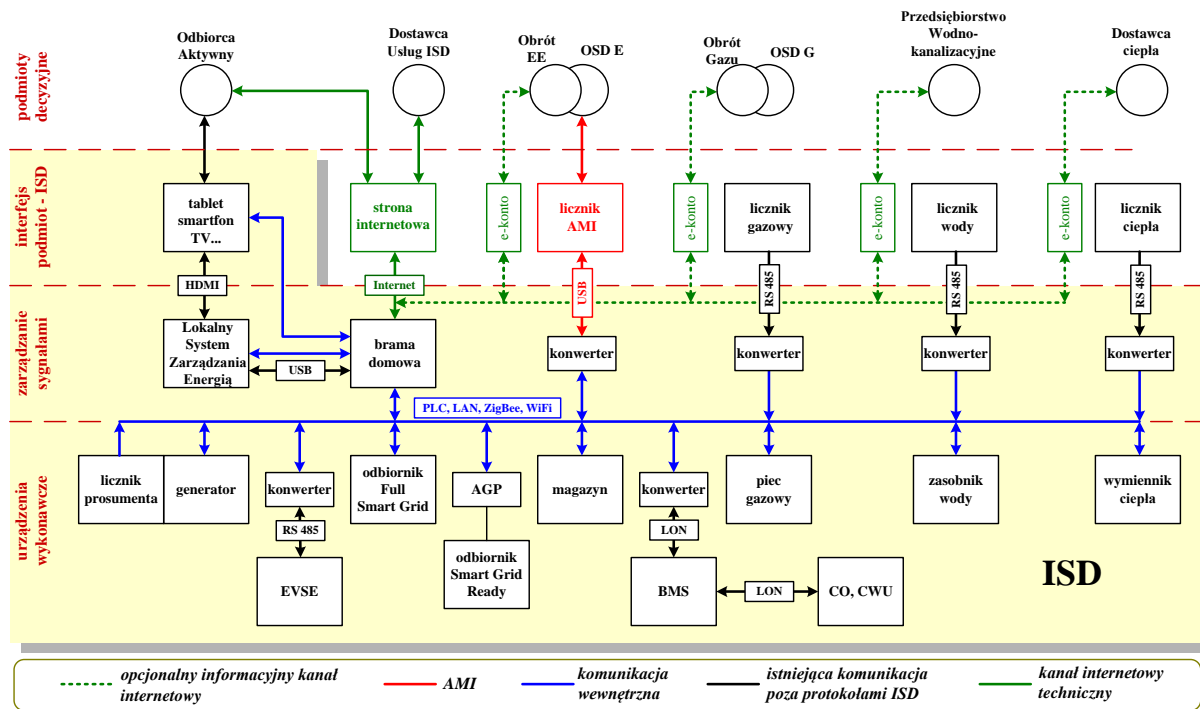
- Pozyskuje i archiwizuje dane pomiarowe z instalacji mediów i instalacji energetycznych,
- Umożliwia analizę i wizualizację danych o zużyciu i kosztach mediów i energii,
- Bezpośrednio lub pośrednio (w systemach autonomicznych) steruje charakterystyką pracy urządzeń objętych ISD wg wybranej i zdefiniowanej strategii,
- Integruje Lokalny System Zarządzania Energią z infrastrukturą AMI w ramach sieci Smart Grid.

6.3. Struktura organizacyjna ISD

W strukturze organizacyjnej ISD wydzielić można cztery warstwy:

- Podmiotów decyzyjnych,
- Interfejsów ISD – podmiot,
- Układów zarządzania sygnałami,
- Urządzeń wykonawczych.

Rysunek 27. Struktura organizacyjna ISD



Podmioty decyzyjne

Odbiorca Aktywny

Najważniejszym podmiotem decyzyjnym w konfigurowaniu pracy ISD powinien być Odbiorca Aktywny, gdyż to kosztem ograniczania jego komfortu realizowane są zadania w zakresie redukcji zużycia energii i mediów czy ograniczenia mocy. Jednocześnie pozostawać on powinien głównym beneficjentem efektów działania ISD.

Dostawca Usług ISD

Odbiorca Aktywny zainteresowany jest głównie korzyściami wynikającymi z pracy ISD. Nie zawsze świadomość w dziedzinie energochłonności procesów energetycznych potencjalnego użytkownika ISD będzie wystarczająca do samodzielnej konfiguracji pracy ISD, dlatego niezbędne jest umożliwienie dostępu do konfiguracji ISD wyspecjalizowanym podmiotom – Dostawcom Usług ISD. Podmiot taki może być dostawcą infrastruktury ISD oraz na zlecenie Odbiorcy Aktywnego dokonać może pierwszej konfiguracji ISD wg określonych przez użytkownika kryteriów. Może także świadczyć na jego korzyść usługi ciągłe i doraźne w zakresie zarządzania energią polegające na doradztwie lub zdalnej konfiguracji pracy ISD.

OSD i inni Operatorzy

OSD, odpowiedzialny za dystrybucję energii elektrycznej do gospodarstwa Odbiorcy Aktywnego, dbać także musi o ciągłość i efektywność pracy sieci dystrybucyjnej. W warunkach deficytu mocy, możliwych znacznych różnic bilansowych i rosnących wymagań dotyczących efektywności w sektorze energii OSD poprzez sygnały wysyłane przez infrastrukturę AMI do licznika inteligentnego kreować może zachowania Odbiorcy Aktywnego

w zakresie modyfikacji profilu mocy, jak również wielkości zużycia energii. Operatorzy wpływać mogą na pracę ISD sygnałami przekazywanymi w trybie normalnym lub w trybie Emergency. W pierwszym przypadku zostaną one zinterpretowane przez ISD jako zapotrzebowanie na usługi sieciowe i nie mają klauzuli wykonalności, w drugim natomiast zignorowanie sygnału doprowadzić może do odłączenia Odbiorcy za pośrednictwem Strażnika Mocy, będącego elementem wykonawczym licznika AMI. Podobną rolę – po zintegrowaniu swoich systemów informatycznych z AMI lub wykreowaniu własnych struktur komunikacji z Odbiorcą – spełniać mogą Operatorzy mediów energetycznych i nieenergetycznych.

Interfejsy ISD – podmiot

Interfejs ISD ↔ Odbiorca Aktywny

Komunikacja Odbiorcy Aktywnego (użytkownika) z ISD odbywać się musi dwukierunkowo, tzn. ISD dostarczać powinna Odbiorcy informacje pozwalające na podejmowanie przez niego świadomych decyzji w zakresie regulacji zużycia mediów i energii lub ograniczania mocy urządzeń. Informacja taka przekazywana powinna być w formie wizualnej lub dźwiękowej. Reakcja Odbiorcy na te sygnały w postaci zmiany konfiguracji ISD wymaga urządzenia pozwalającego na wprowadzanie danych (wyborów). Urządzeniami zapewniającymi dwukierunkową komunikację typu Human Machine Interface (HMI) pomiędzy Odbiorcą i ISD są np. urządzenia TV wyposażone w interfejs LAN, DLNA, WIFI, komputery (stacjonarne i przenośne), smartfony lub dedykowane tablety. Informacje dostępne za pomocą ww. urządzeń Odbiorcy swoim zakresem powinny/mogą obejmować menu:

- Ceny: w którym Odbiorca pozyska m.in. informacje na temat aktualnej ceny energii elektrycznej, wartości historycznych (rachunki za energię elektryczną za ostatni dzień, miesiąc, aktualne), statusu sygnałów AMI – dane powinny być dostępne w postaci wykresów, histogramów bądź tabelarycznej,
- Zużycie energii: w którym Odbiorca pozyska m.in. informacje na temat chwilowego oraz historycznego (za ostatni dzień, miesiąc, aktualne) zużycia energii z możliwością rozbicia na poszczególne urządzenia/obwody (jeśli ISD, zastosowane urządzenia oraz instalacja Odbiorcy to umożliwiają) – dane powinny być dostępne w postaci wykresów, histogramów bądź tabelarycznej,
- Urządzenia: w którym Odbiorca będzie miał dostęp do informacji na temat parametrów/statusu odbiorników aktualnie podłączonych do ISD, gdzie będzie miał możliwość zmiany trybów pracy (ręczny/automatyczny),
- Ustawienia: w którym Odbiorca będzie miał możliwość konfiguracji ISD – definicji poszczególnych scenariuszy, progów przechodzenia pomiędzy scenariuszami itp.,
- CO₂: w którym Odbiorca pozyska informacje na temat aktualnej emisji CO₂ wynikającej z mocy podłączonych odbiorników oraz struktury konsumowanej energii (sieć energetyczna + źródła generacji własnej), zaoszczędzonego CO₂ tytułem generacji własnej,

- Pomoc: w którym Odbiorca będzie mógł pozyskać informacje na temat procedury konfiguracji ISD, definiować domyślne ekrany z najważniejszymi dla Odbiorcy informacjami.

Dodatkowo w zależności od stopnia zaawansowania i złożoności ISD, urządzenia komunikacyjne Odbiorcy powinny umożliwiać dostęp do informacji o innych mediach, takich jak: gaz, woda, ciepło, komfort.

Interfejs ISD ↔ OSD

Układem komunikującym Operatora Systemu Dystrybucyjnego z ISD jest umieszczony na granicy jurysdykcji licznik AMI. Licznik ten wyposażony w układy pomiarowe oraz archiwizacyjne stanowić powinien źródło informacji pomiarowej o aktualnym zużyciu i mocy obciążenia pozwalających na ciągłą regulację profilu wypadkowego Odbiorcy wg założonej krzywej mocy lub kosztowej. Dodatkowo w kierunku ISD przesyłane są z licznika AMI sygnały o zapotrzebowaniu na usługi systemowe i sygnałów ograniczenia mocy w trybie Emergency. W kierunku przeciwnym, tzn. od ISD do licznika AMI, transmitowana powinna być deklarowana redukcja mocy będąca odpowiedzią na zgłoszone przez Operatora zapotrzebowanie na usługi systemowe. Pozwolić to może na ocenę potencjału regulacyjnego na zarządzanym przez Operatora obszarze, jak również skonfrontować wypełnienie przez ISD zadeklarowanej redukcji mocy z faktyczną mocą zmierzoną w module pomiarowym licznika. W chwili obecnej niezauważalna jest aktywność innych Operatorów w kierunku integracji z AMI lub budowy specjalizowanej infrastruktury komunikacji z Odbiorcą, co nie oznacza, że nie jest ona możliwa w przyszłości, dlatego przy projektowaniu ISD należy przewidzieć taką możliwość.

Interfejs ISD ↔ Dostawca Usług ISD

Dostawca Usług ISD, jako podmiot działający na zlecenie Odbiorcy Aktywnego, posiadać musi dostęp do ISD. Dostawca Usług ISD powinien mieć możliwość zdalnej konfiguracji ISD, np. za pośrednictwem kanału internetowego, gdyż w warunkach zmiennych wymagań Odbiorcy trudno sobie wyobrazić poza sytuacją instalacji (uruchomienia) i pierwszej konfiguracji ciągłe wizyty techników zmieniających konfigurację ISD. Platforma internetowa umieszczona na serwerze Dostawcy Usług odzwierciedlająca stan aktualny ISD (konfiguracja, pomiary, sygnały z AMI) stwarza taką możliwość, pozwalając jednocześnie na zdalny nadzór Odbiorcy w przypadku konieczności zarządzania z odległego miejsca.

Układy zarządzania sygnałami

ISD jest systemem, który powinien integrować w jednym układzie decyzyjnym funkcje zarządzania pracą urządzeń wchodzących w skład wielu instalacji. Musi zatem zapewnić akwizycję informacji pomiarowej z urządzeń o często różnych protokołach komunikacyjnych, jej interpretację i archiwizację oraz wygenerować sygnały sterujące pracą urządzeń wg zdefiniowanych algorytmów.

Brama domowa (gateway)

Podstawowym zadaniem bramy domowej jest zapewnienie wielokanałowej komunikacji pomiędzy elementami ISD oraz pomiędzy ISD i światem zewnętrznym. Pełni w tym zakresie rolę koncentratora i rozdzielacza sygnałów. Dodatkowo zabezpiecza ISD przed nieautoryzowanym dostępem z zewnątrz, jak również ogranicza zakres zarządzania do urządzeń zarejestrowanych w ramach konkretnej ISD. Brama domowa nie różni się w tym względzie od funkcjonujących w sieciach komputerowych np. routerów WIFI. Ze względu jednak na konieczność integracji urządzeń o różnych protokołach powinna zapewniać w miarę możliwości obsługę wielu protokołów komunikacyjnych dostępnych w ramach układów automatyki budynkowej czy rozwiązań typu Home Area Network (HAN).

Lokalny System Zarządzania Energią (LSZE)

Lokalny System Zarządzania Energią (i mediami) pełni rolę interpretera sygnałów zawierających dane pomiarowe i komendy. Przetwarza dane i dokonuje ich analizy, a następnie, biorąc pod uwagę zaprogramowany przez konfiguratora algorytm sterowania oraz w niektórych przypadkach dane archiwalne, modyfikuje charakterystykę konkretnych urządzeń wykonawczych za pomocą generacji sygnałów sterujących. LSZE składać się powinien z centralnej jednostki arytmetyczno-logicznej oraz pamięci przechowującej zdefiniowany algorytm oraz dane archiwalne. Moc obliczeniowa oraz wielkość pamięci powinna być dostosowana do rozległości konkretnej ISD i zaawansowania funkcji sterujących.

Lokalny System Zarządzania Energią powinien zdjąć z Odbiorcy konieczność ciągłej interpretacji danych i podejmowania decyzji na rzecz pewnych zaprogramowanych działań automatycznych i reakcji na zmiany sygnałów cenowych i technicznych wg zaprogramowanych progów wrażliwości.

LSZE, jako element sprzętowy, zlokalizowany powinien być na stałe wewnątrz gospodarstwa Odbiorcy Aktywnego. Może być zarówno urządzeniem autonomicznym, jak i częścią bramy domowej lub tabletu dedykowanego.

Konwertery sygnałów (modemy)

Większość produkowanych obecnie urządzeń elektrycznych wyposażonych w jednostki sterujące posiada interfejs komunikacyjny. Niestety, ze względu na ich różny poziom technologiczny, a co za tym idzie mnogość stosowanych protokołów, ich integracja w jednym systemie komunikacyjnym z ograniczonym dostępem byłaby niemożliwa. W sytuacjach takich stosować można konwertery sygnałów posiadające wejścia kompatybilne zarówno z przyłączanym urządzeniem, jak i jednym z protokołów stosowanych w ISD. Dodatkową zaletą konwerterów jest możliwość nadawania unikalnych adresów w ramach ISD integrowanym urządzeniom nieposiadającym fabrycznie wbudowanej takiej możliwości.

Urządzenia wykonawcze

Urządzenia wykonawcze są elementami realizującymi w sposób fizyczny zadania zdefiniowane w Lokalnym Systemie Zarządzania Energią. Na podstawie ustalonej hierarchii zasilania oraz stopnia ograniczenia mocy odpowiedzialne są za kształtowanie profilu obciążenia oraz zużycia energii i mediów. Do elementów wykonawczych ISD zaliczyć można zarówno urządzenia elektryczne (odbiorniki, generatory, przekształtniki, akumulatory), jak i zawory i zawory instalacji mediów czy termostaty systemów CO, CWU i HVAC.

Urządzenia wykonawcze ze względu na kompatybilność z rozwiązaniami typu Smart Grid podzielić można na dwie podstawowe grupy:

- „Smart Grid Ready”,
- „Full Smart Grid”.

Urządzenia „Smart Grid Ready”

Są to urządzenia, które z racji swojej konstrukcji i funkcjonalności umożliwiają regulację ich mocy lub czasową regulację charakterystyki działania typu włącz/wyłącz bez degradacji ich żywotności i znacznej utraty funkcjonalności, ale nie posiadają interfejsu komunikacyjnego kompatybilnego z jednym z protokołów ISD. Urządzenia tego typu przyłączane są do ISD za pośrednictwem urządzeń pośrednich:

- Konwerterów sygnałów w przypadku urządzeń lub systemów autonomicznych, tj. EIB/BMS, EVSE, RES posiadających inny protokół komunikacyjny lub wejście sterujące,
- Aktywnych Gniazd Pośrednich (AGP) w przypadku urządzeń nieposiadających wejść komunikacyjnych i sterujących.

