ATENDESOFTWARE

Propozycja interfejsu AMI-HAN

Warszawa, 10 marca 2014

Atende Software sp. z o.o.
ul. Ostrobramska 86, 04-163 Warszawa
tel. +48 22 255 11 00, fax. +48 255 15 50
www.atendesoftware.pl

Historia zmian dokumentu

Projekt	Atende Software sp. z o.o.		
Tytuł dokumentu	Propozycja interfejsu AMI-HAN		
Wersja	1.0	**Data**	2013-09-17
Wykonanie	**Przegląd**		**Zatwierdzenie**
Paweł Pisarczyk Paweł Kołodziej	Rafał Jurkiewicz Paweł Pisarczyk Krzysztof Kielak Tomasz Laskus Mariusz Stusiński		Paweł Pisarczyk

Tabela 1: Historia zmian dokumentu

Wersja	Data	Opis	Wykonanie
0.1	2013-09-02	Stworzenie pierwszej wersji dokumentu	Paweł Pisarczyk
0.2	2013-09-04	Dodanie przypadków użycia	Paweł Pisarczyk
0.3	2013-09-10	Opis przypadków użycia	Paweł Pisarczyk
0.4	2013-09-13	Dodanie diagramów sekwencji	Paweł Pisarczyk
0.5	2013-09-28	Rozbudowa opisów i opisów ZigBee, Z-Wave	Paweł Pisarczyk Paweł Kołodziej
0.6	2013-10-01	Dodanie opisu schematów generacji, absorpcji i zużycia. Rozszerzenie opisów.	Paweł Pisarczyk
0.7	2013-11-11	Zmiana struktury dokumentu, dodanie opisów danych.	Paweł Pisarczyk Tomasz Pomorski
0.8	2013-11-11	Uzupełnienia diagramów sekwencji.	Paweł Pisarczyk
0.85	2013-11-17	Dodanie nowych przypadków użycia,	Paweł Pisarczyk

		rozdział n/t interfejsów.	
0.9	2013-12-01	Rozbudowa rozdziału n/t USB.	Paweł Pisarczyk
0.98	2014-01-11	Dodanie rozdziału z podsumowaniem.	Paweł Pisarczyk
0.99	2014-03-08	Dodanie rozdziału dotyczącego Wireless M-Bus	Paweł Pisarczyk
1.0	2014-03-09	Poprawienie literówek, korekty.	Paweł Pisarczyk

Spis treści

Słownik pojęć 7

Wstęp 9

Metody komunikacji w HAN 10

Systemy radiowe 10

ZigBee 10

Z-Wave 11

Technologie przewodowe i PLC 13

Protokół Wireless M-Bus 15

Warstwa fizyczna 15

Warstwa łącza danych – tryby pracy 16

Warstwa aplikacji oraz bezpieczeństwo 20

Dyskusja wykorzystania Wireless M-Bus do komunikacji z siecią HAN 21

Przypadki użycia 23

Sposób prezentacji przypadków użycia 24

Identyfikacja i uwierzytelnienie 25

Pobranie danych pomiarowych 26

Przekazanie danych pomiarowych 26

Pobranie schematu generacji 28

Propozycja struktury schematu generacji 28

Przekazanie schematu generacji 29

Pobranie schematu absorbcji 31

Propozycja struktury schematu absorpcji 31

Przekazanie schematu absorpcji 32

Przekazanie schematu zużycia 34

Propozycja struktury schematu zużycia 34

Pobranie schematu zużycia 35

Sterowanie generacją 36

Pobranie poleceń sterujących generacją 36

Sterowanie absorpcją 38

Pobranie komunikatów sterujących absorpcją 38

Przekazanie komunikatów ... 40
Pobranie komunikatów ... 40
Pobranie danych innych mediów ... 42
Przekazanie danych innych mediów ... 42
Badanie aktywności ... 44
Diagramy sekwencji, analiza danych ... 45
Identyfikacja i uwierzytelnienie ... 45
Pobranie i przekazanie danych pomiarowych ... 47
Przekazywane dane ... 48
Pobranie i przekazanie schematu generacji ... 54
Przekazywane dane ... 55
Pobranie i przekazanie schematu absorpcji ... 59
Przekazywane dane ... 60
Przekazanie i pobranie schematu zużycia ... 64
Przekazywane dane ... 65
Sterowanie generacją ... 68
Sterowanie absorpcją ... 70
Przekazanie i pobranie komunikatów ... 72
Przekazywane dane ... 73
Pobranie i przekazanie danych innych mediów ... 76
Inicjalizacja komunikacji AMI-HAN ... 78
Przekazywane dane ... 80
Interfejsy urządzeń ... 82
Interfejsy szeregowe RS-232, RS-422, RS-485 ... 82
Standard RS-232 ... 84
Standard RS-422 ... 84
Standard RS-485 ... 85
Interfejs USB ... 86
Architektura i komunikacja USB ... 88
Warstwa fizyczna i elektryczna ... 89
Typy pakietów i rodzaje komunikacji ... 91
Detekcja urządzeń i ich stany ... 94
Kontroler USB (host) ... 98
Podsumowanie ... 98

Rekomendacje dla interfejsu Licznika do podłączenia HAN Adapter 99
Literatura 101

Słownik pojęć

Termin/skrót	Objaśnienie
Atrybut obiektu	Pole struktury danych reprezentującej obiekt posiadające określony typ i nazwę. Przykładem atrybutu jest np. bufor obiektu pomiarowego zawierający dane profilu energii.
DLMS	(ang. Device Language Message Specification) Protokół komunikacyjny do wymiany danych z urządzeniami pomiarowymi. Protokół składa się z następujących jednostek: OPEN, RELEASE, ABORT, GET, SET, ACTION, EventNotification, za pomocą których ustanawiana jest sesja z urządzeniem pomiarowym (OPEN, RELEASE, ABORT), pobierane/zapisywane dane (GET, SET) atrybutów obiektów pomiarowych oraz wywoływane metody obiektów pomiarowych (ACTION). Układy pomiarowe mogą także przekazywać asynchronicznie zdarzenia do systemu akwizycji danych za pomocą jednostki protokołu EventNotification. Protokół jest obecnie powszechnie wykorzystywany w systemach Smart Metering.
COSEM	(ang. Companion Specification for Energy Metering) Model interfejsu obiektowego dla układów pomiarowych energii elektrycznej (zdefiniowany w normie IEC-62056-62). Model definiuje klasy obiektów wykorzystywanych w układach pomiarowych energii elektrycznej np. rejestr podstawowy, rozszerzony, profil. Każda klasa składa się z atrybutów oraz metod. Dane z układu pomiarowego odczytywane są za pomocą protokołu DLMS poprzez odczyt określonych atrybutów obiektów identyfikowanych za pomocą kodów OBIS. Sterowanie układem pomiarowym może odbywać się poprzez zapis atrybutów obiektów lub wywoływanie metod obiektów.
Klasa obiektu	Struktura danych definiująca obiekt składająca się z atrybutów (danych) i metod (funkcji) wywoływanych w celu modyfikacji stanu obiektu lub wykonania określonych operacji.
Inne media	Media nieelektryczne, w szczególności: gaz, woda, ciepło.
Metoda obiektu	Funkcja przypisana do obiektu (poprzez definicję klasy) służąca do modyfikacji jego stanu lub wykonania określonych operacji. Przykładem jest np. metoda `reset()` rejestru profilu służąca do usunięcia danych pomiarowych i sprowadzenia go do stanu podstawowego.
Obiekt pomiarowy	Obiekt danych określonej klasy wykorzystywany w procesie pomiaru w układzie pomiarowym. Najczęściej obiekty pomiarowe definiowane są z pomocą specyfikacji COSEM (IEC-62056-62). Przykładem obiektu pomiarowego jest np. rejestr klasy BaseRegister służący do pomiaru energii czynnej A+.
OBIS	(ang. Object Identification System) System identyfikacji obiektów pomiarowych dla urządzeń pomiarowych wyrażony w postaci kodów. Kody OBIS traktowane są jako logiczne nazwy obiektów COSEM pozwalające na ich identyfikację. Dokładny opis kodów OBIS znajduje się w normie PN-IEC-62056-61.

OSD (Operator Systemu Dystrybucyjnego)	Przedsiębiorstwo energetyczne zajmujące się dystrybucją energii elektrycznej, odpowiedzialne za ruch sieciowy w systemie dystrybucyjnym, bieżące i długookresowe bezpieczeństwo funkcjonowania tego systemu, eksploatację, konserwację, remonty oraz niezbędną rozbudowę sieci dystrybucyjnej, w tym połączeń z innymi systemami elektroenergetycznymi. Zobowiązane jest do zbierania, gromadzenia i udostępniania danych pomiarowych z liczników energii elektrycznej.
PLC	(ang. Power Line Communication) Technologia umożliwiająca transmisję danych z wykorzystaniem linii energetycznych niskiego napięcia poprzez równoległe przesyłanie sygnału zasilającego o częstotliwości 50Hz i sygnału danych o częstości do 100MHz. Ze względu na zakłócenia i zmienność w czasie parametrów kanału transmisji, stosuje się wiele metod modulacji (FSK, PSK, DCSK, OFDM i metod nadmiarowego kodowania danych oraz tolerowania błędów).
PRIME	(ang. PoweRline Intelligent Metering Evolution) Standard komunikacji PLC, , bazujący na modulacji OFDM (wykorzystuje 96+1 podnośnych). Standard opisuje warstwę fizyczną PHY, łącza danych MAC i konwergencji CL. Ważnym elementem standardu jest automatyczne budowanie sieci kratowej typu MESH służącej do repetycji danych. Pierwotnie opracowany na potrzeby Iberdrola, zarządzany przez PRIME Alliance, otwarty, tzn. dostępny bez ograniczeń także dla podmiotów nie należących do PRIMR Alliance

Wstęp

W niniejszym dokumencie opisano propozycję specyfikacji komunikacji pomiędzy AMI i siecią HAN.

W rozdziale pierwszym zaprezentowano krótką charakterystykę sieci HAN i stosowanych w nich metod komunikacji.

W rozdziale 2 przedstawiono protokół Wireless M-Bus stosowany do bezprzewodowego odczytu pomiarów mediów nieelektrycznych, takich jak woda, ciepło i gaz. Opis protokołu przedstawiono ze względu na jego powszechną implementację w licznikach energii elektrycznej i powszechną dyskusję dotyczącą możliwości wykorzystania tego protokołu do komunikacji z siecią HAN.

W rozdziale 3 opisano przypadki użycia dla sieci HAN z punktu widzenia OSD.

W rozdziale 4 przedstawiono diagramy sekwencji dla realizacji przypadków i analizę przekazywanych danych. Celem jest prezentacja semantyki komunikacji pomiędzy AMI, licznikiem i HAN. Analiza przeprowadzona w tym rozdziale ma na celu ustrukturalizowanie wymagań dla HAN i określenie rekomendacji dla technologii integracji z licznikiem.

W rozdziale 5 zaprezentowano interfejsy stosowane w systemach mikroprocesorowych do integracji układów peryferyjnych.

Rozdział 6 zawiera rekomendacje dla technologii służących do integracji HAN z systemem AMI.

Metody komunikacji w HAN

Sieć HAN łączy urządzenia automatyki domowej znajdujące się na zwartym obszarze np. w jednym domu. Mogą być to urządzenia takie jak:

- włączniki i ściemniacze oświetlenia,
- gniazda sieciowe z funkcją odłączenia zasilania i pomiaru mocy (tzw. AGP),
- mierniki zużycia energii elektrycznej,
- mierniki innych mediów (np. woda, gaz, ciepło),
- czujniki otwarcia drzwi i okien,
- czujniki ruchu
- sterowniki rolet,
- termometry i termostaty,
- kontroler domu,
- (eksperymentalnie) przekształtniki energii, do których podłączone są mikroźródła energii elektrycznej, np. OZE, akumulatory stacjonarne oraz gniazda ładowania pojazdów elektrycznych.

Komunikacja między urządzeniami może odbywać się z wykorzystaniem różnych mediów:

- radiowo,
- poprzez wydzielone okablowanie (elektryczne lub nieelektryczne),
- poprzez okablowanie zasilające (PLC).

Systemy radiowe

Systemy radiowe nie wymagają instalacji dedykowanego okablowania, co czyni je łatwymi i tanimi w instalacji. Ponieważ część urządzeń zasilana jest bateryjnie (np. czujniki otwarcia okien), a komunikacja odbywa się w paśmie nielicencjonowanym (niska moc emisji) konieczne jest zastosowanie interfejsów radiowych o bardzo ograniczonej mocy nadajników. Aby uzyskać zadowalającą komunikację, nawet na znaczne odległości, w obszarze nieprzychylnym transmisji radiowej (znaczna ilość przeszkód, takich jak ściany, stropy, zbrojenia, metalowe instalacje) stosuje się protokoły trasowania typu mesh. Każdy element takiej sieci może działać jak router, retransmitując pakiety nadawane przez inne węzły. Tworzenie topologii sieci odbywa się automatycznie (bez udziału użytkownika), a wraz z upływem czasu sieć adaptuje się do zmian topologii (wyłączenie urządzenia, zmiana jego lokalizacji, dodanie nowego urządzenia). Budowanie dynamicznej topologii stanowi jedną z najważniejszych cech technologii komunikacyjnej dla HAN i cechę różnicującą technologie.

ZigBee

ZigBee jest protokołem radiowym, tworzącym sieć typu mesh. Transmisja radiowa odbywa się w paśmie 2,4GHz (standard przewiduje również pasmo 868 MHz, które jednak do tej pory nie zostało

wykorzystane w dostępnych na rynku urządzeniach). W sieci jeden węzeł jest koordynatorem – odpowiada on za zarządzanie siecią. Do jego zadań należy m.in. wybór kanału radiowego, ustalenie klucza szyfrującego transmisję, podłączanie nowych urządzeń do sieci.