Urządzenia „Full Smart Grid”

Grupę tą stanowią urządzenia fabrycznie wyposażone np. w jeden z grupy najszybciej rozwijających się protokołów komunikacyjnych, tj. LAN, WIFI, ZigBee, HomePlug, ZWave, pozwalających na realizację dwukierunkowej, kodowanej transmisji danych z możliwością unikalnego adresowania urządzeń np. typu IPv4 i IPv6. Urządzenia te posiadać muszą oczywiście możliwość regulacji charakterystyki pracy w zakresie nadanym przez producenta. Zestaw parametrów definiujących charakterystykę pracy oraz zakres regulacyjny powinien być transmitowany przez urządzenia do Lokalnego Systemu Zarządzania Energią za pośrednictwem bramy domowej.

Urządzenia „inteligentne” energetycznie (Smart Appliances) są obecnie na etapie nie tylko opracowywania, ale i powszechnego wdrażania. Podstawą ich upowszechnienia jest wskazanie potencjalnym użytkownikom korzyści materialnych wynikających z ich wyboru i stosowania w gospodarstwie domowym. Osiągnięcie przez takie urządzenia zakładanego poziomu zaawansowania technologicznego predysponującego je do pracy w ramach sieci

inteligentnych typu Smart Grid, a potwierdzonego nadaniem im miana „Full Smart Grid”, wymaga uwzględnienia w ich konstrukcji oraz uaktywnienia układów takich jak:

- Jednostka centralna umożliwiająca wykonywanie prostych kalkulacji, sterowanie adaptacyjne w zależności od dostarczonych z zewnątrz sygnałów (technicznych i kosztowych),
- Moduł komunikacji z użytkownikiem (wyświetlacz i programator) umożliwiający wyświetlanie nie tylko informacji na temat cyklu pracy oraz jego programowanie, ale także danych na temat przewidywanego zużycia energii i mediów w programowanym cyklu pracy (kosztu zdefiniowanego pojedynczego cyklu), alarmów związanych nie tylko ze stanem urządzenia, ale także zewnętrznych pochodzących np. z ISD a informujących o możliwości realizacji zaprogramowanego cyklu pracy ze względu na ograniczenia zewnętrzne nałożone przez Lokalny System Zarządzania Energią,
- Moduł pamięciowy pozwalający na przechowywanie predefiniowanych cykli pracy, danych kosztowych (strefy taryfowe), alarmów,
- Aktywny moduł komunikacji zewnętrznej (nie serwisowy) pozwalający na dostarczanie do urządzenia interpretowalnych sygnałów o konieczności modyfikacji charakterystyki pracy urządzenia oraz pozwalający na transmisję sygnałów identyfikacyjnych urządzenia (elektroniczna tabliczka znamionowa),
- Rozdzielone (wewnątrz urządzenia) tory zasilania dla układów wykonawczych urządzenia i układów komunikacyjno-sterujących.

Odbiorniki

Wśród odbiorników znaczących dla funkcjonowania KSE ze względu na ich rozpowszechnienie w gospodarstwach domowych Odbiorców wyróżnić można, ze względu na charakterystykę pracy, dwie podstawowe grupy:

- Odbiorniki o niskiej mocy szczytowej i długim czasie pracy w ciągu doby (chłodziarki, wentylatory, pompy obiegowe itp.),
- Odbiorniki o wysokim poziomie mocy szczytowej i sporadycznym obciążeniu KSE (czajniki elektryczne, odkurzacze, pralki, zmywarki, piece akumulacyjne itp.).

Odbiorniki należące do każdej z grup oprócz wspólnego wpływu na KSE w postaci obciążenia mocą czynną i zużycia energii, wywierają także inny (zupełnie różny) wpływ na system elektroenergetyczny. Odbiorniki grupy pierwszej są odbiornikami pozytywnie wpływającymi na stabilność pracy systemu z powodu względnej stałości obciążenia (występują nieznaczne zmiany spowodowane zmianami warunków np. atmosferycznych) i ich przewidywalności, z powodu znacznych czasów pracy zużywać mogą niestety spore ilości energii, stanowiąc w dłuższej perspektywie także znaczne obciążenie budżetów domowych Odbiorców. W ich przypadku ISD powinna sterować ich pracą poprzez zmianę zadanych parametrów regulacyjnych (np. temperatura – obniżenie temperatury zadanej systemów grzewczych w okresie zimowym o 1°C może pozwolić na oszczędność nawet do

6% energii pierwotnej) w celu osiągnięcia efektu lokalnego – redukcji kosztów o celu globalnego – oszczędności energii pierwotnej.

Odbiorniki grupy drugiej mają nieco inny, dodatkowy wpływ na KSE, który spowodowany jest ich czasowo-mocową charakterystyką pracy. Objawia się on w postaci generacji znacznych chwilowych obciążeń, które po agregacji w sieciach rozdzielczych i przesyłowych generują szczyty obciążeń dobowych KSE. W przypadku takich urządzeń, koordynacji podlegać powinno ich jednoczesne załączanie do sieci elektroenergetycznej poprzez czasowe przesunięcie ich pracy od kilku minut dla urządzeń mocno związanych z trybem życia Odbiorcy, których wykorzystywane są do przygotowywania posiłków lub utrzymania higieny (czajnik elektryczny, piekarnik elektryczny, suszarka do włosów, odkurzacz, żelazko) do kilku godzin dla urządzeń niewymagających ciągłego nadzoru i posiadających możliwość wykonywania zaprogramowanych cykli pracy (pralka, suszarka, zmywarka). W ich przypadku odpowiednie sterowanie przynieść może korzyść Odbiorcy w postaci redukcji kosztów energii dzięki pracy w tańszych strefach taryfowych, ale także korzyść systemową w postaci redukcji obciążeń szczytowych, tzw. peak load shaving oraz spłaszczenia krzywej obciążenia dobowego, co bezpośrednio przyczynia się do redukcji strat technicznych – przesyłowych, jak również ekonomicznych – bilansowych.

Działaniem ISD powinny zostać objęte zarówno urządzenia zużywające energię elektryczną i ciepłą, jak również media. ISD powinna umożliwiać sterowanie pracą odbiorników dwustanowo poprzez komendy włącz/wyłącz lub poprzez redukcję ich mocy za pomocą układów energoelektronicznych. Ważne jest, aby operacje układów sterujących ISD na odbiornikach nie powodowały utraty ich żywotności lub zbytnej utraty funkcjonalności, np. poprzez konieczność każdorazowego programowania sterowników urządzeń nieposiadających pamięci podtrzymującej ustawienia na wypadek pozbawienia ich zasilania. W odbiornikach typu Full Smart Grid niezbędne jest zatem rozdzielenie zasilania obwodów silnoprądowych i obwodów sterujących. Nie jest to niestety możliwe w odbiornikach sterowanych za pomocą AGP, dlatego w ich przypadku liczyć się należy ze wspomnianą niedogodnością. Istotna jest także konstrukcja układów AGP, które przewidzieć należy w dwóch podstawowych odmianach: prostej z elementem przekaźnikowym sterowanym przez ISD (sterowanie typu ON/OFF) oraz bardziej zaawansowanej z regulatorem energoelektronicznym (sterowanie typu P_{VAR}). Wśród odbiorników występują także takie, które zużywają zarówno energię elektryczną, jak i media. W ich przypadku należy przewidzieć sterowanie wielokryterialne (np. tryb ekonomiczny ze zredukowaną ilością wody i obniżoną temperaturą).

Generacja miejscowa

Odbiorcy niezależnie od rozwoju mechanizmów wsparcia coraz chętniej sięgają po rozwiązania umożliwiające miejscową generację energii z wykorzystaniem zasobów odnawialnych (słońca, wiatru, strumieni wodnych, biogazu, biomasy), energii odpadowej (procesowe ciepło odpadowe) powstającej w ich gospodarstwach lub z wykorzystaniem wprowadzanych do ich gospodarstw mediów energetycznych, np. gazu. Taniejąca technologia generacyjna małej mocy w połączeniu z rosnącymi cenami energii systemowej czyni takie rozwiązania konkurencyjnymi dla energetyki zawodowej zwłaszcza w sytuacji coraz częstszych przerw w zasilaniu spowodowanych gwałtownymi zjawiskami

atmosferycznymi. Największą wadą źródeł odnawialnych jest ich duża zależność od warunków środowiskowych. Stabilizacja warunków zasilania z tych źródeł w trybie pracy wyspowej wymaga stosowania magazynów energii o znacznej pojemności oraz układów energoelektronicznych o mocy znamionowej zależnej od mocy szczytowej zasilanych obwodów. ISD dzięki możliwości planowania i koordynacji pracy urządzeń umożliwić powinna efektywniejsze dopasowanie profilu obciążenia do profilu generacji, przez co zmniejszeniu ulec może zarówno pojemność magazynów energii, jak i moc znamionowa energoelektronicznych układów sprzęgających źródła miejscowe z instalacjami Odbiorcy Aktywnego, a to w znacznym stopniu zredukować może koszt takich instalacji. Integracja licznika umieszczonego na źródłach prosumenta z ISD i dalej z AMI pozwala na ewidencję energii wygenerowanej w małych źródłach typu RES. Ich znaczna liczba (obecnie większość z nich w ogóle nie jest ewidencjonowana) może mieć decydujące znaczenie przy rozliczaniu osiągnięcia celów indykatorywnych pakietu 3x20 w perspektywie roku 2020. Zalecane jest zatem, aby ISD ewidencjonowała i przekazywała do AMI informacje na temat generacji energii w źródłach odnawialnych prosumenta – Odbiorcy Aktywnego.

Magazyny energii

Nie tylko konieczność stabilizacji pracy układów zasilania ze źródłami odnawialnymi przyczynia się do stosowania w instalacjach Odbiorcy Aktywnego magazynów energii. Istotnym powodem ich implementacji jest też konieczność rezerwowania zasilania na wypadek awarii zasilania podstawowego (systemowego). Magazyny energii w przypadku taryf wielostrefowych pozwalają dodatkowo planować np. koszty pracy systemów grzewczych opartych na elektrycznych piecach akumulacyjnych (systemy ogrzewania pomieszczeń) lub pojemnościowych zasobnikach ciepłej wody użytkowej (CWU). W budownictwie coraz częściej stosuje się układy wieloobwodowe wykorzystujące do ogrzewania czynnika roboczego instalacji grzewczych ciepło powstające ze spalania gazu, energię elektryczną, jak i energię cieplną pozyskiwaną z otoczenia. Zadaniem ISD w przypadku magazynów energii integrowanych w jej ramach powinna być zatem nie tylko prosta redukcja kosztów poprzez czasowe przesunięcie poboru energii na strefy o najniższej cenie, ale także wybór najtańszego w danej chwili źródła energii ładującego taki bufor. Dodatkowo w przypadku świadczenia usług systemowych na rzecz Operatorów, magazyny energii powinny być tak sterowane, aby umożliwić realizację funkcji celu, np. spłaszczenie krzywej obciążenia dobowego przy najmniejszej dla Odbiorcy utracie komfortu.

Systemy autonomiczne

ISD powinna umożliwiać integrację istniejących autonomicznych systemów automatyki budynkowej (zarówno tych zaawansowanych jak EIB/BMS czy prostszych HVAC) w ramach jednego systemu realizującego cele nadrzędne (zdefiniowane przez Odbiorcę). Integracji podlegać powinny zwłaszcza systemy charakteryzujące się znaczną mocą szczytową lub takie, których profil dobowy wykazywać może mocno nierównomierny pobór lub generację energii. ISD nie musi sterować bezpośrednio urządzeniami wchodzącymi w skład systemów autonomicznych i ograniczyć się może wyłącznie do transmisji sygnałów redukcji lub zwiększenia mocy do sterownika tych systemów. Systemy takie postrzegane powinny być przez ISD tak samo jak pojedyncze urządzenie wykonawcze sterowane bezpośrednio z ISD.

Szczególnie systemy takie jak dwukierunkowe systemy ładowania pojazdów elektrycznych typu EVSE powinny być koordynowane za pomocą ISD. Wykazują one cechy zarówno odbiornika o możliwościach regulacyjnych typu ON/OFF lub P_{VAR}, Q_{VAR} , jak i generatora (możliwość pracy rewersyjnej) czy magazynu energii (mobilnego).

Przyjęcie określonej struktury organizacyjnej pozwala na zaplanowanie minimalnej funkcjonalności i struktury sprzętowej ISD. Opisana powyżej propozycja struktury charakteryzuje się otwartością i możliwością rozbudowy w miarę rozwoju technologii. Jest to jej dużą zaletą, jednak w znacznym stopniu utrudnia określenie kosztów wdrożenia ISD, gdyż uzależnia je mocno od indywidualnych preferencji Odbiorcy, u którego będzie ona implementowana. Analizy kosztów wdrożenia ISD, zawierającej minimalną konfigurację, przedstawione zostały w Raporcie Ekonomicznym. Podkreślić należy, że pomimo wykorzystania w strukturze ISD urządzeń i technologii dostępnych obecnie na rynku, koszt wdrożenia okazać się może w znacznym stopniu zawyżony ze względu na wczesny etap rozwoju układów typu ISD. Oczekiwać należy natomiast, że adekwatnie do ogólnoswiatowych trendów w zakresie nowych technologii, popularyzacja rozwiązań typu ISD (HAN) wywołana wzrostowymi trendami kosztów nośników energii na rynkach spowoduje stopniowy spadek kosztów wdrożenia ISD. Zwłaszcza rozwój technologiczny urządzeń typu Full Smart Grid (nie tylko elektrycznych) wydaje się być najbardziej pożądanym z tego punktu widzenia, gdyż bezpośrednio wpływa na strukturę komunikacyjną i sterującą ISD, jej funkcjonalność oraz – co za tym idzie – koszt całej infrastruktury zarządzającej urządzeniami objętymi ISD.

6.4. Komunikacja pomiędzy elementami ISD

Struktura komunikacyjna ISD powinna być oparta o sieć z centralną bramą domową. Pozwala to na łatwiejszą (tańszą) realizację ISD w oparciu o sprawdzone w sieciach informatycznych rozwiązania przy zachowaniu wysokich standardów bezpieczeństwa. Podstawą zachowania bezpieczeństwa (także energetycznego) w ramach ISD jest zapewnienie tej sieci kontroli dostępu przez osoby nieuprawnione niebędące bezpośrednio uczestnikami zarządzania energią i mediami w ramach konkretnej ISD. Szyfrowanie znane z sieci informatycznych oparte na kluczach 128-bitowych jest rozwiązaniem zalecanym. Identyfikacja konkretnych urządzeń w ramach sieci ISD wymaga, aby identyfikowane były nie tylko adresem (np. numer IP), ale także typem określającym ich funkcję w ISD oraz parametrami charakterystyki pracy. Struktura komunikacyjna powinna umożliwiać dwukierunkową transmisję sygnałów pomiędzy elementami ISD za pośrednictwem bramy domowej będącej najważniejszym elementem struktury komunikacyjnej. Jednocześnie ze względu na obawy społeczne dotyczące ograniczenia autonomii Odbiorcy niedopuszczalne wydaje się umożliwienie bezpośredniego sterowania (z pominięciem Lokalnego Systemu Zarządzania Energią) pracą urządzeń Odbiorcy przez podmioty zewnętrzne (np. OSD). Ze względu na różne funkcje urządzeń integrowanych w ramach ISD zakres wymienianych informacji oraz częstość połączeń pomiędzy poszczególnymi elementami (zawsze za pośrednictwem bramy domowej) nie są takie same i zdefiniowane mogą być za pomocą kilku głównych klas sygnałów, które omówione zostały w dalszej części raportu.

Medium komunikacyjne i protokoły

Ze względu na sposób implementacji oraz integracji z innymi istniejącymi instalacjami Odbiorcy Aktywnego, ISD do komunikacji pomiędzy swoimi elementami powinna wykorzystywać medium niewymagające budowlanych prac konstrukcyjnych. Zalecane jest wykorzystanie jednej z technik bezprzewodowych lub techniki przesyłania sygnałów z wykorzystaniem instalacji elektrotechnicznych. Trzeba mieć jednak na względzie, że nie wszystkie elementy wykonawcze instalacji nieelektrycznych mają fizyczne połączenie z instalacją elektryczną. Spodziewać się należy, że infrastruktura ISD będzie kombinacją sieci przewodowych i bezprzewodowych, stąd brama domowa – jako element odpowiedzialny za zarządzanie przepływem sygnałów – powinna, na wzór współczesnych routerów informatycznych, mieć możliwość integracji takich rozwiązań.

Pożądanym jest, aby Odbiorca miał możliwość rekonfiguracji sprzętowej oraz rozbudowy ISD o elementy pozwalające na dopasowanie funkcjonalności ISD do jego wymagań. Koniecznym zatem wydaje się doprowadzenie do standaryzacji protokołów komunikacyjnych w ISD. Obecny stan techniki w tej dziedzinie nie umożliwia niestety dowolnej, samodzielnej konfiguracji przez Odbiorcę nieposiadającego gruntownego przygotowania z zakresu teleinformatyki. Znaczącą rolę w tym zakresie odegrać mogą zatem Dostawcy Usług ISD dostarczający infrastrukturę ISD oraz towarzyszące jej usługi. Po wypracowaniu standaryzacji w protokołach komunikacyjnych ISD (HAN) spodziewać się można stopniowego zmniejszania roli tego podmiotu w konfiguracji sprzętowej ISD.

Klasy sygnałów i zakres wymienianych informacji

Na potrzeby analizy przepływu informacji w ISD, jak również projektowania konstrukcji ramki sygnałów pomiędzy jej elementami, wprowadzono podział na numerowane klasy sygnałów, określający zakres wymienianych informacji w ramach danej klasy:

1 - Sygnały logowania

- Unikalny adres (identyfikator sieciowy),
- Cyfrowo zakodowany typ urządzenia (odbiornik, generator, magazyn, interfejs, licznik, system autonomiczny itd.),
- Moc znamionowa,
- Priorytet zasilania,
- Zakres regulacji.

2 - Sygnały techniczne, kosztowe i ewidencyjne (w tym AMI)

- Zmiana strefy taryfowej,
- Parametry energii,
- Stan licznika.

3 - Sygnały odpowiedzi DSR

- Deklarowana redukcja lub zwiększenie mocy (czynnej i biernej) w odpowiedzi na sygnał z AMI.

4 - Sygnały sterujące

- Sygnał regulacji mocy (w tym redukcja 100% – włącz/wyłącz),
- Kompensacja i bilansowanie mocy.

5 - Sygnały konfiguracyjne i statusowe

- Stan pracy ISD (w tym poszczególnych urządzeń),
- Konfiguracja ISD (zmiana ustawień),
- Dane archiwalne.

6 - Sygnały usług nieenergetycznych (dodatkowych)

- Alarmowe,
- Wizyjne (monitoring).

Numery klas sygnałów naniesiono na schematy organizacyjne w dalszej części raportu jednocześnie nadając im kierunek przez kodowanie graficzne jak na Rysunku 26.

Częstość komunikacji pomiędzy elementami ISD

Przy projektowaniu (doborze) rozwiązań ISD trzeba mieć na względzie, iż różne klasy sygnałów wymienianych pomiędzy elementami ISD wymagają różnej częstości transmisji danych. Minimalne zalecane częstości przesyłania poszczególnych klas sygnałów z punktu widzenia zakładanej funkcjonalności ISD zestawiono w Tabeli 10. Przytoczone wartości mają wyłącznie charakter orientacyjny i mogą się różnić w zależności od przyjętego rozwiązania układowego ISD.

Częstość transmisji, zakres przesyłanych informacji oraz ilość węzłów transmisyjnych (elementów ISD) są podstawowymi parametrami wpływającymi na dobór rozwiązania komunikacyjnego w zakresie medium, jak i protokołów. Przy doborze konkretnego rozwiązania należy uwzględnić ograniczenia przedstawione w pierwszej części raportu, jak również specyfikę środowiska elektromagnetycznego, w którym pracować ma ISD (środowisko mieszkalne, przemysłowe itp.). Należy dążyć do minimalizacji ilości wymienianych informacji i częstości transmisji, zachowując pełną funkcjonalność urządzeń w zakresie realizacji powierzonych mu zadań. Z punktu widzenia częstości transmisji sygnały zestawione w Tabeli 10 można podzielić na cykliczne, o stałej częstości transmisji informacji oraz doraźne, wywoływane stanem alarmowym lub zmianą zapotrzebowania na energię lub media.

Identyfikacja elementów ISD

Elementy ISD zalogowane (lub logujące się) w systemie identyfikowane są całym zestawem parametrów pozwalającym konfiguratorowi na zaprogramowanie pracy ISD w każdym z predefiniowanych przez niego scenariuszy działania. Zestaw parametrów powinien być nadawany przez producenta (urządzenia Full Smart Grid) lub przez konfiguratora ISD (urządzenia „Smart Grid Ready”) na podstawie danych z tabliczki znamionowej, etykiety energetycznej i instrukcji obsługi.

6.5. Tryby pracy

ISD znajdować się może w trzech podstawowych trybach pracy:

- Konfiguracji, w którym konfigurator dokonuje pierwszego programowania pracy ISD,
- Pracy automatycznej ze zdefiniowanym scenariuszem, w którym realizowana jest regulacja profili zużycia energii i mediów,
- Uśpienia, który wywoływany może być intencyjnie przez użytkownika.

Tabela 10. Częstość transmisji danych pomiędzy elementami ISD

Klasa sygnału	Sygnal	Wymagana częstość transmisji	Uwagi
Sygnały logowania	adres i energetyczne dane identyfikacyjne	doraźnie lub okresowo (co kilka sekund)	Urządzenia wysyłają sygnały logowania każdorazowo podczas przyłączenia do instalacji objętej ISD, okresowo powinna też być sprawdzana obecność urządzenia w sieci
Sygnały techniczne kosztowe i ewidencyjne	zmiana strefy taryfowej;	raz na 15 min	W zależności od przyjętego systemu strefowania taryf może zostać przyjęta inna częstość (mniejsza lub większa)
	parametry energii	ciągła	Na potrzeby regulacji mocy parametry energii powinny być transmitowane w sposób ciągły, aby umożliwić LSZE dotrzymanie deklarowanej krzywej mocy
	stan licznika	raz na 15 min	Informacja wykorzystywana do kontrolowania progów kosztowych
Sygnały odpowiedzi DSR	deklarowana redukcja lub zwiększenie mocy (czynnej i biernej) w odpowiedzi na sygnał z AMI	tryb normalny: raz na 15 min tryb Emergency: ciągła	Zależna od systemu strefowania taryf, może być także zgłaszana w postaci planu dobowego raz na dobę W trybie Emergency transmisja ciągła w celu zabezpieczenia przed zadziałaniem Strażnika Mocy (opóźnienie do kilkudziesięciu sekund)
Sygnały sterujące	sygnał regulacji	doraźnie	Sygnał sterujący do konkretnego

	mocy (włącz/wyłącz)		urządzenia przesyłany powinien być w momencie uwzględnienia go w procesach regulacyjnych lub w momencie próby podjęcia przez urządzenie poboru energii (sygnał zezwolenia z ograniczoną lub znamionową mocą)
	kompensacja i bilansowanie mocy	ciągła	Ze względu na konieczność dotrzymania parametrów jakościowych energii niezależnie od dynamiki zmian obciążenia
Sygnały konfiguracyjne i statusowe	stan pracy ISD (w tym poszczególnych urządzeń)	doraźnie	Informacje wywoływane na „żądanie” użytkownika lub konfiguratora, może być także wymuszony okresowo
	konfiguracja ISD (zmiana ustawień)	doraźnie	jw.
	dane archiwalne	raz na dobę	jw.
Sygnały usług nieenergetycznych	np. alarmy naruszenia strefy, medyczne, gazowe	doraźnie	Sygnały z układów autonomicznych przekazywane za pośrednictwem bramy domowej do odpowiednich służb zewnętrznych

Konfiguracja ISD

Konfigurator i miejsce konfiguracji

Poprawna konfiguracja ISD wymaga znajomości charakterystyki urządzeń wykonawczych, profilu ich użytkowania, kosztów energii i mediów oraz struktury taryf. Wymaga także umiejętności przewidywania efektów zmiany charakterystyki pracy urządzeń. Przeciętny użytkownik zainteresowany głównie redukcją kosztów energii i mediów nie zawsze będzie w stanie samodzielnie skonfigurować działanie ISD w celu osiągnięcia zamierzonego efektu. Dlatego też konfiguracja ISD, zwłaszcza pierwsza, polegająca na integracji ISD z innymi instalacjami wymagająca prac instalacyjnych, zlecona może być podmiotowi zewnętrznemu, np. Dostawcy Usług ISD.

Pierwsza konfiguracja (podczas instalacji ISD) przeprowadzona przez konfiguratora działającego w imieniu dostawcy infrastruktury ISD powinna w razie konieczności obejmować także ustawienie ISD w domyślny tryb pracy (scenariusz) uzgodniony z tzw. Odbiorcą pasywnym, niewykazującym chęci aktywnego (interaktywnego) uczestnictwa w rekonfiguracji ISD. Scenariusz ten charakteryzować się będzie znikomym udziałem Odbiorcy w procesach zarządzania energią, będzie ograniczony wyłącznie do odbioru informacji o stanie pracy ISD i urządzeń nią objętych. Konfiguracja taka powinna być nastawiona na redukcję kosztów oraz reakcję na sygnały z AMI przekazywane w trybie Emergency, zapewniającą optymalizację ciągłości zasilania w sytuacjach awarii systemowych.

Pierwsza konfiguracja ISD odbywać się powinna w gospodarstwie Odbiorcy Aktywnego (konfiguracja miejscowa) ze względu na konieczność dostępu do elementów różnych instalacji wbudowanych objętych zarządzaniem przez ISD. W trakcie tego procesu konfigurator (Odbiorca Aktywny lub technik Dostawcy Usług ISD) do komunikacji z ISD używać może dostępnych interfejsów ISD – Odbiorca Aktywny (opisane w pkt. 3.2). Każda kolejna konfiguracja polegająca na zmianie scenariuszy działania dokonywana może być w

taki sam sposób lub alternatywnie – zdalnie za pomocą dostępnych kanałów komunikacji zewnętrznej (Tabela 11). Konfiguracja zdalna umożliwi Odbiorcy Aktywnemu zachowanie kontroli nad instalacjami w jego gospodarstwie nawet podczas czasowej lub długotrwałej nieobecności. Obniżyć może także koszty świadczenia usług zarządzania ISD zleconych Dostawcy Usług ISD.

Tabela 11. Sposoby konfiguracji ISD

Sposób / miejsce konfiguracji	Standard komunikacyjny	Konfigurator	Wymagane Zabezpieczenia
<ul style="list-style-type: none"> Miejscowy 	<ul style="list-style-type: none"> ZigBee Z-Wave 	<ul style="list-style-type: none"> Odbiorca 	<ul style="list-style-type: none"> Transmisja
<ul style="list-style-type: none"> Tablet ISD Serwer www w LSZE 	<ul style="list-style-type: none"> WiFi PLC 	<ul style="list-style-type: none"> Technik Dostawcy Usług ISD 	<ul style="list-style-type: none"> Transmisja Umowa dwustronna
<ul style="list-style-type: none"> Zdalny 	<ul style="list-style-type: none"> LAN WiMax GPRS LTE 	<ul style="list-style-type: none"> Odbiorca 	<ul style="list-style-type: none"> Transmisja Umowa dwustronna
<ul style="list-style-type: none"> Platforma Internetowa Dostawcy Usług ISD 		<ul style="list-style-type: none"> Dostawca Usług ISD 	<ul style="list-style-type: none"> Transmisja Umowa dwustronna

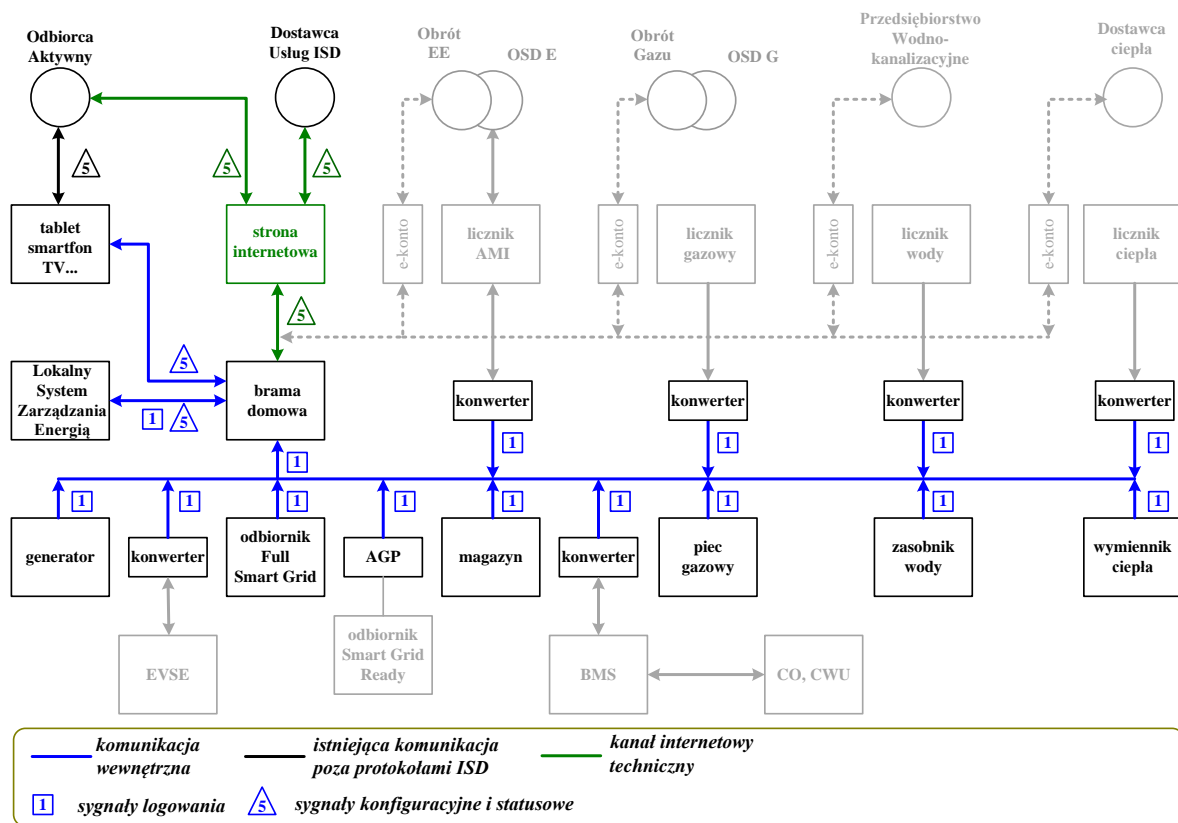
Konfiguracja niezależnie od stosowanego interfejsu i sposobu konfiguracji (miejscowa lub zdalna, jak to jest w Tabeli 11) powinna odbywać się z wykorzystaniem jednolitej aplikacji, np. typu WWW przechowywanej w Lokalnym Systemie Zarządzania Energią lub na serwerze Dostawcy Usług ISD. Aplikacja taka może mieć wtedy rozszerzoną funkcjonalność i zawierać, oprócz modułu konfiguracyjnego, także moduły inwentaryzacyjne wyświetlające aktualne dane pomiarowe i zestawienia okresowe niezależnie dla każdej instalacji objętej ISD lub zestawione w postaci jednolitej dla całego gospodarstwa Odbiorcy Aktywnego. Sygnały przesyłane pomiędzy konfiguratorem a ISD mogą wówczas zostać opisane jedną klasą sygnałów (5) – konfiguracyjne i statusowe.

Zaznaczyć należy, że systemy ISD powinny być tak projektowane, aby umożliwić samodzielną instalację użytkownikom posiadającym podstawową wiedzę z dziedziny teleinformatyki, o co w dobie społeczeństwa informacyjnego będzie coraz łatwiej. Instalacja i konfiguracja nie powinna także wymagać dodatkowych uprawnień branżowych.

Rejestracja urządzeń

Po instalacji ISD pierwszym krokiem w procesie konfiguracji jest rejestracja wszystkich urządzeń wchodzących w skład ISD. Rejestracja ma na celu nadanie uprawnień urządzeniom do funkcjonowania w ramach konkretnej ISD jak również rejestracja (urządzenia Full Smart Grid) lub nadanie (urządzenia Smart Grid Ready) parametrów charakterystyki ich pracy. Na podstawie minimalnego zestawu parametrów przyporządkowanych urządzeniom podczas procesu rejestracji, LSZE powinien mieć możliwość regulacji wypadkowego profilu zużycia energii i mediów.

Rysunek 28. Rejestracja urządzeń w ISD



Rejestracji, jak to jest pokazane na Rysunku 28, podlegać powinny wszystkie elementy ISD, tzn. zarówno liczniki, urządzenia wykonawcze, jak i urządzenia wskazujące (wyświetlacze), przy czym sygnały logowania odpowiedzialne za rejestrację urządzeń w ramach ISD powinny zawierać informacje jednoznacznie identyfikujące urządzenie wg jego funkcji i przydatności w procesach zarządzania energią i mediami.