Urządzenia ZigBee mogą działać w ramach jednego z profili aplikacyjnych z których najpopularniejsze to:

- Home Automation – umożliwia sterowanie urządzeniami automatyki domowej,
- Smart Energy - umożliwiają realizację programów DSR,
- Light Link – umożliwia sterowanie oświetleniem.

Protokół ZigBee jest protokołem otwartym. Dostępna dokumentacja umożliwia niezależną implementację protokołu. Na rynku obecnych jest wiele układów scalonych umożliwiających implementację stosu ZigBee.

Z-Wave

Z-Wave jest protokołem radiowym, tworzącym sieć typu mesh. Transmisja radiowa odbywa się w paśmie 868 MHz. Podobnie jak w sieci ZigBee jeden węzeł pełni rolę koordynatora sieci. Warstwa aplikacyjna protokołu Z-Wave jest odpowiednikiem funkcjonalnym profilu Home Automation ZigBee.

Układy scalone umożliwiające budowę urządzeń Z-Wave są produkowane wyłącznie przez firmę Sigma Designs. Dostępna jest jedynie fragmentaryczna specyfikacja protokołu. W szczególności brak specyfikacji warstwy sieciowej odpowiedzialnej za routing typu mesh.

W Tabela 2 zaprezentowano porównanie funkcji protokołów radiowych dla HAN.

Cecha	**ZigBee**	**Z-Wave**
Otwartość	ZigBee - w pełni otwarty, dostępne układy scalone i stosy różnych producentów	Warstwa sieciowa (routing itp.) zamknięta. Produkowane wyłącznie przez Sigma Designs.
Rozwój urządzeń	Oprogramowanie dostępne za darmo, duża złożoność API	Duży koszt SDK + kompilator (5K USD), prostsze API
Interoperacyjność	Znaczna część urządzeń implementuje "vendor specific profile" - logo ZigBee nie oznacza, że urządzenie będzie pracowało z wybranym kontrolerem. Dodatkowo znaczna liczba "profili": home automation, smart energy 1.1 i 2.0 (2.0 wymaga IP), light link.	Dostępne na rynku urządzenia udostępniają standardowy interfejs

	Urządzenia tworzą sieć tylko w ramach jednego profilu (np. żarówki Light Link nie przekazują pakietów gniazd "Home automation").	
Bezpieczeństwo	Klucz przesyłany otwartym tekstem przy parowaniu urządzeń. Dostępne sniffery open source.	?
Popularność	mało urządzeń produkowanych seryjnie	dużo urządzeń dostępnych na rynku np. firmy Fibaro

Tabela 2 Porównanie technologii komunikacji bezprzewodowej w sieciach HAN

W oparciu o powyższą tabelę widać, że Z-Wave, mimo, że jest standardem zamkniętym, jest łatwiejszy w implementacji ze względu na jednolity standard i łatwe w użyciu SDK. Wadą rozwiązania jest wysoki koszt układu scalonego.

W Tabela 3 przedstawiono porównanie parametrów transmisyjnych oraz kosztów układów scalonych do realizacji komunikacji w sieciach ZigBee, Z-Wave.

Cecha	**ZigBee 868 MHz**	**ZigBee 915 MHz**	**ZigBee 2.4 GHz**	**Z-Wave**
Modulacja	DSSS	DSSS	DSSS	GFSK
Kodowanie	GFSK, O-QPSK, MPSK	GFSK, O-QPSK, MPSK	O-QPSK	Manchester
Częstotliwość	868.0-868.6 MHz	902-928 MHz	2.4-2.4825 GHz	868.42 MHz
Samoorganizacja	tak	tak	tak	tak
Przepływność	20 kbps	40 kbps	250 kbps	40 kbps
Bezpieczeństwo	AES128	AES128	AES128	AES128
Otwartość	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4	zamknięty

Koszt	-	-	2.5 USD	5 USD

Tabela 3 Porównanie technologii komunikacji bezprzewodowej w sieciach HAN

Na podstawie powyższej tabeli widać, że obie technologie cechują się bardzo zbliżonymi parametrami transmisyjnymi i są ze sobą porównywalne. Zaletą ZigBee jest otwarty standard, niestety wadą jest ten sam standard, który jest bardzo rozbudowany i przez to trudny w implementacji. Na rynku dominują urządzenia, które nie są zgodne z żadnym z opublikowanych modeli programowych urządzeń, tylko implementują modele specyficzne dla producenta.

Technologie przewodowe i PLC

LonWorks

LonWorks może używać do komunikacji wydzielonego okablowania (para przewodów) lub kabli zasilających (Power Line Communication). W tym drugim przypadku wykorzystywane są pasma CELENEC B oraz C. Możliwa jest implementacja systemu mieszanego, gdzie część urządzeń komunikuje się poprzez dedykowane okablowanie a część przez kable zasilające. Rozwiązanie nie nakłada ograniczeń na topologie sieci. Dopuszczalna topologia to: szyna, gwiazda, pierścień oraz topologia mieszana.

Każde urządzenie w sieci LonWorks jest widoczne jako zestaw zmiennych (np. temperatura, stan przełącznika). Urządzenia mogą odczytywać wartości zmiennych w innych urządzeniach i na tej podstawie podejmować akcje (np. sterownik ogrzewania podłogowego może odczytywać temperatury z innych urządzeń).

KNX

KNX wykorzystuje do komunikacji zarówno dedykowane okablowanie (para przewodów) jak i okablowanie zasilające. Standard przewiduje również rozszerzenie o komunikację radiową oraz TCP/IP. Możliwe jest łączenie różnych mediów w ramach jednego wdrożenia.

Stan urządzenia jest widoczny poprzez zmienne (Group Value). Zmiana stanu jest rozgłaszana do zainteresowanych urządzeń, które mogą podjąć na tej podstawie autonomiczną decyzję.

HomePlug

HomePlug to rodzina specyfikacji opisujących przesyłanie danych po liniach sieci energetycznej (PLC). Obejmują one różne zastosowania przesyłania danych, od IPTV czy Internetu do niewielkich danych sterujących i pomiarowych. Założeniem technologii HomePlug jest wykorzystanie istniejących sieci energetycznych. Dzięki temu nie jest konieczne instalowanie dodatkowego okablowania. System ten pozwala na połączenie w jedną sieć urządzeń AGD, komputerów, telewizorów etc.

Komunikacja między urządzeniami jest zabezpieczona - standard HomePlug AV i kolejne używają 128-bitowego algorytmu AES, starsze wersje używają mniej bezpiecznego algorytmu DES.

HomePlug AV wykorzystuje modulację OFDM w zakresie 2-28MHz. Najnowszą wersją jest HomePlug AV2, który zapewnia efektywną przepustowość 80Mb/s w warstwie MAC i wykorzystywać będzie także wyższe częstotliwości - powyżej 30MHz.

Technologia ta rozwijana jest przez HomePlug Powerline Alliance.

Protokół Wireless M-Bus

Standard M-Bus i powstał na początku lat dziewięćdziesiątych jako protokół do odczytu przemysłowych urządzeń pomiarowych i obecnie stanowi jeden z podstawowych, europejskich standardów przeznaczonych do odczytu pomiarów z liczników innych mediów, takich jak gaz, woda i ciepło.

Początkowo standard definiował sposób szeregowego przekazywania danych pomiarowych za pośrednictwem pary przewodów miedzianych, natomiast w roku 2003 pojawiło się rozszerzenie prEN-13757-4, opisujące sposób przekazywania danych drogą radiową w nielicencjonowanym paśmie 868 – 870 MHz.

Standard M-Bus opisany jest w zestawie następujących norm:

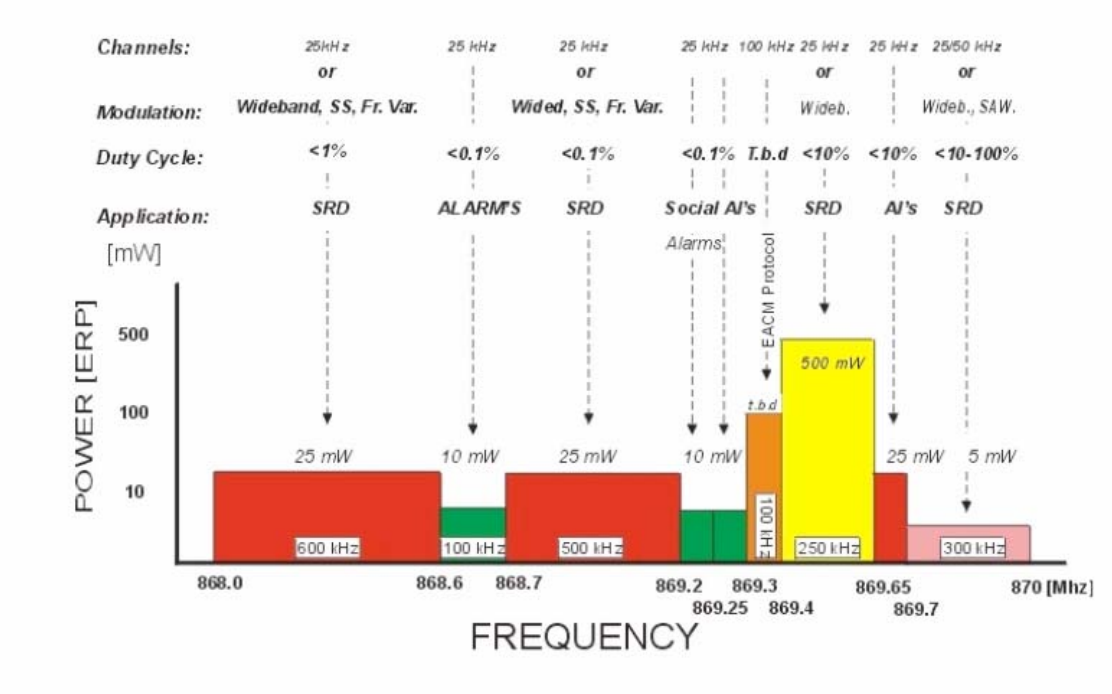
- **PE-EN 13757-1** *„Communication systems for meters and remote reading of meters - Part 1: Data exchange”* – wprowadzenie do standardu opisujące zasady komunikacji w sieci M-Bus;
- **PE-EN 13757-2** *„Communication systems for meters and remote reading of meters - Part 2: Physical and link layer”* – opis warstwy fizycznej i łącza danych dla wersji przewodowej;
- **PE-EN 13757-3** *„Communication systems for meters and remote reading of meters - Part 3: Dedicated application layer”* – opis protokołu aplikacyjnego służącego do wymiany danych z urządzeniami;
- **PN-EN 13757-4** *„Communication systems for meters and remote reading of meters - Part 4: Wireless meter readout (Radio meter reading for operation in the 868 MHz to 870 MHz SRD band)”* – opis standardu Wireless M-Bus (specyfikacja warstwy fizycznej i łącza danych);
- **PE-EN 13757-5** *„Communication systems for meters and remote reading of meters - Part 5: Relaying”* – ostatnia część standardu zawierająca propozycję rozszerzeń Wireless M-Bus służących do rozwiązanie problemu ograniczonego zasięgu. Propozycje to przekazywanie pakietów z wykorzystaniem jawnego wskazywania węzłów pośredniczących (routing) lub niejawnego, bazującego na automatycznej analizie sąsiedztwa przez węzły w sieci (w normie ten tryb pracy nazywa się gateway mode);

W dalszej części rozdziału zostanie zaprezentowany standard Wireless M-Bus oraz przedyskutowana jego możliwość wykorzystania do komunikacji z siecią HAN.

Warstwa fizyczna

Sygnał cyfrowy w Wireless M-Bus przekazywany jest za pomocą modulacji FSK. W zależności od trybu pracy protokołu wykorzystywany jest inny fragment widma w paśmie 868-870 MHz i nakładane są inne ograniczenia na emitowaną moc sygnału oraz sposób wykorzystania pasma. Przed modulacją sygnał cyfrowy poddawany jest kodowaniu Manchester lub 3+6 (w wybranych trybach pracy).

Na Rysunek 1 przedstawiono podział pasma 868-870 MHz na podprzedziały ze wskazaniem ograniczenia dla emitowanej mocy i zajętości danego fragmentu pasma przez pojedynczy nadajnik.



Rysunek 1 Podział pasma 868-870 MHz na podprzedziały ze wskazaniem ograniczeń i przeznaczenia

Prezentacja podziału pasma ma szczególne znaczenie ze względu na tryby pracy warstwy łącza danych Wireless M-Bus.

Warstwa łącza danych – tryby pracy

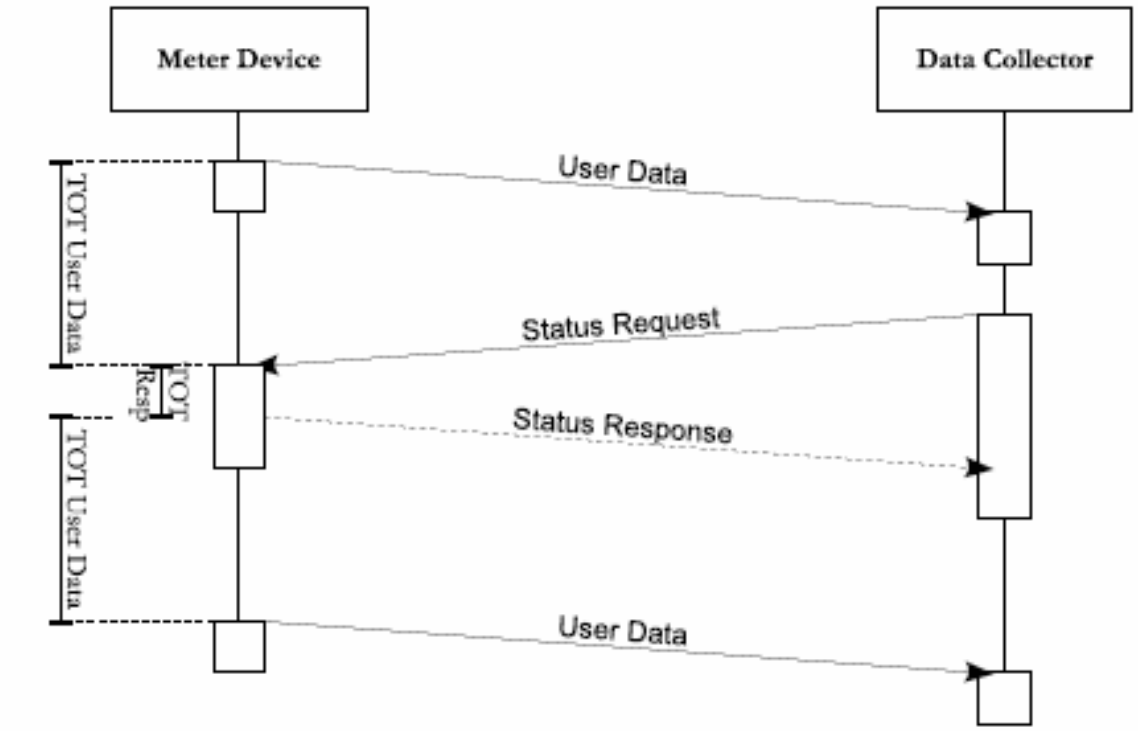
Wireless M-Bus może pracować w kilku trybach – zdefiniowano dwa tryby stacjonarne, przeznaczone do rzadkiej i sporadycznej komunikacji (S1 i S2) oraz trzy tryby (T1, T2, R2) przeznaczone do komunikacji krótkotrwałej, prowadzonej często (np. klika razy na minutę lub co kilka sekund).