Przykładowy zestaw informacji uzyskanych (nadanych) w procesie rejestracji urządzeń pokazany został w Tabeli 12. Zwrócić należy uwagę, że każdy typ urządzenia w zależności od realizowanej funkcji „widziany” jest przez układ zarządzający ISD, jakim jest LSZE, z innym zestawem parametrów.

Tabela 12. Przykład tabeli rejestracyjnej z podstawowym zestawem parametrów identyfikujących urządzenia w ISD

Urządzenie	Adres ISD	Typ	Priorytet zasilania	Kategoria ISD	Moc znamionowa [kW]	Energia [kWh]
Urządzenie 1	192.168.1.1	11	3			
Urządzenie 2	192.168.1.2	21	1	1	2	2
Urządzenie 3	192.168.1.3	32	2	2	24	
Urządzenie 4	192.168.1.4	42	1	2	3	1,5
Urządzenie 5	192.168.1.5	71				

Adres ISD

Adres ISD identyfikuje jednoznacznie urządzenie w strukturze komunikacyjnej. Ze względu na to, że urządzenie identyfikowane jest w ISD z całym zestawem parametrów, nie zawsze transmitowanych w sygnałach logowania (urządzenia Smart Grid Ready), należy dążyć do przydzielenia konkretnym urządzeniom stałych adresów w obrębie ISD, co umożliwi im nadanie przez konfiguratora odpowiadającym im wartości poszczególnych parametrów. W przypadku urządzeń nieprzystosowanych do bezpośredniej komunikacji z ISD, takich jak odbiorniki Smart Grid Ready, liczniki, systemy autonomiczne, stosować się powinno konwertery sygnałów lub Aktywne Gniazda Pośrednie (AGD) z wbudowanym modułem transmisyjnym kompatybilnym z jednym z protokołów konkretnej ISD. Konwertery sygnałów przyłączone do takich urządzeń, oprócz konwersji protokołów do postaci kompatybilnej z przyjętym w ramach danej ISD, pełnią dodatkowo rolę układu adresującego te urządzenia. Podobną rolę pełni wspomniane AGP, z tą różnicą, że posiadają w swojej strukturze dodatkowo elementy wykonawcze.

Typ

Typ urządzenia (zakodowany cyfrowo) określać powinien sposób jego wykorzystania w konkretnych funkcjach podczas pracy ISD (np. w usługach na rzecz OSD zgłoszonych sygnałem AMI biorą udział tylko urządzenia elektryczne). Typ determinuje także klasy sygnałów wymienianych pomiędzy LSZE a konkretnym urządzeniem oraz umożliwia interpretację oczekiwanego skutku działania (np. regulacja temperatury odbiornika ciepła redukuje koszty ciepła, regulacja charakterystyki odbiorników energii elektrycznej redukuje koszty energii elektrycznej, regulacja poziomu i przepływu wody redukuje koszty mediów – wody i ścieków itd.). Przykład kodowania typu urządzenia przedstawiono w Tabeli 13.

Tabela 13. Przykład kodowania typów urządzeń ISD

Urządzenie	Typ	
Licznik	energii elektrycznej	11
	ciepła	12
	gazowy	13
	wody	14
	prosumenta	15
Odbiornik	energii elektrycznej	21
	ciepła	22
	wody	23
Generator	energii elektrycznej	31
	ciepła (CO)	32
	ciepła (CWU)	33
Magazyn	energii elektrycznej	41
	ciepła	42
System autonomiczny	HVAC	51
	EVSE	52
	BMS	53
System bezpieczeństwa	alarmowy	61
	pożarowy	62
Interfejs	tablet	71
	komputer	72
	smartfon	73
.....	74
	75

Priorytet zasilania

W procesie zarządzania energią, polegającym na czasowym ograniczaniu zasilania urządzeń, niezbędne jest zachowanie priorytetów zasilania wymaganych ze względu na bezpieczeństwo pracy urządzeń oraz użytkownika. Zdefiniowanie priorytetów pozwala na minimalizację redukcji komfortu użytkownika urządzeń w czasie redukcji mocy, jak również zachowanie maksymalnej możliwej w danej chwili ciągłości zasilania urządzeń ze źródeł i magazynów energii posiadanych przez Odbiorcę Aktywnego w sytuacjach awarii sieci systemowej. Priorytet zasilania określać powinien nie tylko kolejność urządzenia w dostępie do źródła energii w danej chwili, ale także czas, przez jaki tego dostępu w sposób bezpieczny można go pozbawić (przykład w Tabeli 14). Przy definiowaniu priorytetu zasilania brane pod uwagę powinny być zarówno wymagania zdefiniowane przez producentów urządzenia, jak również preferencje Odbiorcy Aktywnego.

Tabela 14. Przykładowa tabela definiowania priorytetów zasilania urządzeń elektrycznych

Priorytet zasilania	Wymagania w zakresie ciągłości zasilania	Przykładowe odbiorniki
1	wymagane bezprzerwowe zasilanie	urządzenia przetwarzania danych, nadzoru i kontroli dostępu, ppoż., oświetlenie awaryjne
2	dopuszczalne odłączenie od sieci	układy mikrogeneracji rozproszonej z magazynami energii
3	niedopuszczalne odłączenie od sieci	układy mikrogeneracji rozproszonej z generatorami wirującymi bez możliwości pracy wyspowej
4	dopuszczalne krótkotrwałe przerwy w zasilaniu (<15 min)	czajnik elektryczny, kuchenka mikrofalowa, piekarnik
5	dopuszczalne krótkotrwałe przerwy w zasilaniu (15 min > 1 h)	chłodziarki i zamrażarki, urządzenia klimatyzacyjne i grzewcze
6	dopuszczalne długotrwałe przerwy w zasilaniu (>1 h)	oświetlenie podstawowe, iluminacja obiektów, pralki, zmywarki, piece akumulacyjne
...

Kategoria ISD

Kategoria ISD określa maksymalną możliwą redukcję mocy urządzenia dopuszczaną zaleceniami producenta niepowodującą degradacji jego żywotności lub powodującą redukcję komfortu użytkownika w dopuszczalnych przez użytkownika granicach. Wartość ograniczenia mocy zdefiniowana kategorią ISD nie oznacza, że urządzenie opisane daną kategorią ma podczas pracy automatycznej ISD trwale zredukowaną moc do poziomu opisanego np. w Tabeli 15, ale że jest to poziom dopuszczalny. Podczas definiowania scenariuszy działania przypisana kategoria ISD powinna zatem ograniczyć dostępny dla konfiguratora poziom redukcji mocy konkretnego urządzenia wykonawczego.

Tabela 15. Przykładowa tabela definiowania kategorii ISD urządzeń elektrycznych

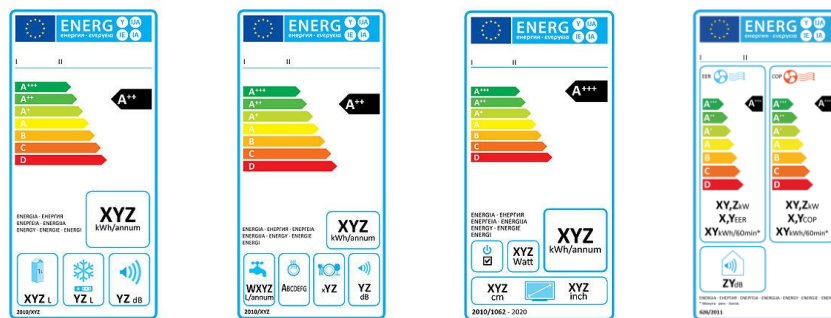
Kategoria ISD	Maksymalny zakres ograniczenia mocy	Przykładowe urządzenia
1	10%	oświetlenie wyładowcze i metalohalogenkowe
2	25%	oświetlenie ciągów komunikacyjnych
3	50%	układy mikrogeneracyjne
4	75%	układy grzewcze/chłodzące
5	100 % (wyłączenie)	układy mikrogeneracji rozproszonej z magazynami energii, sprzęt AGD o pracy dorywczej

Moc znamionowa i energia

Do wyznaczenia wypadkowej redukcji mocy LSZE wymaga informacji na temat mocy znamionowej załogowanych urządzeń. W trakcie procesu regulacji informacja w połączeniu z

kategorią ISD oraz priorytetem zasilania tworzy zestaw informacji wykorzystywanych przez układ decyzyjny do generacji sygnałów sterujących urządzeniami w celu osiągnięcia zakładanej krzywej mocy. Energia urządzenia oznacza wydatek energetyczny w określonym interwale czasowym związany z cyklem pracy urządzenia. Zgodnie z najnowszymi regulacjami w tej dziedzinie producenci sprzętu elektrycznego zobowiązani zostali do umieszczania informacji o energochłonności na urządzeniach lub w dokumentach towarzyszących urządzeniu w postaci etykiet energetycznych (Rysunek 29). Dzięki takiej informacji LSZE jest w stanie kontrolować pracę urządzeń także wg zakładanej krzywej kosztowej w warunkach taryf wielostrefowych, przy czym regulacja ta odbywać się wtedy może nie tylko na podstawie danych historycznych (regulacja opóźniona typu „n-1”), ale możliwa jest także praca z predykcją kosztów. W przypadku magazynów energii, „energia” (Tabela 12) oznacza możliwości akumulacyjne (pojemność) zasobników przyłączonych do

Rysunek 29. Etykiety energetyczne z informacjami o charakterystyce energetycznej urządzeń



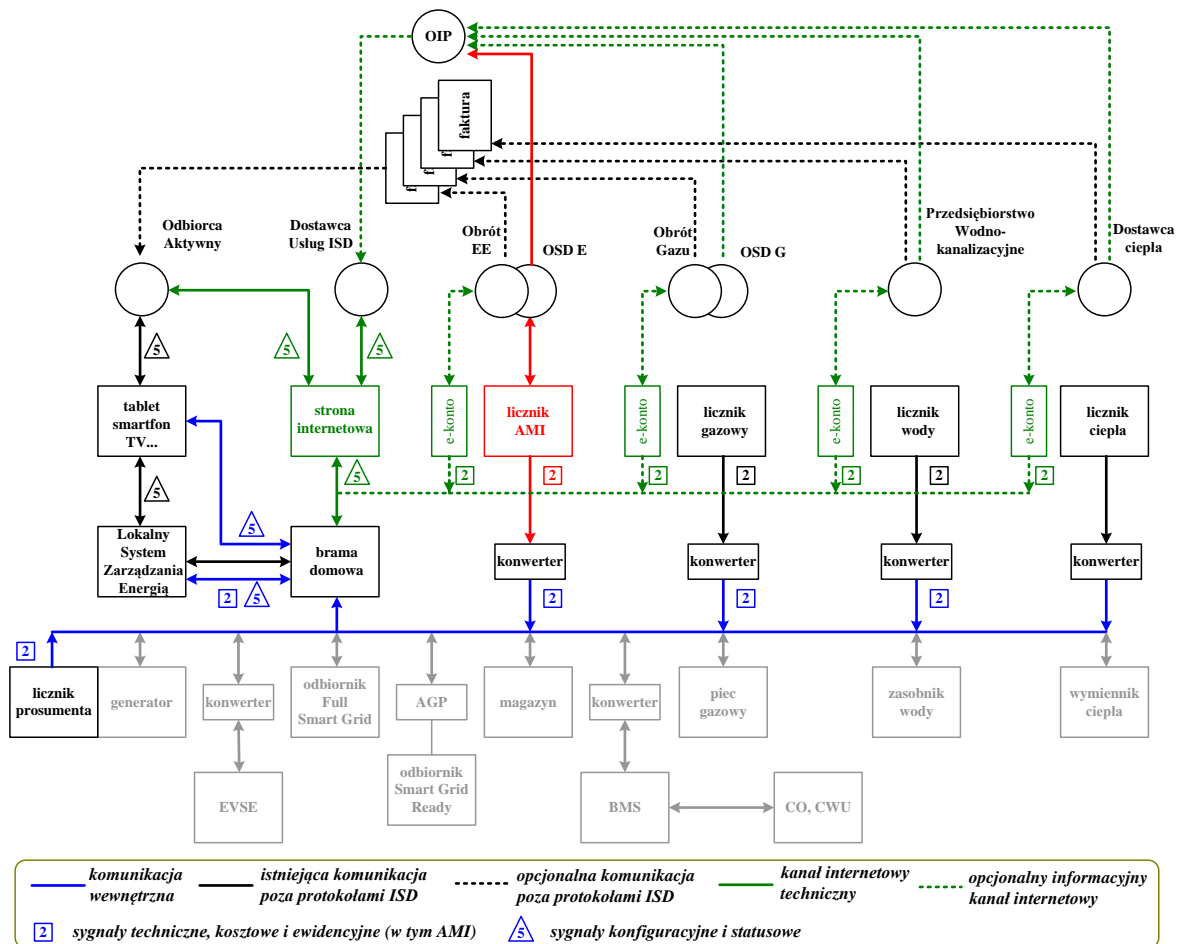
instalacji Odbiorcy Aktywnego, a „moc” oznacza maksymalną szybkość, z jaką dany magazyn można ładować lub rozładowywać.

Identyfikacja profilu energetycznego i taryfowego

Konfigurowanie pracy ISD wymaga nie tylko znajomości charakterystyki urządzeń, ale także danych archiwalnych na temat profilu zużycia energii i mediów w poprzednich okresach rozliczeniowych, jak również struktury obciążeń z tego tytułu. Odpowiednia reakcja polegająca na planowaniu pracy urządzeń wg stref taryfowych pozwoli osiągnąć pożądany przez Odbiorcę Aktywnego cel w postaci redukcji kosztów. Konfigurator musi zatem wprowadzić do LSZE dane archiwalne na temat zużycia i kosztów (tylko za pierwszym razem, gdyż dane automatycznie powinny być uzupełniane w trakcie normalnej pracy ISD na podstawie informacji taryfowych i pomiarów w ISD) oraz aktualnej struktury taryf.

Dane archiwalne na temat kosztów i zużycia energii i mediów pochodzić mogą z umów i faktur, z indywidualnych kont internetowych Odbiorcy znajdujących się na serwerach firm zajmujących się obrotem energii i mediów (Rys. 30) lub mogą być uzyskane komercyjnie, np. za pośrednictwem Dostawcy Usług ISD od Operatora Informacji Pomiarowej (OIP), gdzie powinny być deponowane po osiągnięciu pełnej funkcjonalności przez system AMI. W zależności od źródła mogą być uzyskiwane drogą elektroniczną, np. kanałem internetowym lub wymagają wglądu do dokumentacji papierowej.

Rysunek 30. Rejestracja danych profilowych i taryfowych



Dla konfiguratora użyteczne okazać się mogą także dane o aktualnym stanie liczników (zawarte w klasie sygnałów 2), działających w ramach gospodarstwa Odbiorcy Aktywnego. Dane te, w odróżnieniu od danych archiwalnych, po uruchomieniu ISD powinny być rejestrowane lokalnie w LSZE (jeżeli poziom zaawansowania implementowanego ISD umożliwia taką funkcjonalność).

Definiowanie scenariuszy działania

Działanie ISD powinno zdejmować z Odbiorcy konieczność ciągłego nadzoru pracy urządzeń i kontroli kosztów ich funkcjonowania. Podstawową funkcjonalnością ISD powinna być automatyzacja zarządzania wg zdefiniowanych przez Odbiorcę priorytetów. Biorąc pod uwagę zależną od sytuacji finansowej oraz okoliczności zewnętrznych skrajną zmienność priorytetów Odbiorcy pomiędzy maksimum komfortu a minimum kosztów, które z punktu widzenia obciążenia dla budżetu domowego pozostają wzajemnie przeciwstawne, potrzebne jest wypracowanie kilku scenariuszy działania pozwalających na stopniowe ograniczenie komfortu użytkownika urządzeń w celu oczekiwanej redukcji kosztów utrzymania gospodarstwa domowego. Scenariusz działania pozwala na ustalenie nadrzędnego priorytetu (krzywa kosztowa, komfortowa lub mocy), jak również udziału konkretnego urządzenia w każdym ze scenariuszy. Regulacja charakterystyki pracy urządzeń w danym scenariuszu powinna odbywać się automatycznie, przy czym człon decyzyjny LSZE powinien brać pod uwagę zdefiniowany przez konfiguratora (patrz Tabela 16) maksymalny udział

każdego z urządzeń w danym scenariuszu oraz ustalony maksymalny poziom komfortu, kosztów lub mocy.

Tabela 16. Przykład definiowania udziału urządzeń w predefiniowanych scenariuszach

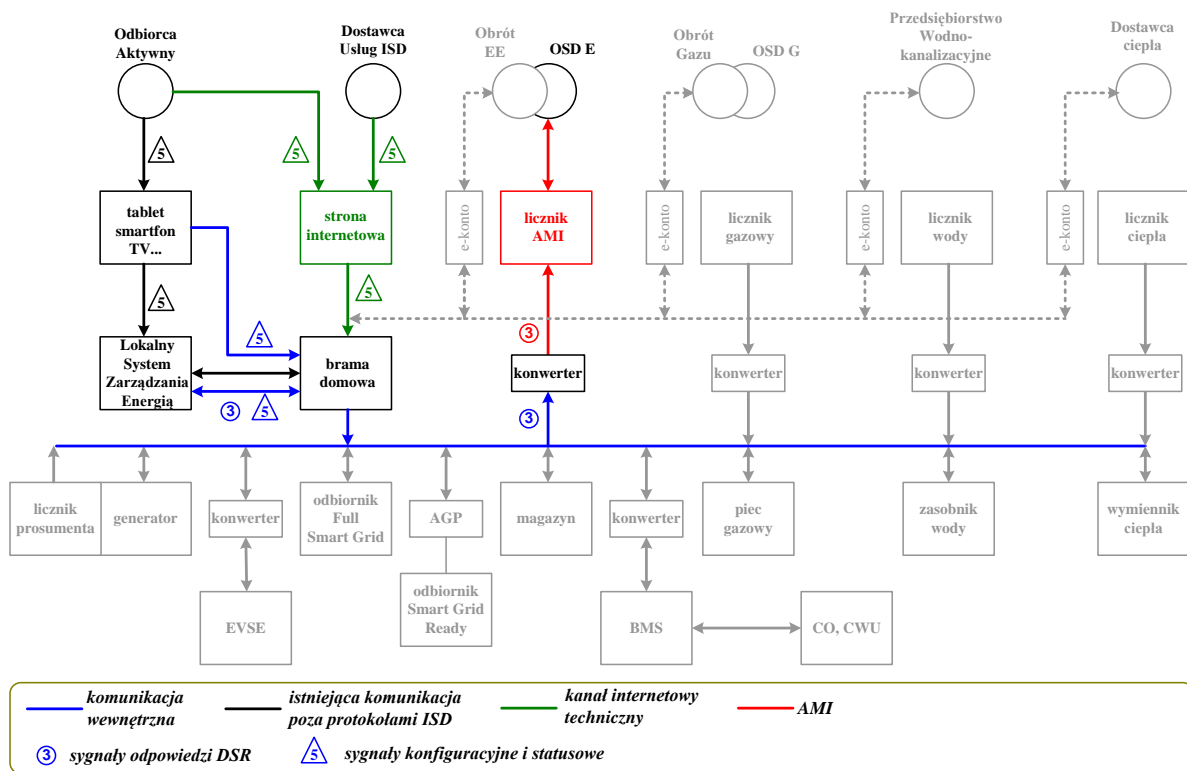
Lista urządzeń ISD	Użytkownik										Użytkownik + OSD				
	Scenariusz komfort					Scenariusz oszczędzanie					Scenariusz oszczędzanie + usługi systemowe				
	współczynnik redukcji mocy[%]					współczynnik redukcji mocy[%]					współczynnik redukcji mocy[%]				
	10	25	50	75	100	10	25	50	75	100	10	25	50	75	100
Urządzenie 1 (HVAC)	√							√						√	
Urządzenie 2 (ośw. kom.)		√					√					√			
Urządzenie 3 (oświetlenie)					√			√							√
Urządzenie 4 (CWU)	√					√					√				
Urządzenie 5 (EVSE)								√					√		

Przykład definiowania przedstawiony w powyższej Tabeli zawiera trzy charakterystyczne scenariusze działania ISD współpracującej z siecią Smart Grid. Dwa pierwsze uwzględniają pracę zorientowaną wyłącznie na potrzeby Odbiorcy, w trzecim uwzględniane są także sygnały zapotrzebowania na komercyjne usługi systemowe na rzecz OSD. Oczywiście ilość predefiniowanych scenariuszy może być dużo większa. Zdefiniowanie udziału danego urządzenia w redukcji mocy nie oznacza wcale konieczności trwałego obniżenia mocy danego urządzenia podczas pracy z danym scenariuszem, a jedynie jego maksymalny chwilowy udział. ISD powinno udostępniać konfiguratorowi zakres redukcji dla konkretnego urządzenia zgłoszony podczas jego rejestracji w ISD.

Wybór scenariusza działania

Użytkownik powinien mieć możliwość wyboru konkretnego scenariusza pracy ISD, jak również jego bieżącą modyfikację. O wyborze decydować powinny indywidualne preferencje w zakresie optymalizacji komfortu, redukcji kosztów energii i mediów lub zamierzonych efektów proekologicznych. Informacja o aktualnie realizowanym scenariuszu powinna być wyświetlana na jednym z urządzeń wskazujących interfejsu ISD – Odbiorca Aktywny. Efektem wyboru scenariusza działania powinna być zapisana w LSZE aktualna konfiguracja udziału urządzeń w redukcji mocy, progi wrażliwości cenowej oraz wypadkowa redukcja mocy w postaci deklarowanej krzywej dobowej mocy zredukowanej. Ostatnia z wymienionych informacji powinna zostać także przekazana do licznika AMI (patrz Rysunek 31) w celach rozliczeniowych za odpowiedź na zgłoszone zapotrzebowanie na usługi systemowe, polegające na redukcji lub zwiększeniu mocy (czynnej i biernej).

Rysunek 31. Zapis wybranego scenariusza działania

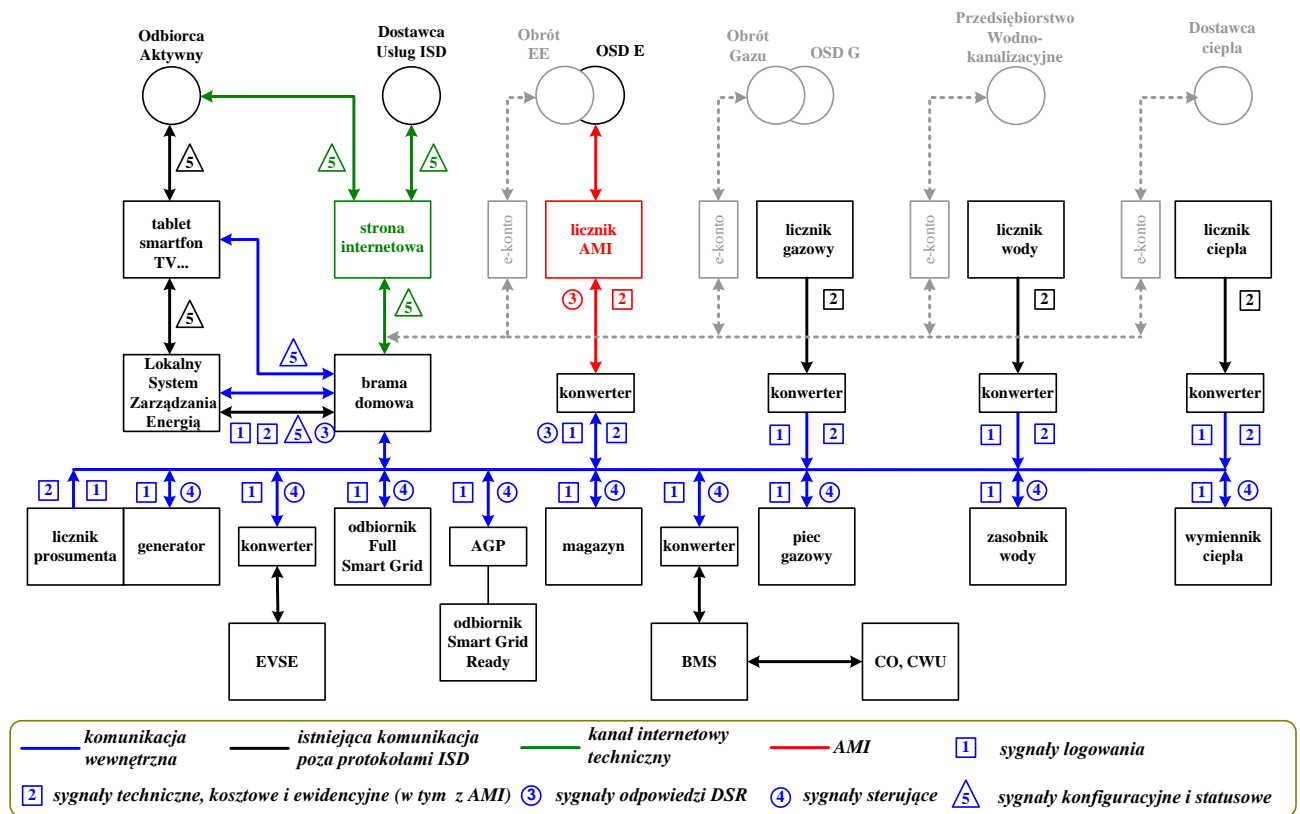


Praca ze zdefiniowanym scenariuszem

Po zdefiniowaniu i wyborze scenariusza, LSZE powinien sterować charakterystyką pracy urządzeń biorąc pod uwagę zdefiniowane przez Odbiorcę progi techniczne i kosztowe. Aktualne informacje o mocy obciążenia pobierane powinny być z liczników zainstalowanych w instalacjach Odbiorcy objętych ISD, natomiast dane kosztowe powinny być wyliczane na podstawie aktualnego obciążenia i wprowadzonych informacji taryfowych. W obliczeniach tych powinien być uwzględniany sygnał zmiany strefy taryfowej, pochodzący z licznika AMI. Poszczególne urządzenia wykonawcze są uwzględniane w tym procesie ze zdefiniowanym w konfiguracji scenariusza udziałem. W pracy automatycznej system komunikacyjny ISD jest obciążony całym zestawem klas sygnałów, przy czym, jak opisano wcześniej, występują różne częstotliwości przesyłania poszczególnych klas sygnałów. Przepływ informacji w ISD na podstawie zdefiniowanych klas sygnałów podczas pracy automatycznej odczytać można z Rysunku 32.

W scenariuszu uwzględniającym usługi systemowe, OSD powinien ponosić opłaty za usługę redukcji mocy tylko do poziomu zgłoszonego sygnałami AMI. Jednocześnie próba nieautoryzowanego poboru energii z mocą przekraczającą zadeklarowaną krzywą zredukowaną mocy, a wynikająca z próby obejścia limitów ustawionych na tej podstawie w ISD, powinna zostać zarejestrowana w liczniku i powinna pociągać za sobą naliczenie opłaty karnej. Pozwolić to może na wyeliminowanie prób działań nieuprawnionych, polegających na niedotrzymaniu komercyjnie zgłoszonej redukcji mocy. W sytuacji takiej działania Strażnika Mocy pozostaje niezmienione (działa dopiero po przekroczeniu mocy umownej).

Rysunek 32. Praca automatyczna ISD



Warunki zmiany scenariusza pracy – hierarchia sygnałów decyzyjnych

Odbiorca Aktywny powinien mieć zapewnioną swoją nadrzędną rolę w zarządzaniu urządzeniami, dlatego w pracy automatycznej powinien mieć możliwość przełączania predefiniowanych scenariuszy działania oraz ich modyfikację w każdej chwili. Dodatkowo Odbiorca może zdefiniować progi wrażliwości komfortowej, technicznej i kosztowej powodujące automatyczną zmianę scenariusza działania wg nadrzędnego algorytmu.

W sytuacjach katastrofalnych w celu niedopuszczenia do wyłączeń obszarowych, OSD poprzez infrastrukturę AMI może przesłać w trybie Emergency sygnały wymagające od Odbiorcy redukcji mocy, z jaką obciąża on System Elektroenergetyczny (SEE). Odbiorca może mieć możliwość zaprogramowania ISD tak, aby ignorowała te sygnały, jednak musi mieć świadomość ryzyka czasowego odłączenia od sieci dystrybucyjnej.

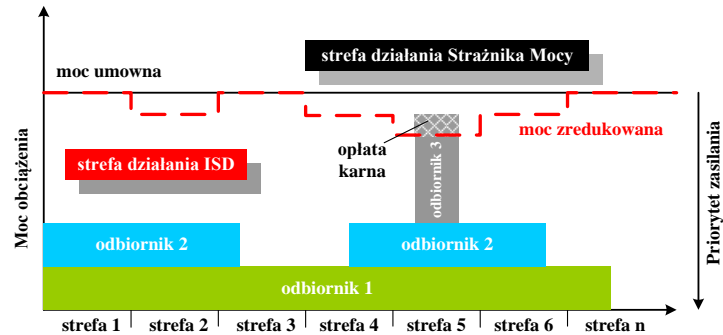
LSZE – jako element decyzyjny ISD przy przełączaniu scenariuszy działania – powinien zachować ustaloną przez Odbiorcę hierarchię progów lub sygnałów decyzyjnych, np.:

- AMI (Emergency)
 - Zadeklarowana zredukowana krzywa mocy
 - Krzywa kosztowa (próg cenowy)
 - Krzywa komfortowa

Rysunek 33. Przykład pracy ze scenariuszem realizującym usługi systemowe

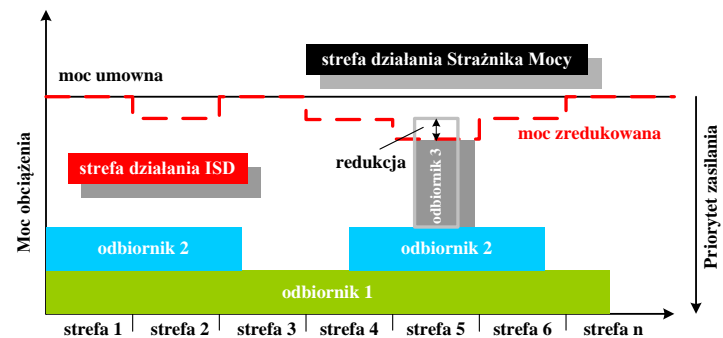
Przypadek 1

Odbiornik 3 nie jest przystosowany do współpracy z ISD lub próba nieautoryzowanego poboru powyżej zadeklarowanej redukcji mocy będącej odpowiedzią na sygnał z AMI



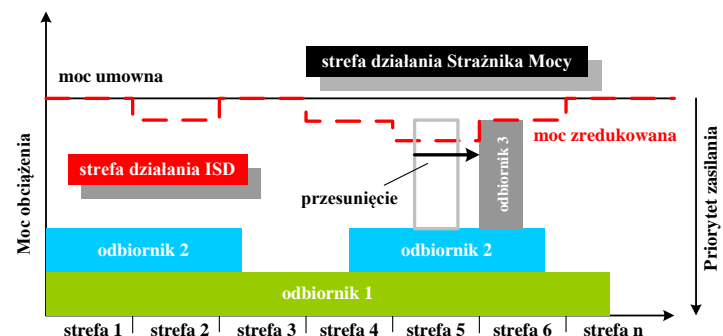
Przypadek 2

Odbiornik 3 (najniższy priorytet zasilania spośród aktualnie pracujących) otrzymuje sygnał o redukcji mocy w celu wypełnienia zadeklarowanej redukcji mocy będącej odpowiedzią na sygnał z AMI