Tryb	Opis	Pasmo	Ograniczenie	Przep.	Nagłówek	Przeznaczenie
S1	Transmisja jednokierunkowa (inicjowana przez układ pomiarowy).	868.0-868.6 MHz	1% (0.02% na licznik, okres 1h)	32.768 kcps	długi (pozwalający na wybudzenie urządzenia podtrzymywanego bateryjnie)	Odczyt stacjonarnych urządzeń pomiarowych w cyklu kilka razy na dobę, przez systemy podtrzymywane bateryjnie
S1-m	Transmisja jednokierunkowa (inicjowana przez układ pomiarowy).	868.0-868.6 MHz	1% (0.02% na licznik na 2 min.)	32.768 kcps	krótki	Odczyt stacjonarnych urządzeń pomiarowych w cyklu kilkuminutowym przez systemy stacjonarne.

S2	Transmisja dwukierunkowa (inicjowana przez układ pomiarowy).	868.0-868.6 MHz	1%	32.768 kcps	krótki, opcjonalny długi	Odczyt stacjonarnych urządzeń pomiarowych, permanentnie włączonych. Po wysłaniu wiadomości przez układ pomiarowy jego odbiornik pozostaje przez określany czas włączony w celu oczekiwania na transmisję od koncentratora.
T1	Transmisja jednokierunkowa (inicjowana przez układ pomiarowy).	868.7-869.2 MHz	0.1%	100 kcps	krótki	Odczyt urządzeń pomiarowych z częstością kilka razy na sekundę. Pojedyncza transmisja nie może przekraczać 5 ms.
T2	Transmisja dwukierunkowa (inicjowana przez układ pomiarowy).	**Tx:** 868.7-869.2 MHz **Rx**: 868.0-868.6 MHz	**Tx:** 0.1% **Rx**: 1%	**Tx:** 100 kcps **Rx**: 32.768 kcps	średni	Odczyt urządzeń pomiarowych z częstością kilka razy na sekundę z możliwością sterowania zakresem pobieranych danych. Przekazywanie innych danych, niż pomiarowe z układu pomiarowego do koncentratora (zakres danych, sterowany przez koncentrator).

R2		868.0-868.6 MHz	1%,	4.8 kcps		Odczyt danych z układów pomiarowych podtrzymywanych bateryjnie z optymalizacją zużycia energii. Po otrzymaniu nagłówka od koncentratora licznik odpowiada danymi w jednym z 10-u predefiniowanych kanałów pozwalających na transmisję danych z prędkością 4.8 kcps.

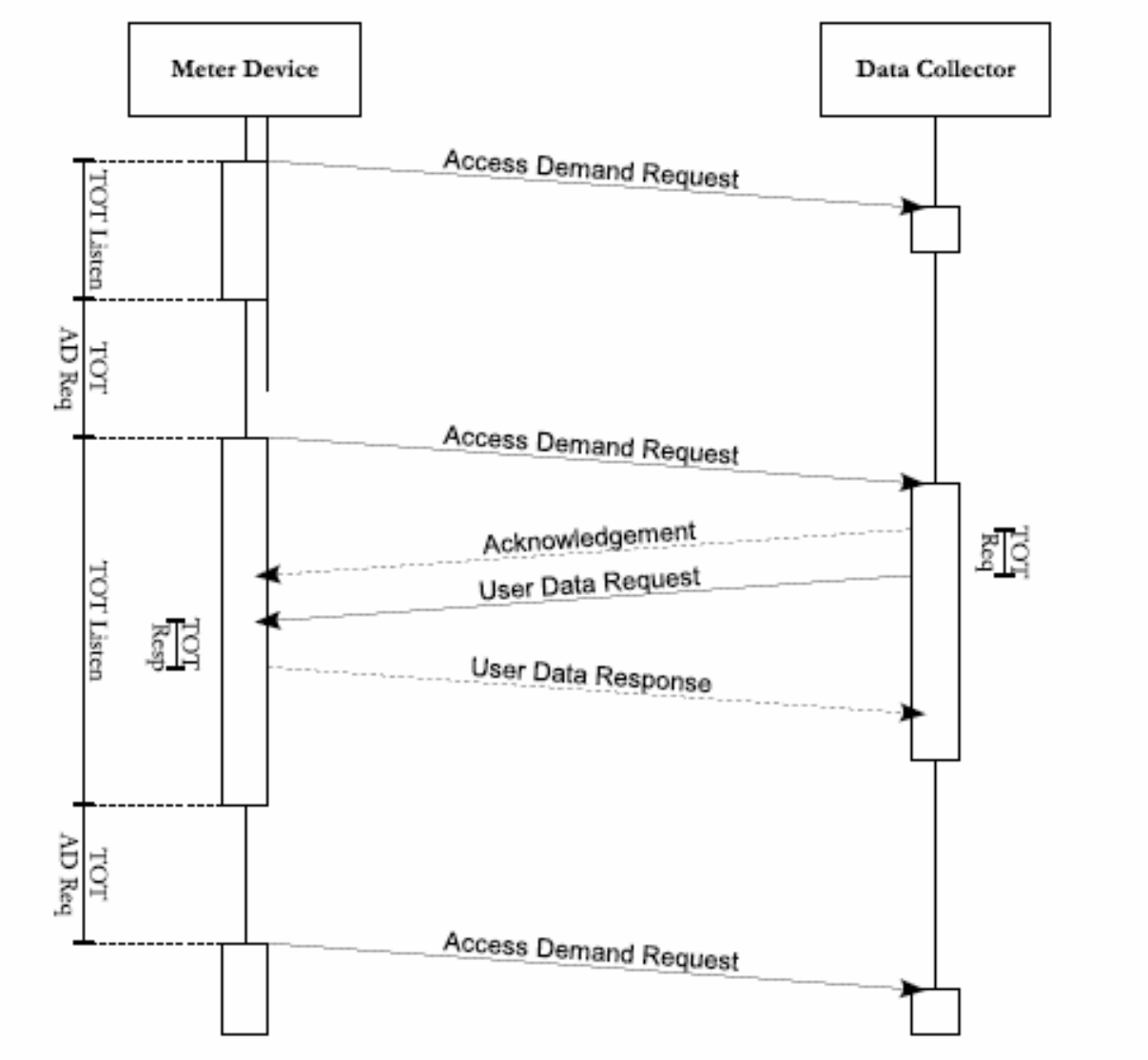
Na Rysunek 2 zaprezentowano diagram komunikacji dla trybu dwukierunkowego S2.



Rysunek 2 Diagram komunikacji dla trybu dwukierunkowego S2

W tym trybie komunikacja inicjowana jest przez układ pomiarowy, który, zgodnie z nałożonymi na niego ograniczeniami pasma, przekazuje dane do koncentratora. Po wysłaniu danych, układ przez określony czas oczekuje na komunikację ze strony koncentratora (komunikat Status Request). W odpowiedzi na komunikację ze strony koncentratora licznik przekazuje odpowiednie dane. Opisany tryb może pozwalać np. na potwierdzanie otrzymania danych i służyć do przesuwania wskaźnika danych, które zostały przekazane do koncentratora.

Na Rysunek 3 zaprezentowano diagram komunikacji dla trybu dwukierunkowego T2.

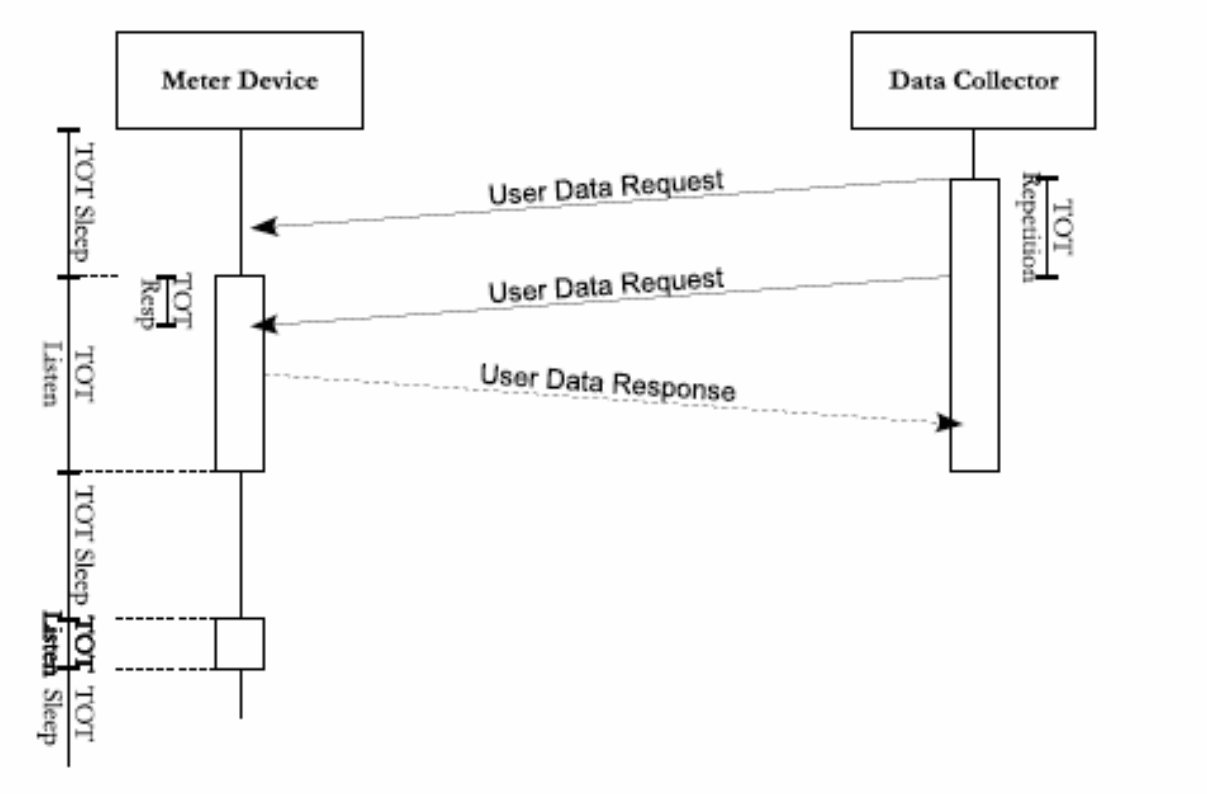


Rysunek 3 Diagram komunikacji dla trybu dwukierunkowego T2

W trybie T2 układ pomiarowy wysyła okresowo komunikat Access Demand Request informujący koncentrator o możliwości przeprowadzenia wymiany danych. W odpowiedzi na ten komunikat koncentrator przekazuje potwierdzenie, które wprowadza układ pomiarowy w stan oczekiwania na właściwe żądanie. Następnie koncentrator przekazuje żądanie, na które w odpowiedzi otrzymuje dane z układu pomiarowego. Należy podkreślić, że komunikacja od licznika do koncentratora prowadzona jest z inną prędkością i w innym kanale, niż komunikacja od koncentratora do licznika.

Tryb ten służy do przekazywania dowolnych danych od koncentratora do licznika i uzyskiwanie odpowiednich odpowiedzi. Zakłada się, że komunikacja może być prowadzona odpowiednio często pod warunkiem zachowania ograniczeń wykorzystania pasma.

Na Rysunek 4 zaprezentowano diagram komunikacji dla trybu dwukierunkowego R2.



Rysunek 4 Diagram komunikacji dla trybu R2

Tryb R2 powstał w celu komunikacji z urządzeniami o ograniczonym zasilaniu i umożliwienie oszczędzania energii.

W odpowiedzi na nagłówek pierwszego żądania przekazywanego przez koncentrator urządzenie ulega wybudzeniu i oczekuje na właściwe żądanie od koncentratora, na które generowana jest odpowiedź. Komunikacja, następująca po pierwszym żądaniu, odbywa się w jednym z dziesięciu kanałów komunikacyjnych (fragmentów pasma). Kanał wskazywany jest przez koncentrator w pierwszym żądaniu. Dzięki temu zmniejsza się znacznie prawdopodobieństwo kolizji w przypadku , gdy komunikacja prowadzona jest równolegle z wieloma urządzeniami.

Warstwa aplikacji oraz bezpieczeństwo

Norma PN-EN 13757-3 definiuje format telegramów przekazywanych w sieci M-Bus oraz sposób komunikacji z urządzeniami podrzędnymi wobec liczników. Przypadek komunikacji z urządzeniami podrzędnymi ma miejsce, gdy pojedynczy układ pomiarowy odpowiada np. za pomiar różnych mediów.