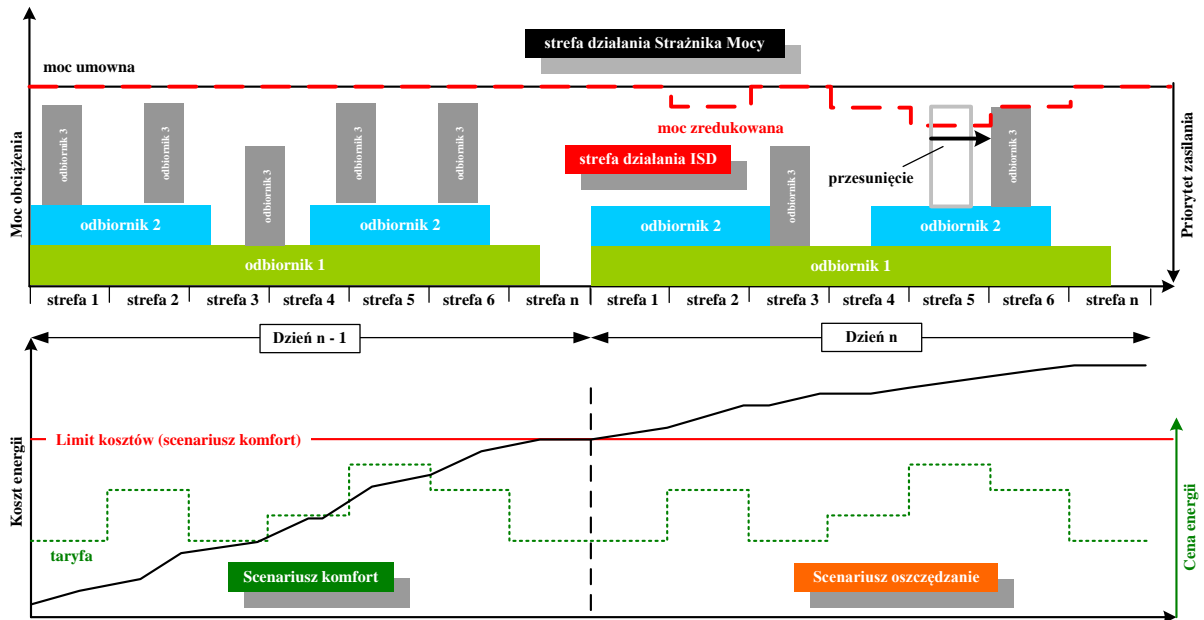
Przypadek 3

Odbiornik 3 (najniższy priorytet zasilania spośród aktualnie pracujących) otrzymuje sygnał przesunięcia czasu włączenia do strefy spełniającej ograniczenia zgodne z zadeklarowaną redukcją mocy będącą odpowiedzią na sygnał z AMI



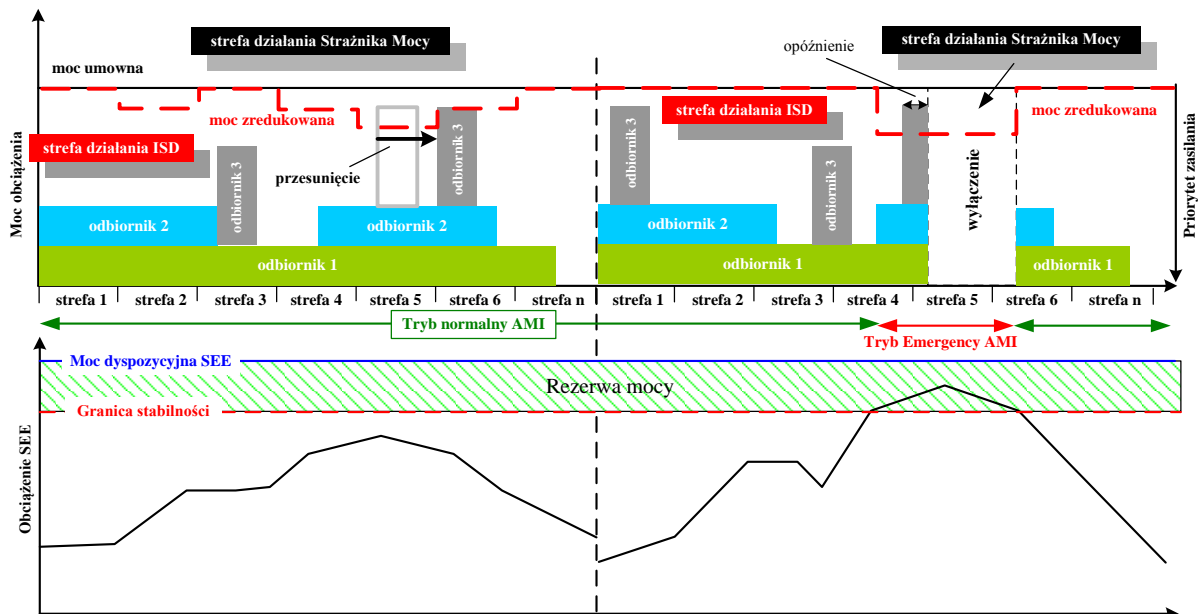
Rysunek 34. Zmiana scenariusza działania pod wpływem przekroczenia limitu kosztów

Odbiornik 3 – element systemu klimatyzacyjnego wygenerował w dniu n-1 koszty przekraczające ustalony limit, dlatego następuje automatyczne przejście do scenariusza „oszczędzanie”. Następuje redukcja komfortu na rzecz zmniejszenia kosztów energii, np. poprzez podwyższenie zadanej temperatury wnętrza sygnałem z ISD do termostatu HVAC.



Rysunek 35. Wyłączenie Odbiorcy na skutek zignorowania przez ISD sygnału redukcji mocy w trybie Emergency

Odbiornik 3 zostaje załączony w strefie ograniczenia mocy wywołanego zewnętrznym sygnałem z AMI w trybie Emergency. Po zignorowaniu sygnału przez ISD Strażnik Mocy dokonuje wyłączenia Odbiorcy.



Praca autonomiczna ISD a praca koordynowana z AMI

Zalecana struktura i funkcjonalność ISD przewiduje kilka kanałów pozyskiwania informacji niezbędnych do konfiguracji i pracy automatycznej ISD. Nie wszystkie z nich to kanały techniczne związane z ciągłą lub cykliczną transmisją sygnałów elektrycznych. ISD zdefiniowana w sposób opisany w poprzednich punktach opracowania jest w stanie funkcjonować i wypełniać powierzone jej zadania zarówno na korzyść Odbiorcy, jak i przynosić szersze korzyści systemowe na podstawie okresowo wprowadzanych przez konfiguratora informacji technicznych i kosztowych dotyczących struktury taryf a pozyskiwanych drogą tradycyjną – korespondencji papierowej. Funkcjonalność taka pożądana jest zwłaszcza w sytuacji opóźnień w uzyskaniu pełnej funkcjonalności przez wdrażany system AMI. Działanie ISD w takiej sytuacji – z technicznego punktu widzenia – nazwać można autonomicznym, gdyż nie podlega żadnej koordynacji zewnętrznym, technicznym sygnałem nadrzędnym (brak sygnałów priorytetowych w trybie Emergency z AMI). Choć cele związane z redukcją kosztów energii i mediów, jak również cele związane z redukcją zużycia finalnego, mogą być realizowane poprzez regulację nadzorowaną przez LSZE, to należy mieć świadomość ograniczonej dynamiki i skuteczności tych działań ściśle związanych z opóźnieniem reakcji o przynajmniej jeden cykl odczytowy. ISD w trybie pracy autonomicznej przypomina scentralizowane systemy automatyki budynkowej wyposażone w funkcje redukcji zużycia energii i mediów ukierunkowane głównie na działania na korzyść Odbiorcy, choć pośrednio przyczyniać się może także do uzyskiwania efektów systemowych. W pracy autonomicznej ISD, zdefiniowanej wg przedstawionych wcześniej założeń, istnieje także możliwość realizacji redukcji obciążeń szczytowych, wymaga to jednak zaprogramowania przez konfiguratora dobowej krzywej redukcyjnej na podstawie danych archiwalnych lub przedstawianych przez OSD w IRIESD w części dotyczącej bilansowania. Działanie peak load shaving w trybie off-line (bez sygnałów z AMI) może być skuteczne wyłącznie w warunkach stabilnego systemu elektroenergetycznego i nie uwzględnia zdarzeń nagłych związanych z sytuacjami katastrofalnymi. W trybie pracy autonomicznej realizacja zadań (usług) zewnętrznych niezwiązanych wyłącznie z gospodarstwem Odbiorcy końcowego podlega podobnej realizacji i kontroli, jak w pracy koordynowanej z AMI. Jediną różnicą jest sposób przekazywania informacji rozliczeniowych do podmiotów zajmujących się obrotem energią i mediami (fizyczny odczyt cykliczny zamiast elektronicznej transmisji danych). Koordynacja pracy ISD z uwzględnieniem sygnałów z AMI (po osiągnięciu przez nią pełnej funkcjonalności) przyniesie korzyści głównie dla Operatorów systemów energetycznych i mediów w postaci możliwości wykorzystania potencjału redukcyjnego zgłoszonego przez Odbiorców wyposażonych w ISD do prowadzenia ruchu sieciowego. Oczywiście pośrednio Odbiorcą, zwłaszcza ten mocno uzależniony od sieci systemowej, czerpie korzyści w postaci zwiększenia stabilności tej sieci, gdyż trudno opłatę za usługę systemową polegającą na redukcji komfortu użytkownika urządzeń nazwać korzyścią bezpośrednią. Najważniejszą zaletą ISD koordynowanych z AMI jest możliwość dużo szybszej reakcji na zmieniający się stan pracy sieci systemowych, co pozwala na pełne wykorzystanie zagregowanego potencjału regulacyjnego ISD.

Bazując na powyższym rozważaniu, z technicznego punktu widzenia przy projektowaniu ISD należy uwzględnić także możliwość pracy ISD bez koordynacji z AMI (na skutek opóźnień w we wdrożeniu, awarii systemów komunikacyjnych AMI lub sabotażu). ISD powinna zatem mieć możliwość sygnalizowanego przełączenia (automatycznego lub ręcznego) w jeden z dwóch trybów pracy automatycznej – autonomicznej bez AMI lub koordynowanej z AMI.

Należy zauważyć, że zmiana trybu pracy automatycznej ISD zdefiniowanej wg wcześniejszych założeń nie wymaga zmiany konfiguracji sprzętowej. Podkreślić należy także, że ISD – w odróżnieniu od mniej zaawansowanych systemów BMS – wymaga obecności licznika inteligentnego dostarczającego do LSZE informacji pomiarowej (energia, moc) oraz rejestrującego dane do rozliczeń. Taka struktura ISD, nawet bez działającej AMI, pozwoli na realizację zadań jej stawianych, a dodatkowo pozwoli bardzo szybko skoordynować ISD z AMI po jej pełnym wdrożeniu.

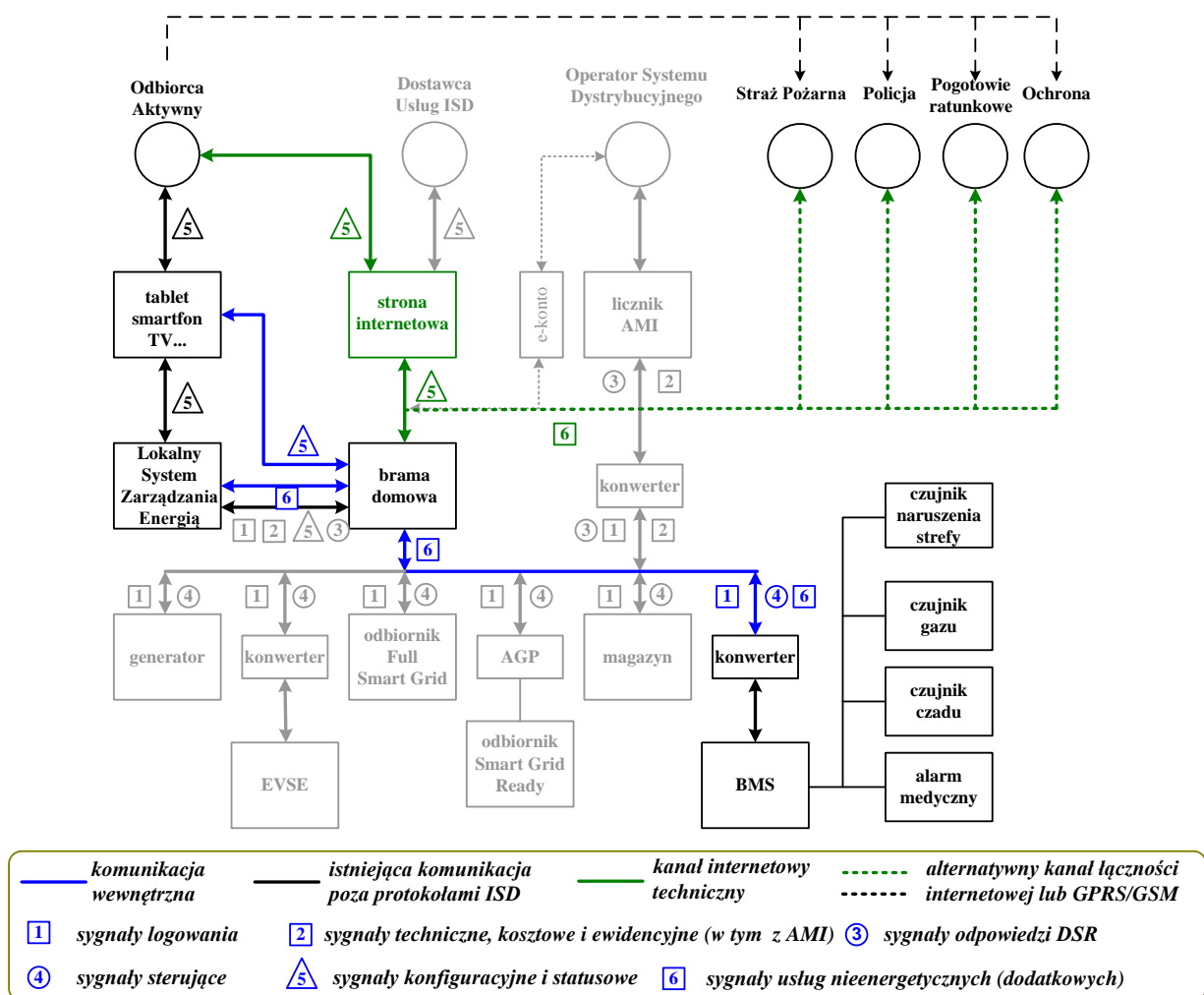
6.6. Dodatkowe funkcjonalności ISD

Zaproponowana w raporcie infrastruktura sieci domowej została zdefiniowana w ten sposób, aby możliwe było spełnienie jednego z głównych postulatów sieci inteligentnych – aktywne włączenie Odbiorcy końcowego w proces funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Biorąc pod uwagę powyższe, ISD dzięki sieci AMI oraz internetowemu kanałowi komunikacyjnemu umożliwi Odbiorcy zdalne (przy wykorzystaniu telefonu, laptopa czy strony WWW) zarządzanie pracą urządzeń podłączonych do ISD, jak i dwukierunkowy przepływ usług. Dzięki tego typu działaniom możliwa jest: redukcja kosztów energii elektrycznej (w wyniku pracy w tańszych strefach taryfowych), ale także korzyści systemowe w postaci redukcji obciążeń szczytowych, tzw. peak load shaving oraz spłaszczenia krzywej obciążenia dobowego, co bezpośrednio przyczynia się do redukcji strat technicznych – przesyłowych, jak również ekonomicznych – bilansowych.

Zauważyć należy, że zakres usług nie jest tylko ograniczony do systemu elektroenergetycznego. ISD w zaproponowanej konfiguracji może być wykorzystywana do ograniczenia zużycia innych mediów, takich jak: woda, gaz czy ciepło. Aby osiągnąć powyższe cele, ISD powinna umożliwiać integrację istniejących autonomicznych systemów automatyki budynkowej (zarówno tych zaawansowanych EIB/BMS, jak i prostych HVAC) w ramach jednego systemu realizującego cele nadrzędne (zdefiniowane przez Odbiorcę). Integracji podlegać powinny zwłaszcza systemy charakteryzujące się znaczną mocą szczytową lub takie, których profil dobowy wykazywać może mocno nierównomierny pobór lub generację energii. W takim przypadku ISD nie musi sterować bezpośrednio urządzeniami wchodzącymi w skład systemów autonomicznych, ISD może się ograniczyć wyłącznie do transmisji sygnałów on/off bądź sygnałów redukcji lub zwiększenia mocy do sterownika tych systemów. Systemy takie powinny być postrzegane przez ISD tak samo jak pojedyncze urządzenie wykonawcze sterowane bezpośrednio z ISD. ISD może być również wykorzystywana do świadczenia usług na rzecz Operatorów innych systemów, np. gazowego lub wodociągowego, w których także wystąpić mogą sytuacje uniemożliwiające dotrzymanie parametrów jakościowych (np. ciśnienie). W przypadku Operatorów innych niż elektroenergetyczny funkcjonowanie systemu usług zewnętrznych z wykorzystaniem ISD w chwili obecnej może być utrudnione z powodu braku spójnej polityki w zakresie wykorzystania AMI. Należy zatem przewidzieć możliwość ich zgłaszania i rozliczeń za pomocą kanału alternatywnego, jakim jest np. Internet. ISD dzięki internetowemu kanałowi komunikacyjnemu może być wykorzystywany do świadczenia usług dodatkowych (Rysunek 36). Poziom zabezpieczeń zalecany do stosowania w ISD predysponuje go do usług zdalnego komunikowania systemów alarmowych z centralami służb świadczących usługi

ochrony mienia na rzecz Odbiorcy Aktywnego, czy też powiadamiania o tym fakcie policji. Sygnały naruszenia prywatności Odbiorcy oraz usługi zdalnego monitoringu pozwolić mogą także Odbiorcy na monitorowanie jego gospodarstwa podczas nieobecności w domu. Nie bez znaczenia jest także możliwość automatycznego powiadamiania służb ratunkowych w przypadku pożaru, upływu gazu lub nagłego pogorszenia stanu zdrowia użytkownika. ISD, dzięki współpracy z BMS i odpowiednimi czujnikami (wyzwalaczami), powinna być w stanie wytransmitować kanałem zewnętrznym informację na temat rodzaju powstałego zagrożenia oraz podać jednoznaczne dane identyfikacyjne, pozwalające na ustalenie adresu. Przyspieszyć to może reakcję służby odpowiedniej do typu wygenerowanego przez ISD alarmu, co zwłaszcza ma znaczenie w sytuacji numeru alarmowego 112, który obejmuje swoim działaniem trzy różne służby: Policję, Pogotowie Ratunkowe i Straż Pożarną.