Norma definiuje także mechanizmy częściowego lub pełnego szyfrowania w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa transmisji. Zgodnie z obowiązującą wersją, szyfrowanie odbywa się z wykorzystaniem starego systemu kryptograficznego DES (opisanego w ANSI X3.92:1981) z kluczem 128 bitowym w trybie CBC, co oznacza, że system jest podatny na ataki i telegramy mogą zostać stosunkowo łatwo odszyfrowane i przechwycone. Istnieje propozycje aktualizacji normy prEN 13757-3, w której zalecane jest wykorzystanie systemu kryptograficznego AES w trybie CBC z kluczem

128-bitowym. Należy podkreślić, że AES z kluczem 128 bitowym jest już dość powszechnie stosowany w licznikach gazu, komunikujących się za pomocą Wireless M-Busy.

Dyskusja wykorzystania Wireless M-Bus do komunikacji z siecią HAN

Protokół Wireless M-Bus powstał głównie dla potrzeb komunikacji z układami pomiarowymi mediów nieelektrycznych – woda, ciepło, gaz. Oferuje kilka trybów pracy (przekazywania danych), począwszy od trybów stacjonarnych (jedno i dwukierunkowych), poprzez tryby częstej transmisji (jedno i dwukierunkowe), a skończywszy na trybie dwukierunkowym z oszczędzaniem energii.

Ogólna zasada działania komunikacji Wireless M-Bus jest stosunkowo prosta i polega na tym, że urządzenia w określonych odstępach czasu przekazują krótkie telegramy, niosące informacje o pomiarze. Intensywność komunikacji musi być dostosowana do wymagań zajętości pasma , co oznacza, że dane urządzenie nie może wypromieniować zbyt dużej energii w określonej jednostce czasu, w danym przedziale częstotliwości. Wprowadza to dość poważne ograniczenie na szybkość wymiany danych pomiędzy licznikiem energii elektrycznej i siecią HAN oraz wymaga przeprowadzenia odpowiedniej analizy możliwości stosowania tego standardu na podstawie przypadków użycia opisanych w dalszej części dokumentu.

Mechanizmy bezpieczeństwa w sieci Wireless M-Bus bazują na starym kryptosystemie DES, natomiast istnieją propozycję nowej wersji standardu, która zakłada wykorzystanie systemu kryptograficznego AES z kluczem 128 bitowym, w trybie CBC. Szyfrowanie telegramów za pomocą AES jest już stosowane w urządzeniach takich jak np. liczniki gazu.

Analiza trybów komunikacji M-Bus wskazuje, że **jedynym trybem komunikacji**, za pomocą którego dane mogą być przekazywane od licznika energii elektrycznej do sieci HAN jest tryb dwukierunkowy T2. Zakłada się, że w tym trybie licznik jest urządzeniem kolekcji danych (koncentratorem) i przekazuje/pobiera dane od/do bramy domowej oraz pobiera telegramy przekazywane w innych trybach komunikacji z liczników innych mediów. Tryb pozwala zarówno na przekazywanie danych pomiarowych od licznika do bramy i w drugim kierunku, jednak może wprowadzać ograniczenia dla intensywności komunikacji. Dla tego trybu przeprowadzono analizę sposobu implementacji przypadków użycia w dalszej części dokumentu (tryb master).

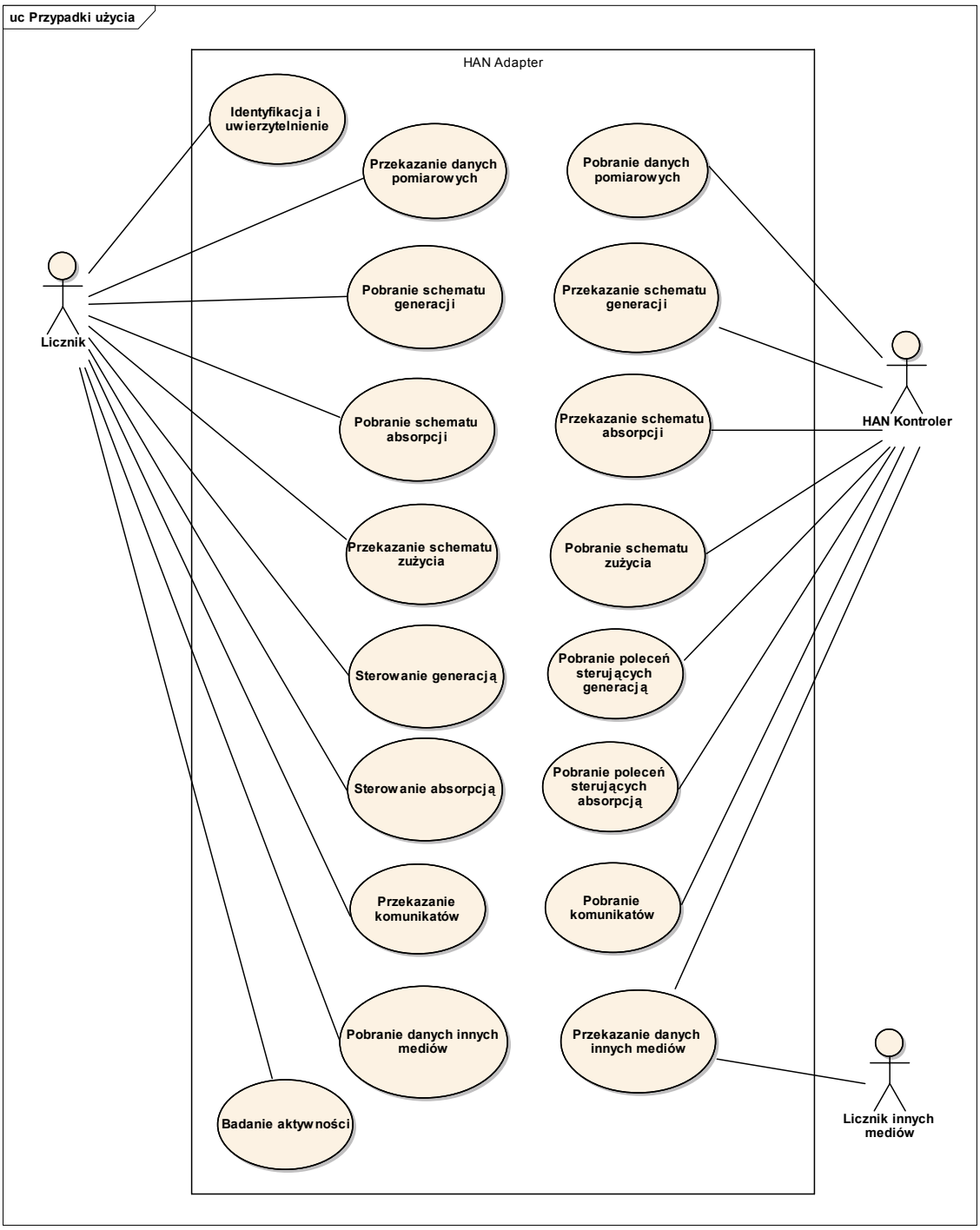
Dużym ograniczeniem technologii Wireless M-Bus jest brak powszechnej implementacji standardu PN-EN 13757-5 wprowadzającego repetycję pakietów, pozwalającą na zwiększanie zasięgu jego działania. W standardzie nie zdefiniowano także mechanizmu konfigurowania sieci i definiowania lokalnych systemów wymiany danych oraz ich separacji.

W rozważanym przypadku komunikacji z HAN, brak repetycji pakietów i ograniczony zasięg uniemożliwiają komunikację układów pomiarowych, zlokalizowanych np. w piwnicy budynku, z bramą domową umieszczoną na wysokich kondygnacjach. Brak mechanizmu konfigurowania sieci i definiowania lokalnych systemów wymiany danych powoduje, że wszystkie układy pomiarowe, układy pomiarowe innych mediów i bramy domowe zlokalizowane w budynku wielorodzinnym będą stanowić jedną, dużą sieć M-Bus. Wielość nadających urządzeń będzie powodowała dużą zajętość pasma zarówno pod względem emitowanej energii w jednostce casu, jak i pod względem zwiększenia

prawdopodobieństwa kolizji. Może to spowodować, że przekazywanie danych pomiarowych z licznika energii elektrycznej do sieci HAN w czasie rzeczywistym będzie po prostu niemożliwe.

Przypadki użycia

W rozdziale przedstawiono przypadki użycia urządzenia *HAN Adapter* oraz semantykę komunikacji Licznik-HAN. Na Rysunek 5 zaprezentowano diagram przypadków użycia i aktorów zidentyfikowanych dla potrzeb niniejszej analizy.



Rysunek 5 Przypadki użycia dla licznika AMI i sieci HAN

W Tabela 4 przedstawiono krótką charakterystykę wyodrębnionych na schemacie aktorów systemu.

Aktor	**Opis**
Licznik	Podstawowy aktor systemu. Reprezentuje układ pomiarowy energii elektrycznej podłączony do systemu AMI.
HAN Adapter	Urządzenie adaptujące *Licznik* do sieci podłączone do odpowiedniego portu (interfejsu) układu pomiarowego.
*HAN Kontrole*r	Centralne urządzenie sterujące siecią HAN. Urządzenie odpowiada za konfigurację sieci HAN i sterowanie urządzeniami np. oświetleniem, roletami, ładowarką samochodu elektrycznego, źródłami OZE. Zakłada się także, że *HAN Kontroler* może gromadzić dane pomiarowego z liczników innych mediów np. gazu, wody i ciepła.
Licznik innych mediów	Układ pomiarowy innych mediów podłączony bezpośrednio do *HAN Adapter* (i pośrednio do *Licznika*).

Tabela 4 Zidentyfikowani aktorzy systemu

Sposób prezentacji przypadków użycia

Przypadki użycia *HAN Adapter* reprezentują funkcje dostępne zarówno dla *Licznika* i sieci HAN (*HAN Kontroler*). W opisie każdego z przypadków przedstawiono kontekst użycia (cel i krótką charakterystykę), warunki wymagane dla danego przypadku oraz scenariusze użycia. Pogłębioną analizę przypadków (diagramy sekwencji) przedstawiono w rozdziale kolejnym.

Identyfikacja i uwierzytelnienie

Nazwa	***Identyfikacja i uwierzytelnienie***
Kontekst użycia	Przypadek użycia dostępny dla *Licznika*. Celem przypadku jest identyfikacja urządzenia służącego do komunikacji z siecią HAN, podłączonego do portu licznika, jego uwierzytelnienie i ewentualna wymiana kluczy szyfrujących, służących do zabezpieczenia komunikacji. W przypadku braku poprawnej identyfikacji lub uwierzytelnienia port podlega wyłączeniu w celu przeciwdziałania pobieraniu energii z licznika, która nie podlega rozliczeniu. Zakłada się, że do licznika będą mogły zostać podłączone urządzenia adaptujące licznik do sieci HAN wyłącznie z odpowiedniej listy, przekazanej do licznika przez system AMI.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Podłączenie urządzenia do komunikacji z HAN (*HAN Adapter*) do portu *Licznika*.
Warunki początkowe	-
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	1. Użytkownik podłącza urządzenie do portu *Licznika*. 2. *Licznik* identyfikuje urządzenie *HAN Adapter*. 3. *Licznik* uwierzytelnia urządzenie *HAN Adapter* za pomocą podpisu cyfrowego i kryptografii asymetrycznej. 4. W przypadku poprawnej identyfikacji i uwierzytelnienia rozpoczynana jest komunikacja z urządzeniem. 5. W przypadku braku poprawnej identyfikacji lub uwierzytelnienia następuje wyłączenie portu i zasilania urządzenia.
Przepływy alternatywne	-

Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Pobranie danych pomiarowych

Nazwa	***Pobranie danych pomiarowych***
Kontekst użycia	*HAN Kontroler* pobiera dane pomiarowe energii elektrycznej w celu ich wykorzystania do zarządzania zużyciem energii przez sieć HAN.
Aktor główny	*HAN Kontroler*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Algorytm okresowego odpytywania przez *HAN Kontroler*.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	1. *HAN Kontroler* rozpoczyna subskrypcję danych pomiarowych określając rodzaj żądanych pomiarów. 2. *HAN Kontroler* pobiera okresowo dane, które podlegają subskrypcji.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Przekazanie danych pomiarowych

Nazwa	***Przekazanie danych pomiarowych***
Kontekst użycia	*Licznik* przekazuje dane pomiarowe dotyczące energii elektrycznej do *HAN Adapter*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i	-

udziałowcy	
Wyzwalacze / Inicjacja	Algorytm przekazywania danych przez *Licznik*.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* zwraca dane w odpowiedzi na żądania *HAN Adapter* przekazywane za pośrednictwem portu/interfejsu.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Pobranie schematu generacji

Nazwa	***Pobranie schematu generacji***
Kontekst użycia	*Licznik* (pośrednio system AMI) pobiera informację dotyczącą przyszłego profilu czasowego oddawania energii przekazaną przez *HAN Kontroler*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Algorytm pobierania schematu generacji przez *Licznik*.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana. Do sieci HAN i sieci energetycznej podłączone są źródła energii np. OZE lub akumulatory.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* pobiera aktualizację schematu generacji z *HAN Adapter*. Schemat generacji przekazywany jest do *HAN Adapter* z urządzenia *HAN Kontroler*.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

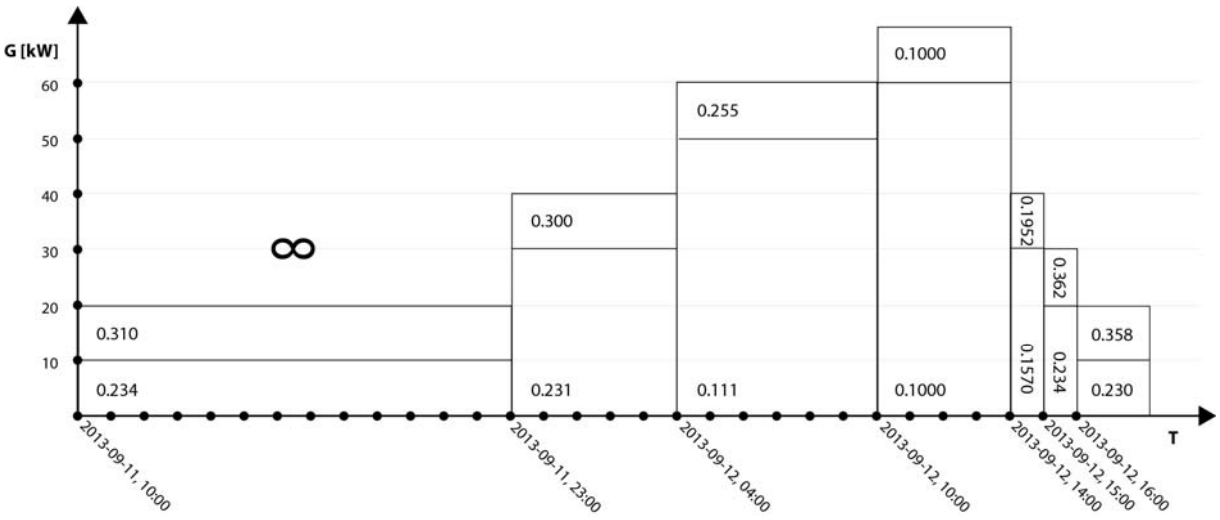
Propozycja struktury schematu generacji

W Tabela 5 zaprezentowano proponowaną strukturę schematu generacji (oddawania energii). Struktura zawiera opis zmian zdolności generacyjnych i kosztów energii w funkcji czasu.