Rysunek 36. Realizacja usług dodatkowych – alarmowych z wykorzystaniem ISD



Mało prawdopodobne wydaje się jednak wykorzystanie infrastruktury komunikacyjnej ISD do usług bankowych ze względu na konieczność stosowania skomplikowanego kodowania transmisji, np. SSL, choć nie należy wykluczać takiej możliwości. Część ISD w postaci bramy domowej po nadaniu jej funkcjonalności routera sygnału internetowego w połączeniu ze sprzętem komputerowym Odbiorcy lub smartfonem może wtedy umożliwić taką usługę na wzór domowych sieci komputerowych z dostępem do Internetu.

7. Podsumowanie

W raporcie technologicznym omówiono podstawowe parametry standardów komunikacyjnych istotnych w kontekście możliwości ich wykorzystania w ISD. Porównywano te standardy komunikacyjne (ZigBee, Wireless Mesh, Powerline Communication (PLC), M-Bus (Meter Bus), Z-Wave, WLAN/WiFi (IEEE 802.11), WiMax (IEEE 802.16), Ethernet), których funkcjonalność potwierdzona została wcześniejszymi aplikacjami w układach automatyki przemysłowej, budynkowej oraz sieciach telekomunikacyjnych. Analizowano możliwości wykorzystania zarówno komunikacji przewodowej, jak i bezprzewodowej.

W komunikacji przewodowej wyróżnić można standardy wymagające dedykowanej infrastruktury sieciowej, np. Ethernet oraz standardy wykorzystujące istniejącą infrastrukturę sieci elektroenergetycznej, np. Powerline Communication (PLC). Sieci dedykowane projektowane są z zachowaniem wymagań dotyczących transmisji sygnałów wielkiej częstotliwości. Charakteryzują się zatem odpowiednimi parametrami zapewniającymi dopasowanie impedancji falowych, odpowiednią tłumienność, odporność na występujące w danym środowisku zaburzenia elektromagnetyczne itd. Zastosowane zabiegi techniczne zapobiegają w znacznym stopniu negatywnym efektom falowym, takim jak: odbicia, interferencje oraz tłumienie przesyłanych sygnałów wielkiej częstotliwości. Optymalizacja parametrów sieci dedykowanych umożliwia zwiększenie uzyskiwanych przepustowości, zasięgu i niezawodności. Pozwala to na realizację dodatkowych zadań niezwiązanych z zarządzaniem energią, a wymagających szybkiego transferu znacznej ilości danych, np. przesyłaniu dźwięku i obrazu w jakości HD oraz realizowanie połączeń wideo w czasie rzeczywistym.

Wykorzystanie istniejącej instalacji znacząco obniża koszt inwestycji w infrastrukturę sieciową, jednakże sieć elektroenergetyczna projektowana jest do przesyłu prądu o częstotliwości 50 Hz i wykazuje istotne niedomagania w zakresie transmisji sygnałów wielkiej częstotliwości, takie jak znaczne tłumienie powodowane efektami naskórkowymi oraz odbicia i interferencje na skutek niedopasowania impedancji falowych poszczególnych fragmentów instalacji. Istotne dla niezawodności funkcjonowania tego typu komunikacji mają również zaburzenia elektromagnetyczne przewodzone generowane przez urządzenia zasilane z sieci elektroenergetycznej i rozprzestrzeniające się za jej pośrednictwem.

Dla zapewnienia komunikacji w niesprzyjających warunkach sieciowych opracowano trzy podstawowe generacje standardów PLC. Realizacja głównych zadań ISD nie stawia wysokich wymagań pod względem złożoności obliczeniowej oraz ilości transmitowanych danych i jest możliwa nawet w przypadku najprostszych technik modulacyjnych. Jednakże zastosowanie zaawansowanych technik modulacyjnych pozwala na uzyskiwanie przepustowości, pozwalających rozsyłać za pośrednictwem istniejącej instalacji elektroenergetycznej szerokopasmowy Internet wewnątrz budynku (600 Mbps – 1,8 Gbps w przypadku standardu PLC HomePlug AV2). Generalnie, uzyskiwanie większej przepustowości wiąże się z wyższą częstotliwością przesyłanego sygnału, co z kolei ogranicza zasięg w komunikacji przewodowej.

Podstawowe zadania stawiane ISD w zakresie zarządzania energią dotyczą zazwyczaj urządzeń przyłączanych do sieci elektroenergetycznej. W ocenie opracowujących raport,

komunikacja PLC jest zatem standardem, który z racji wykorzystywania wspólnego medium naturalnie nadaje się do implementacji w urządzeniach Smart Grid Ready oraz Full Smart Grid. Urządzenia takie po podłączeniu do sieci automatycznie łączyłyby się z bramą domową, pozwalając na ich konfigurację i wykorzystywanie zgodnie ze scenariuszami definiowanymi przez Odbiorcę. Koncepcja urządzeń Full Smart Grid zakłada wbudowaną „inteligencję”, pozwalającą na świadczenie usług sieciowych. Dodatkową zaletą komunikacji przewodowej jest niezależność jej funkcjonowania od zasilania bateryjnego, co ma zazwyczaj miejsce w przypadku wykorzystania komunikacji bezprzewodowej.

Jednakże w wielu aplikacjach ISD to komunikacja bezprzewodowa ma przewagę nad komunikacją przewodową. Nie wymaga ona kosztownej infrastruktury instalacyjnej oraz zapewnia łatwość włączania do systemu elementów zlokalizowanych w niedostępnych obszarach. Zaznaczyć należy, że typowe dla lokalizacji wewnątrz budynków, właściwości ścieżki komunikacyjnej, mogą powodować silne tłumienie sygnału. Spośród standardów komunikacji bezprzewodowej standard ZigBee, stosowany z powodzeniem w bezprzewodowych układach automatyki, oraz WiFi – powszechny standard wykorzystywany dla zapewnienia bezprzewodowego dostępu do Internetu – mają, zdaniem przygotowujących raport, największe szanse na powszechne stosowanie w ISD.

Dla zapewnienia optymalnej funkcjonalności ISD rekomendowane są systemy hybrydowe, wykorzystujące zarówno przewodowe, jak i bezprzewodowe struktury komunikacyjne. Unifikacja poszczególnych standardów uzyskana zostanie dzięki zastosowaniu bramy domowej. W tym kontekście interesującym z punktu widzenia aplikacji w ISD jest konsorcjum utworzone przez ZigBee Alliance, Wi-Fi Alliance, The HomePlug Alliance oraz HomeGrid Forum. Konsorcjum to ma na celu zapewnienie kompatybilności urządzeń i standardów komunikacji dostarczanych na rynek produktów w ramach: Consortium for SEP 2 Interoperability. W 2009 roku SEP 2 został wybrany przez U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST) standardem zarządzania energią w systemach HAN.

Standard SEP 2.0 powinien ukazać się w roku 2012, co w praktyce oznacza, że aplikacje tego standardu pojawią się najwcześniej za 2-3 lata. Jednakże już zastosowanie dostępnego obecnie standardu SEP 1.1 jest wystarczające dla zapewnienia niezawodnej komunikacji urządzeń wielu producentów z jednoczesnym wykorzystaniem ZigBee, WiFi oraz PLC.

W raporcie przedstawiono również opis oraz scharakteryzowano wady i zalety stosowania zamkniętych i otwartych protokołów komunikacyjnych. Najlepszym – w ocenie zespołu przygotowującego raport – modelem dla zapewnienia kompatybilności standardów komunikacji jest zastosowanie publicznego, otwartego protokołu oraz certyfikacja zgodności ze standardem przez jednostki niezależne od producentów urządzeń.

Omówiono również zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa przesyłanych danych. Zagadnienia te są istotne w ISD ze względu na powszechny dostęp do mediów transmisyjnych zarówno przewodowych, jak i bezprzewodowych. Niezależnie od stosowanego protokołu i medium transmisyjnego wszystkie rozwiązania korzystają z aktualnych technik zabezpieczeń transmisji pozwalających na ochronę Odbiorcy przed nieautoryzowanym dostępem do danych wymienianych ramach ISD. W procesie uwierzytelnienia stosowane są zarówno techniki sprzętowe polegające na wykorzystywaniu unikalnych identyfikatorów urządzeń włączanych do sieci ISD, jak i programistyczne polegające na wykorzystaniu uznawanego obecnie za bezpieczny sposobu kodowania

transmitowanych danych (np. 128-bit AES, WPA2). Proces uwierzytelnienia wymaga udziału Odbiorcy, zatem bardzo istotne dla bezpieczeństwa sieci jest odpowiednie dostarczenie i przechowywanie hasła.

W raporcie przedstawiono również opis wybranych elementów ISD. Przeprowadzony przegląd w zakresie aktualnych rozwiązań układowych i funkcjonalnych ISD pozwala stwierdzić, że obecny stan techniki umożliwia realizację założonych celów indykatorywnych określonych w krajowych i regionalnych politykach energetycznych, przy pomocy łatwych w implementacji i dostosowanych do indywidualnych preferencji i zdolności nabywczych Odbiorcy struktur ISD.

Opisano poszczególne elementy ISD, takie jak: bramy domowe, wyświetlacze, termostaty, przełączniki oraz aplikacje www umożliwiające konfigurację ISD, zarządzanie energią i analizę danych pomiarowych. Producenci wykazują świadomość konieczności stosowania bramy domowej o rozbudowanej funkcjonalności, zapewniającej możliwość integracji elementów o różnych protokołach komunikacyjnych, wykorzystujących różne media transmisyjne. W tej sytuacji pomimo istotnych różnic w sposobie komunikacji pomiędzy elementami ISD dostarczonymi przez różnych producentów, dzięki integralności ISD możliwe jest zcentralizowane sterowanie oraz zapewnienie nadrzędnej roli Odbiorcy w procesie decyzyjnym, regulującym sposób wykorzystania elementów jego gospodarstwa, co może mieć istotne znaczenie dla rozwoju ISD.

Dostępne komercyjnie systemy ISD charakteryzują się mnogością rozwiązań w dziedzinie medium transmisyjnego oraz protokołów komunikacyjnych. Wiele z nich jest dedykowanych implementacji w ISD i ich podstawowym zadaniem jest wyłącznie zarządzania energią i mediami. Systemy takie charakteryzują się optymalizacją kosztów infrastruktury stosowanej dla zapewnienia wymaganej przez Odbiorcę funkcjonalności. W ramach ISD możliwa jest integracja zarówno urządzeń zaawansowanych technologicznie posiadających dedykowane interfejsy komunikacyjne, jak i urządzeń niewyposażonych w taki element, poprzez zastosowanie elementów pośrednich w postaci gniazd pośrednich i konwerterów sygnałów.

Większość prezentowanych rozwiązań jest wyposażona w kanał komunikacji zewnętrznej umożliwiający koordynację wielu ISD. Pozwala to na wykorzystywanie efektu skali w celu osiągnięcia zamierzonych efektów systemowych. Jednocześnie zauważyć należy, że komunikacja zewnętrzna odbywa się różnymi drogami (za pośrednictwem AMI lub sieci Internet), w zależności od zaawansowania tych struktur w poszczególnych krajach.

Producenci dostarczają wsparcie dla ISD, umożliwiające samodzielną konfigurację, nawet przez użytkowników nieposiadających zaawansowanej wiedzy z dziedziny teleinformatyki. Oferowane wsparcie techniczne i programistyczne dostarczane z infrastrukturą ISD jest szczególnie potrzebne podczas instalacji i pierwszej konfiguracji (wizards itp.). Użytkownikom o mniejszej świadomości związanej z zarządzaniem energią dostarczane są dodatkowe usługi w tym zakresie (modele predefiniowane, praca systemu w trybie „default mode” itp.).

Proponowane rozwiązania umożliwiają zarówno prostą obserwację przez Odbiorcę profilu zużycia mediów i energii, jak również automatyczne sterowanie pracą urządzeń, według zdefiniowanych przez użytkownika priorytetów. Oznacza to również różny poziom złożoności oferowanych systemów, który zależy bezpośrednio od oczekiwanej przez Odbiorcę funkcjonalności.

Funkcjonalność stosowanych obecnie rozwiązań może pozwolić na wykorzystanie infrastruktury ISD do świadczenia usług dodatkowych (nieenergetycznych), mających na celu dywersyfikację nakładów inwestycyjnych.

W raporcie przedstawiono również analizę oddziaływania na użytkowników ISD pól elektromagnetycznych o częstotliwościach radiowych, generowanych przez urządzenia wykorzystujące komunikację radiową oraz analizę specyficznych aspektów kompatybilności elektromagnetycznej systemów ISD. Zdaniem autorów raportu zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej może być jednym z kluczowych aspektów warunkujących rozwój ISD.

Infrastruktura Sieci Domowej, pomimo umiejscowienia poza strukturami elektroenergetycznej sieci zawodowej, wydaje się być jednym z najważniejszych ogniw sieci Smart Grid. Spełniać ma zadania szeroko rozumianego zarządzania energią lub mediami energetycznymi (i innymi) na poziomie rozproszonego Odbiorcy końcowego przynosząc mu wymierne korzyści finansowe w postaci redukcji kosztów i mniejszej zależności od sieci systemowej. Liczba potencjalnych węzłów zawierających ISD, jak również ich wspomniane znaczne rozproszenie, czyni z nich także doskonałe narzędzie do poprawy stabilności oraz niezawodności sieci elektroenergetycznych. Wzajemna koordynacja pracy ISD z wykorzystaniem infrastruktury AMI pozwolić może na łatwiejsze osiągnięcie celów indykatorywnych określonych np. w pakiecie 3x20. Aby to umożliwić, niezbędne jest określenie warunków wzajemnej współpracy AMI i ISD przez zdefiniowanie kanałów komunikacyjnych, zakresu wymienianych informacji oraz sposobu rozliczeń reakcji na sygnały operatorskie.

ISD posadowiona po stronie Odbiorcy końcowego – Odbiorcy Aktywnego, który poprzez implementację takiej struktury decyduje się na interaktywne wykorzystanie energii i mediów poprzez definiowanie sposobów ich wykorzystania w zależności od zewnętrznych lub wewnętrznych warunków kosztowych lub technicznych, powinna przynosić mu korzyści w postaci redukcji kosztów utrzymania jego gospodarstwa domowego (dotyczy także małych firm), związanych ze zużyciem energii i mediów. Należy zaznaczyć, że w większości wypadków zarządzanie energią i mediami związane jest z pewnym ograniczeniem komfortu lub koniecznością zmiany przyzwyczajeń związanych z użytkowaniem instalacji wchodzących w skład gospodarstwa. Mało komfortowe i mało efektywne w dłuższej perspektywie wydaje się także nałożenie na Odbiorcę obowiązku ciągłej kontroli aktualnych danych na temat zużycia i kosztów, dlatego ISD powinna przejąć obowiązki sterowania instalacjami wg ustalonych przez Odbiorcę kryteriów. Pozwala to na zachowanie jego nadrzędnej roli w procesach zarządzania energią i mediami. Odpowiednio zaprogramowana i skonfigurowana sprzętowo ISD pozwoli uchronić Odbiorcę przed negatywnymi skutkami drożejącej energii systemowej i jej nośników.