Czas	2013-09-11 10:00	2013-09-11 23:00	2013-09-12 04:00	2013-09-12 10:00	2013-09-12 14:00	2013-09-12 15:00	2013-09-12 16:00
Moc [kW]	0	0	0	0	0	0	0
Cena	0.234	0.231	0.111	0.1000	0.1570	0.234	0.230
Moc [kW]	10	30	50	60	40	30	10
Cena	0.310	0.300	0.225	0.1100	0.1952	0.362	0.358
Moc [kW]	20	40	60	70	50	40	20

Cena	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Tabela 5 Propozycja struktury schematu generacji



Rysunek 6 Schemat generacji (wizualizacja danych)

Pojedyncza kolumna tabeli określa punkt w czasie, od którego następuje zmiana parametrów schematu generacji. Parametry schematu to poziom mocy, od którego obowiązuje dana cena za kW energii. Cena nieskończona oznacza poziom ograniczenia generacji. Na Rysunek 6 zaprezentowano wizualizację graficzną fragmentu schematu generacji.

Przekazanie schematu generacji

Nazwa	***Przekazanie schematu generacji***
Kontekst użycia	*HAN Kontroler* przekazuje do Licznika schemat generacji. Schemat określa zdolność do produkcji energii w kolejnych przedziałach czasu np. godzinach.
Aktor główny	*HAN Kontroler*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Algorytm przekazanie schematu generacji.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana. Do sieci HAN i sieci energetycznej podłączone są źródła energii np. OZE lub akumulatory.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ	*HAN Kontroler* przekazuje do *HAN Adapter* aktualizację profilu generacji (charakterystykę czasową zdolności generacji energii dla danej sieci

podstawowy:	HAN).
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Pobranie schematu absorbcji

Nazwa	***Pobranie schematu absorpcji***
Kontekst użycia	*Licznik* pobiera schemat absorpcji z *HAN Adapter*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	-
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana. Do sieci HAN i sieci energetycznej podłączone są urządzenia odbierające i/lub magazynujące energię.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* pobiera charakterystykę czasową absorbcji energii dla danej sieci HAN.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

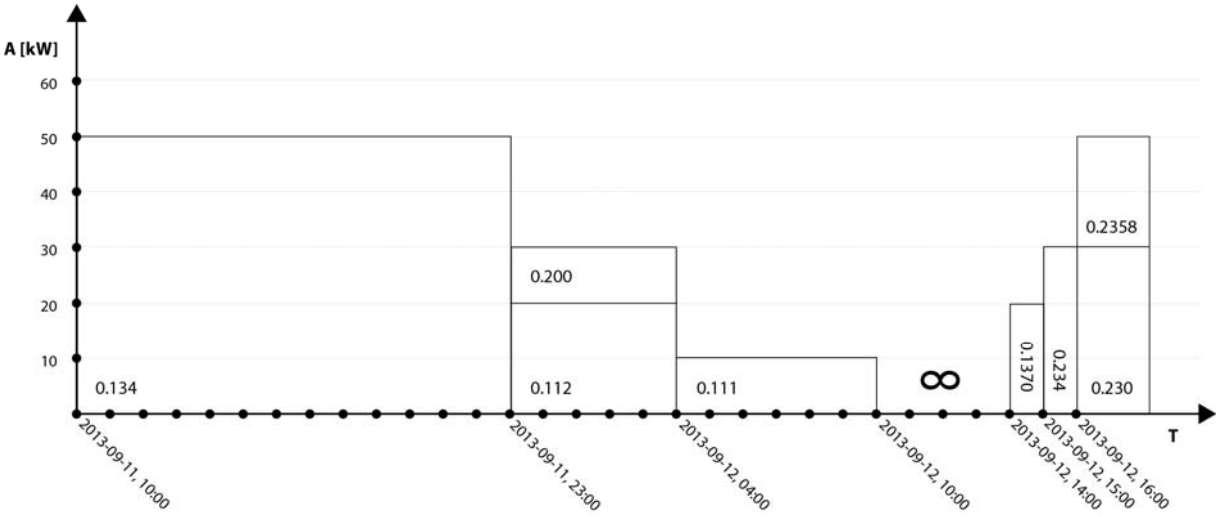
Propozycja struktury schematu absorpcji

W Tabela 6 zaprezentowano proponowaną strukturę schematu absorpcji. Struktura zawiera opis zmian zdolności absorpcyjnych i kosztów odbierania energii w funkcji czasu.

Czas	2013-09-11 10:00	2013-09-11 23:00	2013-09-12 04:00	2013-09-12 10:00	2013-09-12 14:00	2013-09-12 15:00	2013-09-12 16:00
Moc [kW]	0	0	0	0	0	0	0
Cena	0.134	0.112	0.111	∞	0.1370	0.234	0.230
Moc [kW]	50	20	10		20	30	30
Cena	∞	0.200	∞		∞	∞	0.2358
Moc [kW]		30					50
Cena		∞					∞

Tabela 6 Propozycja struktury schematu absorpcji

Pojedyncza kolumna tabeli określa punkt w czasie, od którego następuje zmiana parametrów absorpcyjnych. Parametry to poziom absorpcji wyrażony w kW, od którego obowiązuje dana cena za zabsorbowany kW. Cena ∞ oznacza poziom, dla którego następuje ograniczenie absorpcji (urządzenia podłączone do HAN nie są w stanie odebrać więcej energii z sieci). Wizualizacja graficzna schematu została zaprezentowana na Rysunek 7.



Rysunek 7 Schemat absorpcji (wizualizacja danych)

Przekazanie schematu absorpcji

Nazwa	***Przekazanie schematu absorpcji***
Kontekst użycia	*HAN Kontroler* przekazuje schemat absorpcji do *HAN Adapter*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Algorytm przekazywania schematu absorpcji.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana. Do sieci HAN i sieci energetycznej podłączone są urządzenia pobierające i/lub magazynujące energię.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ	*HAN Kontroler* przekazuje schemat odbierania energii (charakterystykę czasową pobierania).

podstawowy:	
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Przekazanie schematu zużycia

Nazwa	***Przekazanie schematu zużycia***
Kontekst użycia	
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	-
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* przekazuje schemat zużycia do *HAN Adapter* określając charakterystykę czasową zużycia wraz z cenami energii.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Propozycja struktury schematu zużycia

W

Redukcja dobr.	0	0	17	17	17	0	0
Zachęta	0	0	2	2	2	0	0

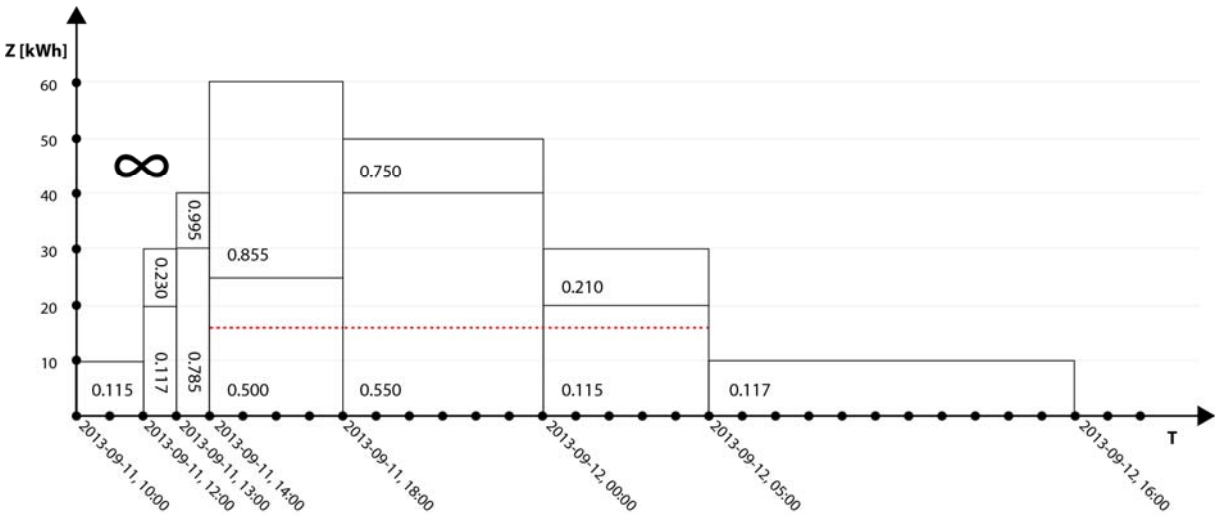
Tabela 7 zaprezentowano proponowaną strukturę danych definiującą schemat zużycia. Struktura służy do przekazywania opisu taryf dynamicznych i ustawień ogranicznika mocy.

Czas	2013-09-11 10:00	2013-09-11 12:00	2013-09-11 13:00	2013-09-12 18:00	2013-09-12 00:00	2013-09-12 5:00	2013-09-12 16:00
Moc [kW]	0	0	0	0	0	0	0
Cena	0.115	0.117	0.785	0.550	0.210	0.117	∞
Moc [kW]	10	20	30	40	30	10	
Cena	∞	0.230	0.995	0.750	0.115	∞	
Moc [kW]		30	60	50	30		
Cena		∞	∞	∞	∞		
Redukcja dobr.	0	0	17	17	17	0	0

Zachęta	0	0	2	2	2	0	0

Tabela 7 Propozycja struktury schematu zużycia

Na Rysunek 8 przedstawiono wizualizacją graficzną schematu zużycia. Wartość nieskończona oznacza wartość ustawienia ogranicznika mocy. Przekroczenie tego poziomu pobieranej mocy będzie skutkowało rozłączeniem stycznika w układzie pomiarowym. Poziom oznaczony czerwoną linią przerywaną oznacza dobrowolny poziom redukcji. Zakłada się, że przy zastosowaniu się do dobrowolnej redukcji użytkownik/konsument otrzyma zachętę cenową w wysokości określonej w tabeli.



Rysunek 8 Schemat zużycia (wizualizacja danych)

Pobranie schematu zużycia

Nazwa	***Pobranie schematu zużycia***
Kontekst użycia	*Licznik* pobiera schemat zużycia przekazany przez *HAN Kontroler* do *HAN Adapter*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Algorytm przekazywania schematu zużycia.
Warunki początkowe	*Adapter HAN* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*HAN Kontroler* pobiera schemat zużycia przekazany przez Licznik (system AMI).
Przepływy	-

alternatywne	
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Sterowanie generacją

Nazwa	***Sterowanie generacją***
Kontekst użycia	*Licznik* przekazuje do *HAN Adapter* profil sterowania generacją, po otrzymaniu go z systemu AMI.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Komunikat z systemu AMI zawierający profil generacji ustalony dynamicznie przez OSD.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* przekazuje do *HAN Adapte*r profil sterowania generacją. Profil zawiera charakterystykę czasową generacji określoną na podstawie przekazanych wcześniej schematów generacji.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Pobranie poleceń sterujących generacją

Nazwa	***Pobranie poleceń sterujących generacją***
Kontekst użycia	
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i	-

udziałowcy	
Wyzwalacze / Inicjacja	Komunikat z systemu AMI zawierający profil generacji ustalony dynamicznie przez OSD.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*HAN Kontroler* pobiera profil sterowania generacją. Profil zawiera charakterystykę czasową generacji określoną na podstawie przekazanych wcześniej do AMI schematów generacji.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Sterowanie absorpcją

Nazwa	***Sterowanie absorpcją***
Kontekst użycia	
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Komunikat z systemu AMI zawierający profil absorpcji ustalony dynamicznie przez OSD.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* przekazuje do *HAN Adapte*r profil sterowania absorpcją. Profil zawiera charakterystykę czasową absorpcji określoną na podstawie przekazanych wcześniej schematów absorpcji
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Pobranie komunikatów sterujących absorpcją

Nazwa	***Pobranie komunikatów sterujących absorpcją***
Kontekst użycia	
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Komunikat z systemu AMI zawierający profil absorpcji ustalony dynamicznie przez OSD.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.

Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*HAN Kontroler* pobiera profil sterowania absorpcją. Profil zawiera charakterystykę czasową absorpcji określoną na podstawie przekazanych wcześniej, do AMI, schematów absorpcji.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Przekazanie komunikatów

Nazwa	***Przekazanie komunikatów***
Kontekst użycia	
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Komunikat z systemu AMI.
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* przekazuje do *HAN Adapte*r komunikat w formie ciągu bajtów, otrzymany od systemu AMI.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Pobranie komunikatów

Nazwa	***Pobranie komunikatów***
Kontekst użycia	
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	Komunikat z systemu AMI przekazany do *HAN Adapter*.
Warunki początkowe	*Adapter HAN* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjowana.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ	*HAN Kontroler* pobiera komunikat, w formie ciągu bajtów, od *HAN Adapter*.

podstawowy:	
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Na Rysunek 9 przedstawiono diagram sekwencji dla przypadku ilustrujący proponowaną semantykę komunikacji.