ISD jest systemem składającym się w większej części z układów teleinformatycznych, które nie wymagają stałej zabudowy. ISD powinna mieć zatem możliwość prostej i szybkiej instalacji i reinstalacji bez konieczności wykonywania prac budowlanych oraz przebudowy istniejących instalacji. Taka mobilność pozwala na łatwą rozbudowę systemu oraz upgrade sprzętowy w miarę rozwoju technologii. Możliwa jest też realizacja wdrożenia na bazie dzierżawy systemu od podmiotu zewnętrznego zajmującego się agregacją usług świadczonych przez większą ilość ISD na rzecz operatorów. W ramach ISD funkcjonować powinny dwa podstawowe kanały transmisyjne:

- Wewnętrzny, obejmujący swoim działaniem urządzenia wewnątrz gospodarstwa domowego Odbiorcy Aktywnego,
- Zewnętrzny, służący do komunikacji ISD ze światem zewnętrznym.

Wewnętrzna komunikacja w ramach ISD obejmuje pozyskiwanie informacji pomiarowej i ewidencyjnej, sterowanie pracą urządzeń oraz sygnalizację i wyświetlanie danych archiwalnych i synoptycznych na jednym ze zintegrowanych z ISD urządzeń wyświetlających. Struktura komunikacyjna ISD powinna być oparta na centralnym układzie koncentrującym i rozdzielającym sygnały – bramie domowej, której podstawową funkcją oprócz sterowania przepływem informacji powinno być także filtrowanie dostępu do ISD. Powinno stosować się w tym względzie sposoby i techniki znane i sprawdzone w sieciach informatycznych. Ze względu na brak standaryzacji w dziedzinie ISD najlepszym rozwiązaniem jest brama wieloprotokołowa, potrafiąca skomunikować urządzenia o różnych protokołach komunikacyjnych i wykorzystująca do komunikacji różne media (przewodowe i bezprzewodowe).

Brama domowa powinna także zapewnić filtrowany dostęp do ISD z zewnątrz za pomocą kanału zewnętrznego – internetowego. Kanał ten służyć ma zdalnemu dostępowi do ISD przez użytkownika lub upoważnionego przez niego podmiotu, np. dostawcy usług ISD. Pozwolić powinien także na uzyskanie informacji archiwalnych z kont internetowych Odbiorcy, znajdujących się na serwerach firm dostarczających mu energię i media. Osobnym kanałem zewnętrznym dla ISD jest AML, który udostępniany jest za pośrednictwem licznika inteligentnego znajdującego się na granicy instalacji elektrycznej Odbiorcy. Należy pamiętać, że liczniki te wyposażone będą w standardowe wyjścia komunikacyjne oparte na interfejsie USB oraz instalowane są często w znacznej odległości (kilka do kilkudziesięciu metrów) od pomieszczeń objętych ISD, dlatego ich integracja z ISD wymaga stosowania konwerterów sygnału (modemów) pozwalających na komunikację licznika AML z ISD za pomocą jednego ze stosowanych w niej protokołów. Konwerter powinien być instalowany bezpośrednio przy liczniku w części podlegającej nadzorowi naruszenia strefy. Osobną kwestią pozostaje forma i tryb instalacji konwertera, gdyż wymaga to zgody operatora i obłożone jest w chwili obecnej opłatą. Miejsce to – choć kłopotliwe proceduralnie dla instalatora – zapewnia optymalną ochronę przed nieuprawnionym dostępem i próbą naruszenia prywatności Odbiorcy przez działania osób trzecich zmierzające do pozyskania danych chronionych.

Komunikacja wewnętrzna, jak i zewnętrzna, w ramach ISD powinna zapewniać ochronę transmitowanych informacji poprzez stosowanie kluczy sprzętowych i programowych na wzór domowych sieci informatycznych, natomiast udział podmiotów zewnętrznych, takich jak operatorzy czy dostawcy usług ISD, w procesie zarządzania energią powinien być dodatkowo objęty umowami dwustronnymi.

Najważniejszym elementem ISD – obok bramy domowej – powinien być Lokalny System Zarządzania Energią, który powinien archiwizować dane pomiarowe z liczników funkcjonujących w ramach ISD, przechowywać konfigurację i algorytm działania ISD oraz generować sygnały sterujące.

Należy pamiętać, że chociaż ISD w większej części składa się z elementów teleinformatycznych, jest mikrosystemem energetycznym, gdyż oddziałuje na przetworniki energii i mediów. Infrastruktura komunikacyjna służyć ma celom związanym z zarządzaniem energią i mediami. Infrastruktura komunikacyjna ISD w pewnej części (komunikacja

zewnątrzną kanałem internetowym) może być natomiast wykorzystana do świadczenia usług nieenergetycznych związanych z ochroną życia i mienia Odbiorcy.

Chociaż ISD działać powinna przede wszystkim na korzyść Odbiorcy Aktywnego, to poprzez odpowiedź na sygnały kosztowe (taryfowe) pośrednio przyczynia się także do uzyskiwania efektów szerszych w skali sieci systemowych w postaci redukcji obciążeń szczytowych i wyrównywania krzywej obciążenia dobowego (odpowiedź na stymulację taryfami wielostrefowymi), co bezpośrednio przekłada się na wzrost efektywności systemów, np. elektroenergetycznych. W celu eliminacji możliwości wywierania przez operatorów nadmiernej presji cenowej dla osiągnięcia takich rezultatów, ISD powinna mieć możliwość realizacji takich zadań w postaci usług systemowych w odpowiedzi na zgłoszone przez operatorów zapotrzebowanie na redukcję lub zwiększenie mocy pozwalające na ich osiągnięcie. Decyzja o udziale w takim programie powinna być suwerenną decyzją Odbiorcy i powinna być odpowiednio rozliczana. Jednocześnie w sytuacjach katastrofalnych Odbiorca posiadający wdrożoną ISD współpracującą z AMI, odpowiadając na otrzymany z wyprzedzeniem sygnał w trybie Emergency o potrzebie redukcji mocy, może uchronić swoje gospodarstwo przed całkowitym odłączeniem zasilania. Może także w porę rekonfigurować instalacje do pracy w trybie awaryjnym. Zaznaczyć należy, że samo wdrożenie ISD oraz jej skomunikowanie z AMI przynieść może korzyści obu stronom, tzn. operatorom i Odbiorcom, wyłącznie w sytuacji wypracowania przejrzystych i sprawiedliwych warunków technicznych i ekonomicznych współpracy tych elementów w ramach Smart Grid.

Odbiorca Aktywny, posiadający w swoim gospodarstwie takie elementy jak odbiorniki z możliwością regulowanej i koordynowanej pracy, małe układy generacyjne z odnawialnymi źródłami energii, magazyny energii (stacjonarne i mobilne – EV) oraz układy zarządzania z komunikacją zewnętrzną, stać się może nowym graczem na rynku energii oraz może przejąć część kompetencji nie tylko w zakresie wypełnienia celów wynikających z przyjętych pakietów energetycznych, ale także tych dotyczących poprawy bezpieczeństwa energetycznego, a wynikających z innych nieprzewidzianych przyczyn. ISD powinna być zatem technicznym narzędziem w ręku Odbiorcy świadomego energetycznie i powinna podnieść jego rangę w strukturze rynku energii.

Bibliografia:

- [1]. Gungor, V.C.; Sahin, D.; Kocak, T.; Ergut, S.; Buccella, C.; Cecati, C.; Hancke, G.P.; , „Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards,” *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* , vol.7, no.4, pp.529-539, Nov. 2011.
- [2]. V. C. Gungor, B. Lu, and G. P. Hancke, „Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 10, pp. 3557–3564, Oct. 2010.
- [3]. C. Gezer and C. Buratti, „A ZigBee smart energy implementation for energy efficient buildings,” in *Proc. IEEE 73rd Veh. Technol. Conf. (VTC Spring)*, May 15–18, 2011, pp. 1–5.
- [4]. D. Cypher, NISTIR 7761, NIST Priority Action Plan 2 Guidelines for Assessing Wireless Standards for Smart Grid Applications, 2011.
- [5]. V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, and S. Ergüt, „Smart grid communications and networking,” *Türk Telekom, Tech. Rep. 11316-01*, Apr. 2011.
- [6]. ZigBee smart energy profile specification, Version 1.1, Revision 16, 2011.
- [7]. A. Wheeler, „Commercial applications of wireless sensor networks using ZigBee,” *IEEE Commun. Mag.* , Apr. 2007.
- [8]. ZigBee Standards Organization, „ZigBee smart energy profile specification,” Document 075356r15, Dec. 2008.
- [9]. Y. Peizhong, A. Iwayemi, and C. Zhou, „Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 110–120, Mar. 2011.
- [10]. R. P. Lewis, P. Iqic, and Z. Zhongfu, „Assessment of communication methods for smart electricity metering in the U.K.,” in *Proc. IEEE PES/IAS Conf. Sustainable Alternative Energy (SAE)*, Sep. 2009, pp. 1–4.
- [11]. A. Yarali, „Wireless mesh networking technology for commercial and industrial customers,” in *Proc. Elect. Comput. Eng., CCECE*, May 1–4, 2008, pp. 47–52.
- [12]. M. Y. Zhai, „Transmission characteristics of low-voltage distribution networks in China under the smart grids environment,” *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 26, no. 1, pp. 173–180, Jan. 2011.
- [13]. <https://www.homeplug.org>
- [14]. Hoch, M.; , „Comparison of PLC G3 and PRIME,” *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, 2011 IEEE International Symposium on , vol., no., pp.165-169, Apr. 2011.
- [15]. S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang, „Power line communications and the smart grid,” in *First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, 2010.
- [16]. V. Paruchuri, A. Durresi, and M. Ramesh, „Securing powerline communications,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Power Line Commun. Appl., (ISPLC)*, Apr. 2–4, 2008, pp. 64–69.
- [17]. G. Bumiller, L. Lampe, and H. Hrasnica, „Power line communications for large-scale control and automation systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 4, pp. 106–113, Apr. 2010.
- [18]. M. Biagi and L. Lampe, „Location assisted routing techniques for power line communication in smart grids,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, 2010, pp. 274–278.
- [19]. K. Billewicz, *Książka Smart metering Inteligentny system pomiarowy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.

- [20]. B. Lu and V. C. Gungor, „Online and remote energy monitoring and fault diagnostics for industrial motor systems using wireless sensor networks,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 11, Nov. 2009.
- [21]. D. Dietrich, D. Bruckner, G. Zucker, and P. Palensky, „Communication and computation in buildings: A short introduction and overview,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 11, pp. 3577–3584, Nov. 2010.
- [22]. T. Sauter and M. Lobashov, „End-to-end communication architecture for smart grids,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1218–1228, Apr. 2011.
- [23]. M. S. Gast, 802.11. Sieci bezprzewodowe. Przewodnik encyklopedyczny, Helion 2003.
- [24]. P. Roshan, J. Leary, *Bezprzewodowe sieci LAN 802.11: podstawy*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2006.
- [25]. Fan, Z.; Kulkarni, P.; Gormus, S.; Efthymiou, C.; Kalogridis, G.; Sooriyabandara, M.; Zhu, Z.; Lambotharan, S.; Chin, W.; „Smart Grid Communications: Overview of Research Challenges, Solutions, and Standardization Activities,” *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* , vol.PP, no.99, pp.1-18, 2012.
- [26]. V. C. Gungor and G. Hancke, „Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 10, pp. 4258–4265, Oct. 2009.
- [27]. M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, „Wireless multimedia sensor and actor networks for the next generation power grid,” *Ad Hoc Networks*, vol. 9, no. 5, pp. 542–551, Jun. 2011.
- [28]. S. Dawson-Haggerty, A. Tavakoli, and D. Culler, „Hydro: A hybrid routing protocol for low-power and lossy networks,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun. (SmartGridComm)*, 2010, pp. 268–273.
- [29]. L. Wenpeng, D. Sharp, and S. Lancashire, „Smart grid communication network capacity planning for power utilities,” in *Proc. IEEE PES, Transmission Distrib. Conf. Expo.*, Apr. 19–22, 2010, pp. 1–4.
- [30]. Aravinthan, V.; Namboodiri, V.; Sunku, S.; Jewell, W., „Wireless AMI application and security for controlled home area networks,” *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE* , vol., no., pp.1-8, 24-29 July 2011.
- [31]. D. M. Laverty, D. J. Morrow, R. Best, and P. A. Crossley, „Telecommunications for smart grid: Backhaul solutions for the distribution network,” in *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Jul. 25–29, 2010, pp. 1–6.
- [32]. V. C. Gungor and F. C. Lambert, „A survey on communication networks for electric system automation,” *Comput. Networks*, vol. 50, pp. 877–897, May 2006.
- [33]. P. Palensky and D. Dietrich, „Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads,” *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, Aug 2011.
- [34]. C. Cecati, C. Citro, and P. Siano, „Combined operations of renewable energy systems and responsive demand in a smart grid,” *IEEE Trans. Sustainable Energy*, 2012.
- [35]. National Institute of Standards and Technology, „NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 1.0,” Jan. 2010.
- [36]. Trilliant, *White papers, The Home Area Network: Architectural Considerations for Rapid Innovation*, 2010.
- [37]. SSWG, *Security Whitepaper, VERSION:1.2* Oct. 2011.
- [38]. Liu, J.; Xiao, Y.; Li, S.; Liang, W.; Chen, C.; „Cyber Security and Privacy Issues in Smart Grids,” *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* , vol.PP, no.99, pp.1-17, 2012.

- [39]. Naruchitparames, J.; Gunes, M.H.; Evrenosoglu, C.Y.; „Secure communications in the smart grid,” Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE , vol., no., pp.1171-1175, 9-12 Jan. 2011.
- [40]. A. Lee and T. Brewer, „Guidelines for smart grid cyber security: Vol. 1, smart grid cyber security strategy, architecture, and high-level requirements,” NISTIR 7628, 2010.
- [41]. R. P. Lewis, P. Igic, and Z. Zhongfu, „Assessment of communication methods for smart electricity metering in the U.K.,” in Proc. IEEE PES/IAS Conf. Sustainable Alternative Energy (SAE), Sep. 2009, pp. 1–4.
- [42]. Q. Yang, J. A. Barria, and T. C. Green, „Communication infrastructures for distributed control of power distribution networks,” IEEE Trans. Ind. Inform., vol. 7, no. 2, pp. 316–327, May 2011.
- [43]. Navda, V.; Bohra, A.; Ganguly, S.; Rubenstein, D.; „Using Channel Hopping to Increase 802.11 Resilience to Jamming Attacks,” INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE , vol., no., pp.2526-2530, 6-12 May 2007
- [44]. Tyndall, M.; Marshall, R.; Armstrong, E.K.; Marshman, C.; „Potential EMC implementation problems of smart metering, display and communications,” Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on , vol., no., pp.1-5, 5-7 Dec. 2011.
- [45]. Betta, G.; Capriglione, D.; Ferrigno, L.; Miele, G.; „Measurement Apparatus Electromagnetic Susceptibility to ZigBee Transmitters,” Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006. IMTC 2006. Proceedings of the IEEE , vol., no., pp.487-492, 24-27 April 2006.
- [46]. Betta, G.; Capriglione, D.; Ferrigno, L.; Miele, G.; „Experimental Investigation of the Electromagnetic Interference of ZigBee Transmitters on Measurement Instruments,” Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on , vol.57, no.10, pp.2118-2127, Oct. 2008.
- [47]. Churng-Jou Tsai; Bo-Yuan Tsai; Jinn-Kwei Guo; Chun-Lin Lu; Chang-Fan Liu; Yu-Sheng Lin; Yeong-Her Wang; „Analysis of the EM Field Distribution in Smart Home,” Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2010 International Conference on , vol., no., pp.167-170, 26-28 Sept. 2010.
- [48]. Fanning, C.W.; „Evaluating Cell Phone and Personal Communications Equipment and their EMC Effects on Automotive Audio and In-Cabin Modules,” Electromagnetic Compatibility, 2007. EMC 2007. IEEE International Symposium on , vol., no., pp.1-6, 9-13 July 2007.
- [49]. R. Smoleński, Conducted electromagnetic interference (EMI) in smart grids, London, Springer-Verlag, 2012.
- [50]. A. Kempski, Elektromagnetyczne zaburzenia przewodzone w układach napędów przekształtnikowych, Zielona Góra: Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2005.
- [51]. R. Smoleński, A. Kempski, Sumaryczne zaburzenia przewodzone generowane w systemach zawierających przekształtniki energoelektroniczne, Przegląd Elektrotechniczny, s. 347-352, 2010.
- [52]. R. Smoleński, A. Kempski, T. Tarczewski, Wnikanie do sieci rozdzielczych SN zaburzeń elektromagnetycznych przewodzonych generowanych przez przekształtniki energoelektroniczne w sieciach nn, Przegląd Elektrotechniczny, s. 147-150, 2010.