Pobranie danych innych mediów

Nazwa	***Pobranie danych innych mediów***
Kontekst użycia	Celem przypadku jest pobranie danych pomiarowych innych mediów przez *Licznik*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	-
Wyzwalacze / Inicjacja	-
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana. *Licznik* posiada informację o układach pomiarowych innych mediów, dla których ma pozyskiwać dane pomiarowe.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	1. *Licznik* rozpoczyna subskrypcje danych ze wskazanych układów pomiarowych innych mediów lub *Kontrolera HAN*. 2. W odpowiedzi na subskrypcje pobierane są dane ze wskazanych urządzeń.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Przekazanie danych innych mediów

Nazwa	***Przekazanie danych innych mediów***
Kontekst użycia	Celem przypadku jest przekazanie danych pomiarowych innych mediów z *HAN Kontroler* lub układów pomiarowych innych mediów podłączonych bezpośrednio do *Licznika*.
Aktor główny	*HAN Kontroler*

Pozostali aktorzy i udziałowcy	*Licznik innych mediów*
Wyzwalacze / Inicjacja	-
Warunki początkowe	*HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i sieć HAN została zainicjalizowana. *Licznik* posiada informację o układach pomiarowych innych mediów, dla których ma pozyskiwać dane pomiarowe.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*HAN Kontroler* lub *Licznik* innych mediów, w odpowiedzi na subskrypcję danych przez *Licznik*, rozpoczynają okresowe przekazywanie danych innych mediów do *HAN Adapter*.
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Badanie aktywności

Nazwa	***Badanie aktywności***
Kontekst użycia	Celem przypadku jest określenie aktywności (działania) urządzenia *HAN Adapter* podłączonego do *Licznika*.
Aktor główny	*Licznik*
Pozostali aktorzy i udziałowcy	*Licznik innych mediów*
Wyzwalacze / Inicjacja	-
Warunki początkowe	Urządzenie *HAN Adapter* jest podłączony do *Licznika* i został zainicjalizowany.
Warunki końcowe	-
Główny scenariusz powodzenia / Przepływ podstawowy:	*Licznik* okresowo przekazuje odpowiedni komunikat do *HAN Adapter* pozwalający na zweryfikowanie jego działania. W przypadku, gdy działanie HAN Adapter uległo zawieszeniu wykonywany jest reset urządzenia i ponowna inicjalizacja (Identyfikacja i uwierzytelnienie).
Przepływy alternatywne	-
Dodatkowe informacje	-
Odwołanie do innego przypadku użycia	-

Diagramy sekwencji, analiza danych

W celu analizy zaprezentowano diagramy sekwencji uwzględniające pełną komunikację pomiędzy licznikiem AMI i siecią HAN. Na diagramach sekwencji zaproponowano nazwy metod (komunikatów) wywoływanych pomiędzy *Licznikiem*, *HAN Adapter* i *HAN Kontroler*. Nazwy metod/komunikatów zaznaczonych na diagramie posiadają trzy typy przedrostków – `if`, `han` i `native`. Przedrostek `if` oznacza, że metoda dotyczy interfejsu urządzenia (powinna być cechą portu), natomiast `han` oznacza metody/komunikaty wykorzystywane przy komunikacji z *Adapterem HAN*. Metody z przedrostkiem native modelują funkcje danej technologii wykorzystywanej w HAN np. ZigBee i w rzeczywistości mogą odpowiadać kilku funkcjom danego protokołu (wysłaniu kilku jednostek protokołu). Przykładowo, metoda informująca o umieszczeniu urządzenia *HAN Adapter* w porcie Licznika nazywa się `ifNotify`, ponieważ dotyczy funkcji (cechy) interfejsu urządzeń służącego do komunikacji. Metoda `hanGetOutputMeterData` odpowiada za pobranie danych pomiarowych z *Licznika* przez sieć HAN i została przyporządkowana do metod protokołu komunikacyjnego.

Diagramy przedstawiono dla dwóch trybów integracji licznika z siecią oraz funkcjonowania urządzenia *HAN Adapter* – trybu podrzędnego (slave) i nadrzędnego (master).

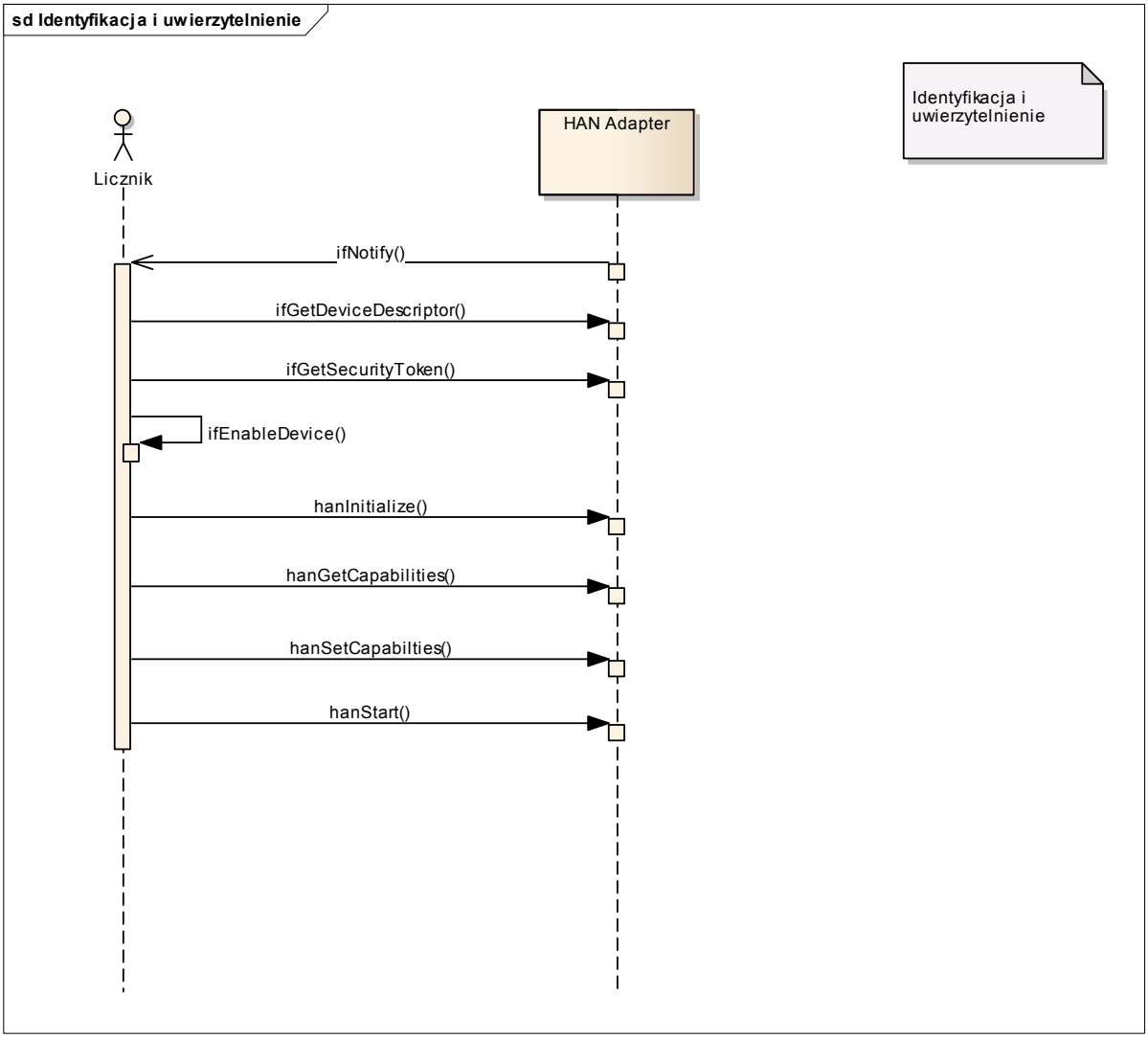
W trybie slave *HAN Adapter* funkcjonuje jako urządzenie nadzorowane przez *HAN Kontroler*. Jest to charakterystyczne dla typowych sieci HAN (np. ZigBee, Z-Wave lub LonWorks), w których urządzenia reprezentowane są jako agenci/serwery posiadające zbiór rejestrów danych, służących do sterowania przez centralny kontroler i przekazujące asynchroniczne komunikaty o zdarzeniach np. zmianie stanu czujnika.

W trybie master, *HAN Adapter* funkcjonuje jako urządzenie centralne, sterujące komunikacją w sieci oraz odbierające asynchroniczne komunikaty danych od urządzeń podrzędnych np. liczników innych mediów. Jest to tryb charakterystyczny dla sieci opartych o protokół Wireless M-Bus [1], w których urządzenia pomiarowe przekazują z niską częstością (kilka razy na godzinę) kilkubajtowe telegramy. Tryb ten został opisany ze względu na popularność liczników energii dla sieci Smart Grid wyposażonych w serwery protokołu Wireless M-Bus, służące do pozyskiwania odczytu innych mediów. Należy jednak pamiętać, że istotnym problemem w takich sieciach jest ograniczenie ilości i częstości przekazywania danych w określonych pasmach częstotliwości radiowych (zgodnie z [1] i [2]).

Należy podkreślić, że sekwencja komunikatów od *Licznika* dla *HAN Adapter* dla dwóch trybów jest taka sama tzn. przekazywane są te same żądania i zwracane są takie same odpowiedzi bez względu na to, że w przypadku trybu slave inicjatorem komunikacji jest *HAN Kontroler*, a w trybie master *HAN Adapter*.

Identyfikacja i uwierzytelnienie

Na Rysunek 9 przedstawiono diagram sekwencji ilustrujący proponowaną semantykę komunikacji *HAN Adapter* z *Licznikiem*.



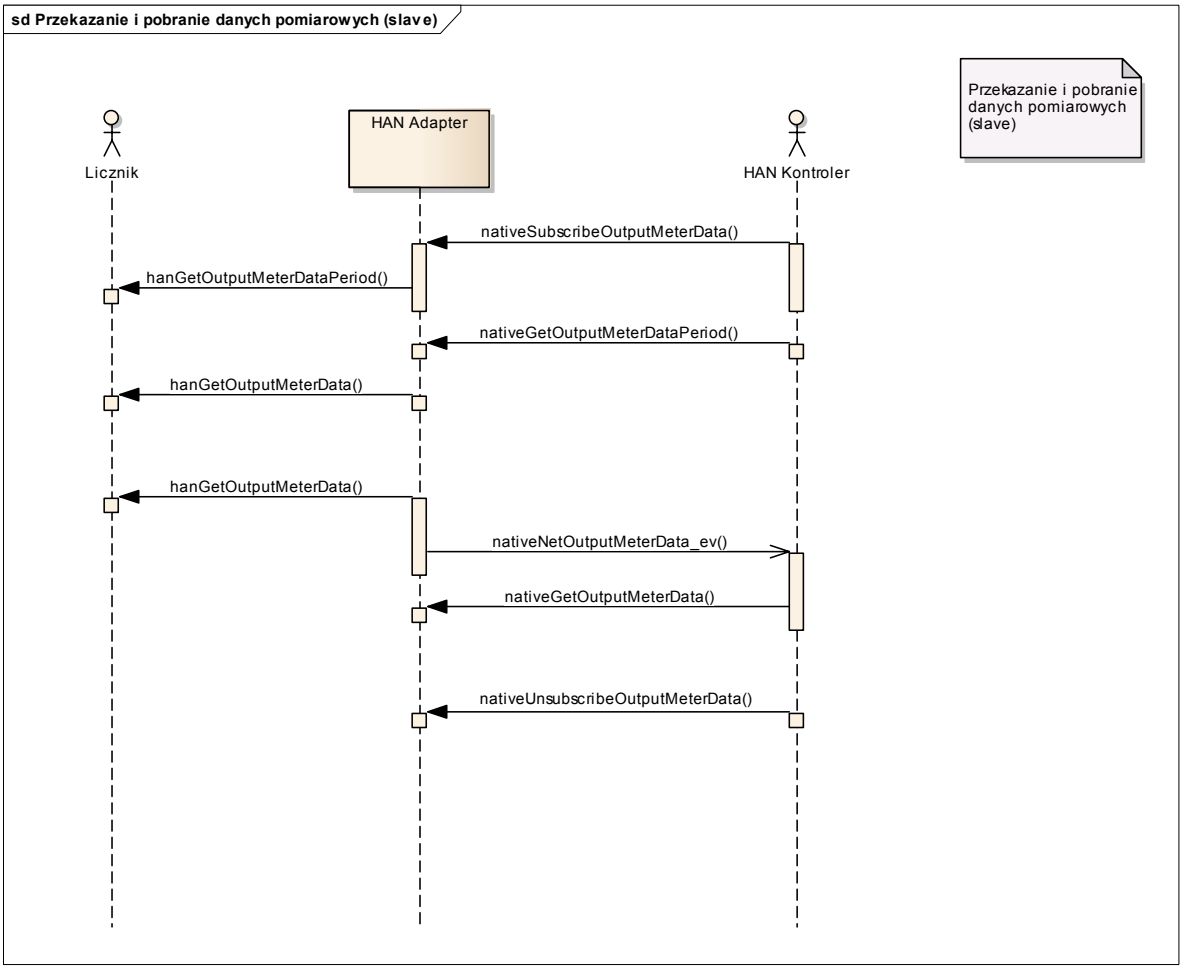
Rysunek 9 Komunikacja dla „Identyfikacja i uwierzytelnienie”

Po umieszczeniu urządzenia *HAN Adapter* w porcie *Licznik* otrzymuje odpowiedni komunikat (`ifNotify`). Następnie, w celu identyfikacji, pobierany jest deskryptor urządzenia. W przypadku, gdy urządzenie może zostać obsłużone przez *Licznik* następuje jego uwierzytelnienie za pomocą podpisu cyfrowego (`ifGetSecurityToken`). Po poprawnym uwierzytelnieniu urządzenia następuje jego pełne włączenie i inicjalizacja komunikacji z siecią HAN. Krokiem inicjalizacji komunikacji jest pobranie możliwości podłączonej sieci HAN tzn. zestawu obsługiwanych funkcji/komunikatów i wskazanie, które z funkcji są obsługiwane przez Licznik (`hanSetCapabilities`).

Po niepowodzeniu każdej z metod interfejsu odłączane jest zasilanie portu *Licznika* w celu przeciwdziałaniu nieautoryzowanemu zasilaniu urządzeń (tzn. zasilania z pominięciem pomiaru energii).

Pobranie i przekazanie danych pomiarowych

Na Rysunek 10, Rysunek 11 przedstawiono diagramy sekwencji ilustrujące proponowaną semantykę komunikacji dla dwóch trybów komunikacji – slave i master.

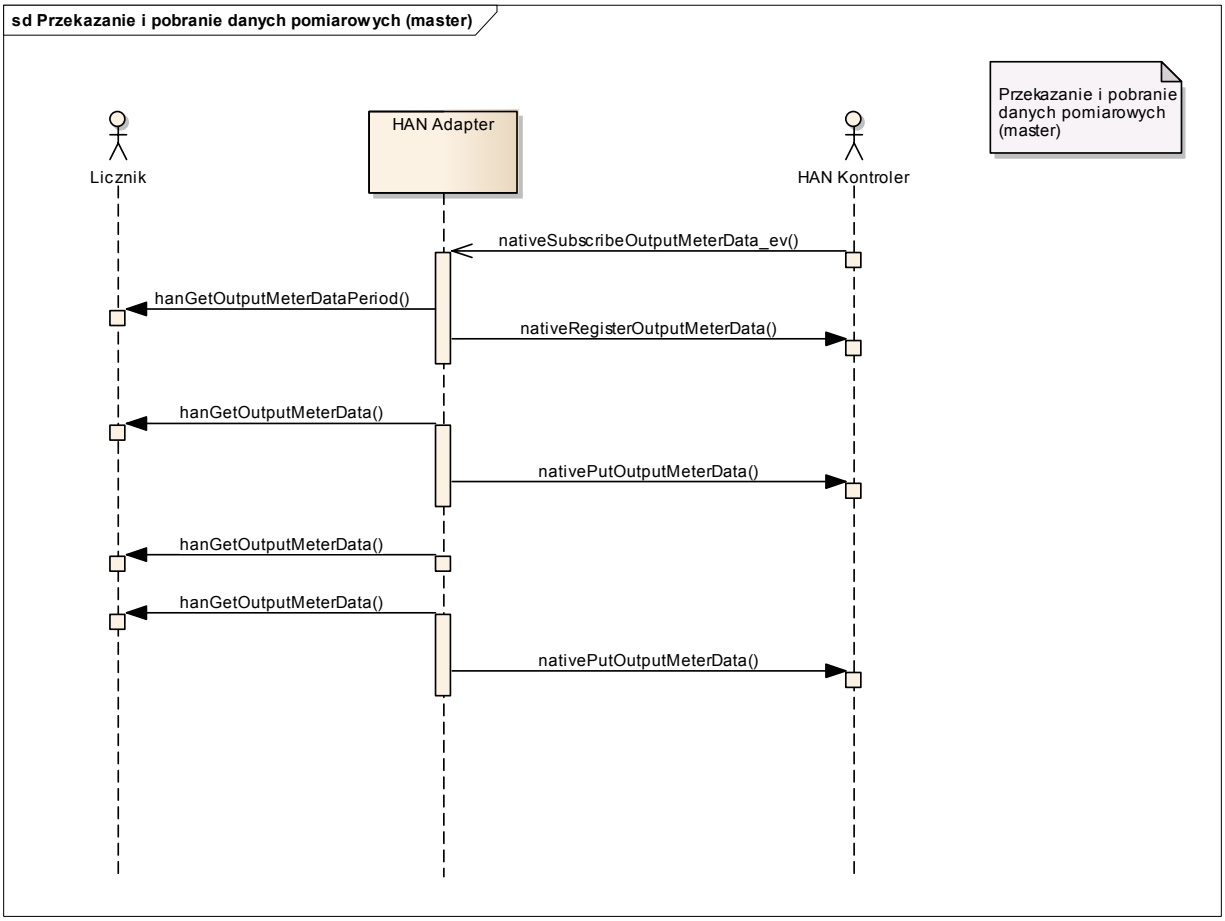


Rysunek 10 Komunikacja dla przekazywania i pobrania danych pomiarowych – tryb slave

W trybie slave, w odpowiedzi na subskrypcję danych przez *HAN Kontroler* (metoda `nativeSubscribeOutputMeterData`) *HAN Adapter* pobiera interwał (okres) dla przekazywania danych pomiarowych przez *Licznik* (`hanGetOutputMeterDataPeriod`). W kolejnym kroku *HAN Kontroler* pobiera okres przekazywania danych (`nativeGetOutputMeterDataPeriod`). Jeżeli pobranie okresu przekazywania danych nie powiedzie się *HAN Kontroler* ponawia wywołanie metody. Po uzyskaniu okresu przekazywania danych *HAN Adapter* rozpoczyna cykliczne (zgodne z pobranym interwałem) pobieranie danych pomiarowych za pomocą metody `hanGetOutputMeterData`.

Dane do *HAN Kontroler* przekazywane są w odpowiedzi na zdarzenie `nativeNewOuputMeterData_ev` sygnalizujące pojawienie się nowych danych pomiarowych w

HAN Adapter. W odpowiedzi na zdarzenie *HAN Kontroler* wykonuje odczyt danych z odpowiedniego rejestru za pomocą metody `nativeGetOutputMeterData`.



Rysunek 11 Komunikacja dla przekazania i pobrania danych pomiarowych – tryb master

W trybie master *HAN Adapter* przekazuje dane pomiarowe w sposób synchroniczny wywołując metodę `nativePutOutputMeterData`. Proces przekazywania danych rozpoczyna się odebraniem asynchronicznego zdarzenia `nativeSubscribeOutputMeterData_ev`, na które odpowiedzią jest rejestracja kanału przekazywania danych w *HAN Kontroler* za pomocą `nativeRegisterOutputMeterData`.

Przekazywane dane

Poniżej przedstawiono charakterystykę metod opisanych na diagramach sekwencji wraz z szacunkową ilością przekazywanych danych.

Metoda	`hanGetOutputMeterDataPeriod`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której ma zostać zwrócony okres przekazywania danych.

			Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
Odpowiedź			
uint32	4		Częstość pojawiania się kolejnych danych pomiarowych, wyrażona w milisekundach.
Częstość użycia (wywołania)			
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu aktualizacji częstości pobierania danych. Na podstawie wartości zwracanej przez tą metodę powinien zostać określony odstęp pomiędzy kolejnymi wywołaniami `hanGetOuputMeterData`.		

Metoda	`hanGetOutputMeterData`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której mają zostać zwrócone dane pomiarowe. Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
`from`	`time_t`	8	Początek przedziału pobieranych danych.
`to`	`time_t`	8	Koniec przedziału pobieranych danych.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`data_t[]`	(4+8+4)*n	Dane pomiarowe składające się ze statusu (4), czasu rejestracji danych (8) i danych pomiarowych (4). Jeżeli przedział pobieranych danych, określony przez `from` i `to`, jest zbyt duży to ilość zwracanych rekordów jest ograniczana (specyficzne dla implementacji).	
Częstość użycia			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu pobrania nowych danych pomiarowych. Zakłada się, że średnio pobierany jest pojedynczy element profilu danej wielkości pomiarowej (n=1) na 15 min. W większości przypadków pobierany jest pojedynczy profil wielkości pomiarowej np. energia czynna.		

Metoda	`nativeSubscribeOutputMeterData`

Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla którego mają być przekazywane dane pomiarowe. Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
`from`	`time_t`	8	Czas, od którego mają być przekazywane dane. Przekazany czas modyfikuje działanie automatu pobierającego dane z *Licznika*. Zakłada się, że po wywołaniu subskrypcji automat w *HAN Adapter* zaczyna pobierać dane od wskazanego czasu.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`result_t`	4	Kod powodzenia operacji subskrypcji.	
Częstość użycia			
1/8 h	Metoda wywoływana jest w celu rozpoczęcia subskrypcji danych pomiarowych z *Licznika*. Metoda wywoływana jest przez *HAN Kontroler* po restarcie lub w przypadku, gdy nie pojawiają się nowe dane pomiarowe z *Licznika.*		

Metoda	`nativeGetOutputMeterData`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której mają zostać zwrócone dane pomiarowe. Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
`from`	`time_t`	8	Początek przedziału pobieranych danych.
`to`	`time_t`	8	Koniec przedziału pobieranych danych.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`data_t[]`	(4+8+4)	Wektor danych pomiarowych składający się ze statusu (4), czasu rejestracji danych (8) i danych pomiarowych (4).	

Częstość użycia	
1/15 h	Metoda wywoływana jest w celu pobrania danych pomiarowych przez *HAN Kontroler*.

Metoda	`nativeNewOutputMeterData_ev`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której pozyskano dane pomiarowe. Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
`to`	`time_t`	8	Czas, do którego pozyskano dane. Informuje *HAN Kontroler* o czole danych pomiarowych.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`result_t`	4	Powodzenie operacji przyjęcia zdarzenia.	
Częstość użycia			
1/15 h	Metoda wywoływana jest w celu zasygnalizowania konieczności pobrania danych pomiarowych przez *HAN Kontroler*.		

Metoda	`nativeUnsubscribeOutputMeterData`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której ma zostać usunięta subskrypcja. Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`result_t`	4	Kod powodzenia usunięcia/anulowania subskrypcji.	
Częstość użycia			

1/48 h	Metoda wywoływana jest w celu usunięcia subskrypcji danych pomiarowych uruchomionej wcześniej przez *HAN Kontroler*. Metoda wywoływana jest sporadycznie. Za odległość czasową pomiędzy anulowaniem subskrypcji przyjęto 48h. W rzeczywistości może okazać się, że subskrypcja będzie anulowana raz na kilka miesięcy.

Metoda	`nativeSubscribeOutputMeterData_ev`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której ma zostać rozpoczęta subskrypcja. Zakłada się, że parametr jest typu enumeratywnego.
`from`	`time_t`	8	Czas, od którego mają być przekazywane dane. Przekazany czas modyfikuje działanie automatu pobierającego dane z *Licznika*. Zakłada się, że po wywołaniu subskrypcji automat w *HAN Adapter* zaczyna pobierać dane od wskazanego czasu.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`result_t`	4	Kod powodzenia rozpoczęcia subskrypcji.	
Częstość użycia			
1/8 h	Metoda wywoływana jest w celu zasygnalizowania przez urządzenie typu slave (w tym przypadku *HAN Kontroler*) zapotrzebowania na dane pomiarowe (subskrypcja danych). Zdarzenie generowane jest przez *HAN Kontroler* po restarcie lub w przypadku, gdy nie pojawiają się nowe dane pomiarowe z *Licznika.* **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

Metoda	`nativeRegisterOutputMeterData`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości

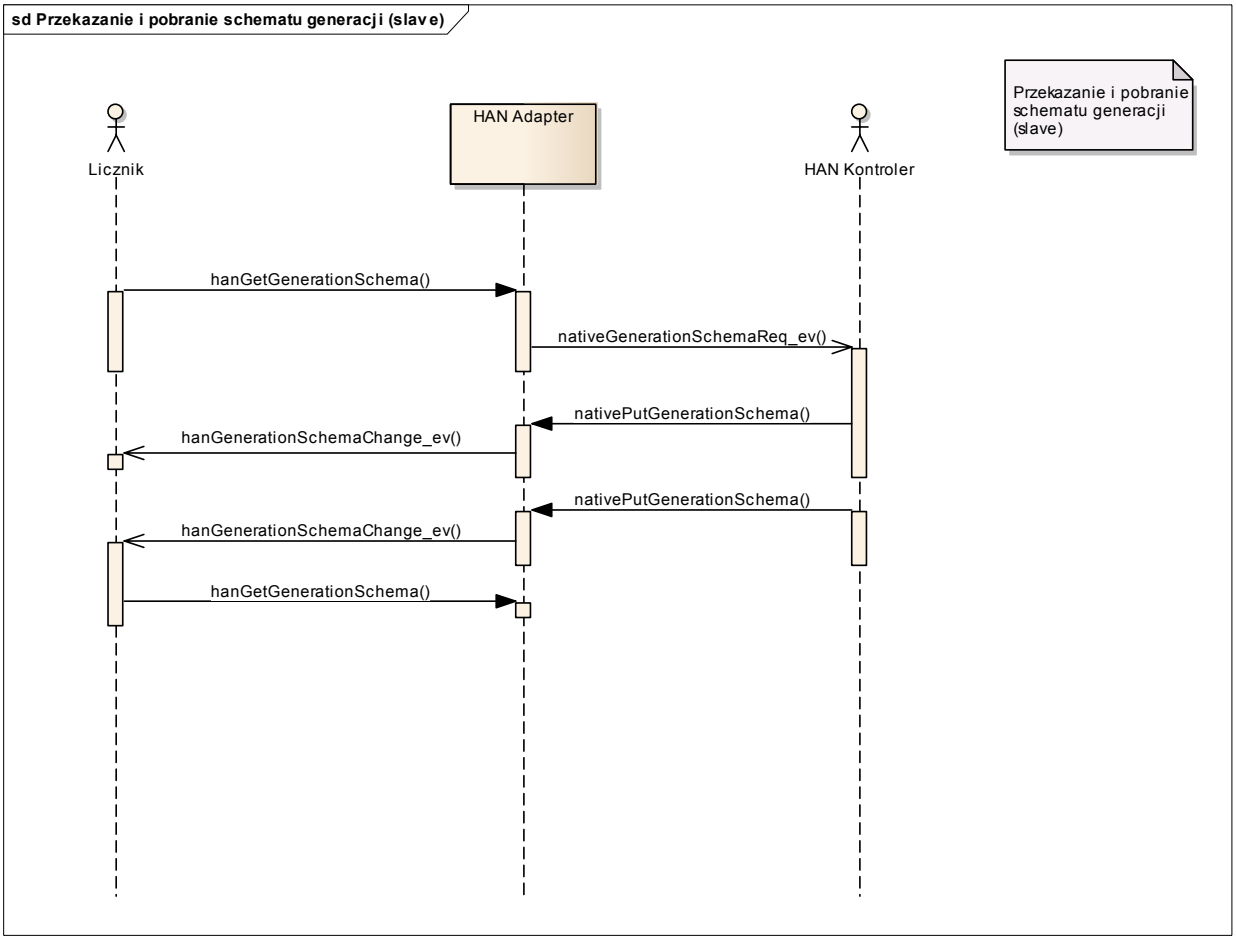
			pomiarowej), dla której są przekazywane dane w ramach subskrypcji.
`from`	`time_t`	8	Czas, od którego będą przekazywane dane w ramach subskrypcji.
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`result_t`	4	Kod powodzenia rejestracji subskrypcji.	
Częstość użycia			
1/8h min.	Metoda wywoływana jest w celu potwierdzenia operacji subskrypcji danych w trybie master. Zakłada się, że będzie wywoływana sporadycznie. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

Metoda	`nativePutOutputMeterData`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`obj`	`obj_e`	1	Identyfikator obiektu pomiarowego (wielkości pomiarowej), dla której są przekazywane dane w ramach subskrypcji.
`from`	`time_t`	8	Początek przedziału przekazywanych danych.
`to`	`time_t`	8	Koniec przedziału przekazywanych danych.
`data_t[]`	(4+8+4)*n	Wektor danych pomiarowych składający się ze statusu (4), czasu rejestracji danych (8) i danych pomiarowych (4). Jeżeli przedział pobieranych danych, określony przez `from` i `to`, jest zbyt duży to ilość przekazywanych rekordów jest ograniczana (specyficzne dla implementacji).	
Odpowiedź			
Typ	**Rozmiar**	**Opis**	
`result_t`	4	Kod powodzenia przekazania danych.	
Częstość użycia			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania nowych danych pomiarowych.		

	Zakłada się, że średnio przekazywany jest pojedynczy element profilu danej wielkości pomiarowej (n=1) na 15 min. W większości przypadków przekazywany jest pojedynczy profil wielkości pomiarowej np. energia czynna.

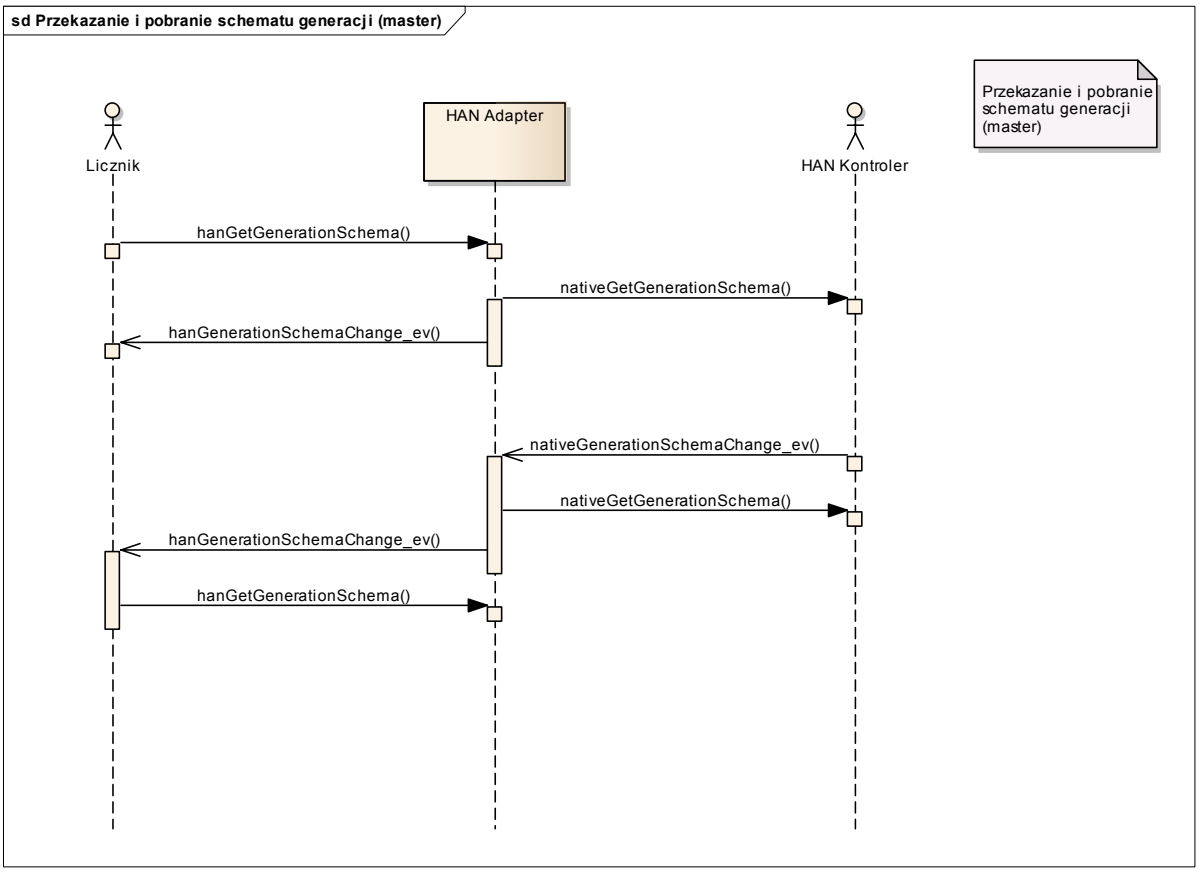
Pobranie i przekazanie schematu generacji

Na Rysunek 12, Rysunek 13 przedstawiono diagramy sekwencji dla dwóch trybów komunikacji.



Rysunek 12 Komunikacja dla przekazania i pobierania schematu generacji – tryb slave

W trybie slave *Licznik* wywołuje metodę służącą do pobrania danych `hanGetGenerationSchema`, która wyzwala przekazanie zdarzenia (żądania przekazania danych) `nativeGenerationSchemaReq_ev` do *HAN Adapter*. W odpowiedzi na zdarzenie, *HAN Adapter* przekazuje fragment schematu generacji za pomocą metody `nativePutGenerationSchema`. Metoda wyzwala przekazanie zdarzenia do licznika `hanGenerationSchemaChange_ev` sygnalizującego dostępność nowych danych. *Licznik* pobiera schemat generacji za pośrednictwem metody `hanGetGenerationSchema`. Należy podkreślić, że metoda `hanGetGenerationSchema` może zostać wywołana w dowolnym czasie bez konieczności oczekiwania na zdarzenie. Celem zdarzenia jest minimalizacja sprawdzania dostępności danych za pomocą okresowego odpytywania (tzw. pooling).



Rysunek 13 Komunikacja dla przekazywania i pobierania schematu generacji - tryb master

W trybie master *HAN Adapter* okresowo pobiera schemat generacji z *HAN Kontroler* za pośrednictwem metody `nativeGetGenerationSchema`. Zakłada się, że wywołanie może zostać wyzwolone poprzez wywołanie przez *Licznik* metody `hanGetGenerationSchema`. Dostępność nowych danych dla schematu generacji w *HAN Kontroler* sygnalizowana jest zdarzeniem `nativeGenerationSchemaChange_ev`. Przekazanie zdarzenia jest opcjonalne i zależy od rodzaju sieci HAN.

Przekazywane dane

Poniżej przedstawiono charakterystykę metod opisanych na diagramach sekwencji wraz z szacunkową ilością przekazywanych danych.

Metoda	`hanGetGenerationSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek schematu generacji – czas, od którego pobierany jest schemat (profil) generacji.
`to`	`time_t`	8	Koniec schematu generacji – czas, do którego pobierany jest schemat (profil) generacji.

Odpowiedź		
schema_t	[4+8+k*(4+4)] *n	Schemat generacji, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Częstość użycia (wywołania)		
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu pobrania schematu generacji przez Licznik, w odpowiedzi na zapytanie z systemu AMI. Zakłada się, że co godzinę będzie pobierany kolejny element profilu generacji.	

Metoda	hanGenerationSchemaChange_ev		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek nowych danych schematu generacji – czas, od którego schemat uległ zmianie.
Odpowiedź			
result_t	4		Kod powodzenia operacji (przekazania zdarzenia).
Częstość użycia (wywołania)			
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu poinformowania *Licznika* o pojawieniu się nowych danych schematu generacji. W odpowiedzi na wywołanie tej metody *Licznik* pobiera nowy fragment schematu z *HAN Adapter*.		

Metoda	nativeGenerationSchemaReq_ev		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek schematu generacji – czas, od którego pobierany jest schemat (profil) generacji.
to	time_t	8	Koniec schematu generacji – czas, do którego pobierany jest schemat (profil) generacji.
Odpowiedź			

result_t	4	Kod powodzenia operacji przyjęcia zdarzenia.
Częstość użycia (wywołania)		
1/48 h	Metoda wywoływana jest w celu skonfigurowania pobierania schematu generacji przez *HAN Adapter*, w odpowiedzi na zapytanie z systemu AMI. Metoda ma na celu pobranie danych historycznych w przypadku problemów z bieżącym przekazywaniem danych. Zakłada się, że metoda jest wywoływana sporadycznie.	

Metoda	nativePutGenerationSchema		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek schematu generacji.
to	time_t	8	Koniec schematu generacji.
Odpowiedź			
schema_t	[4+8+k*(4+4)] *n		Schemat generacji, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania schematu generacji przez *HAN Kontroler* do *HAN Adapter* i w końcu do *Licznika*. Zakłada się, że nowy element schematu będzie przekazywany co 15 min. W przypadku braku możliwości przekazania danych przez *HAN Kontroler* przez określony czas przesunięciu ulega czas from.		

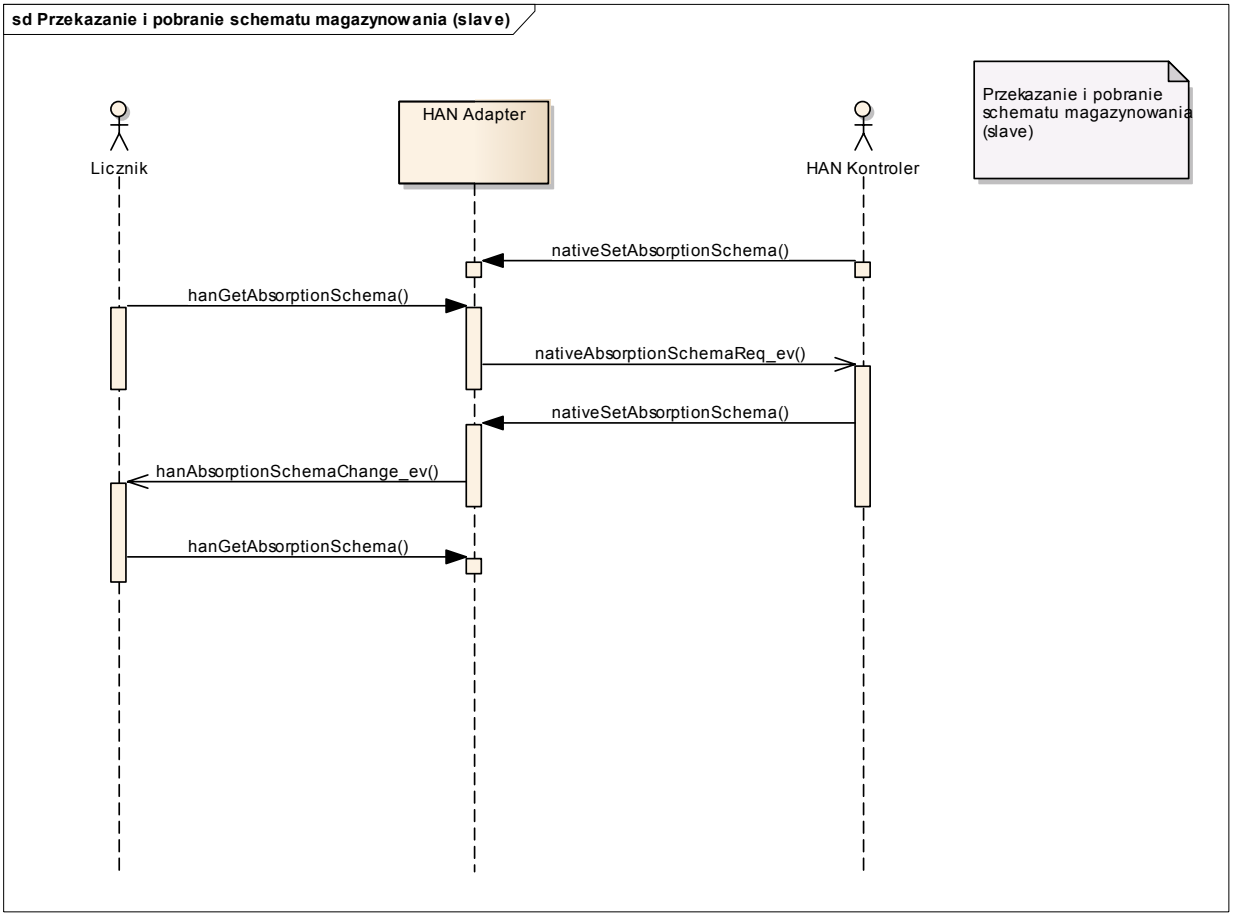
Metoda	nativeGenerationSchemaChange_ev		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek nowych danych schematu generacji – czas, od którego schemat uległ zmianie.
to	time_t	8	Koniec nowych danych schematu generacji – czas, do którego schemat uległ zmianie.

Odpowiedź		
`result_t`	`4`	Kod powodzenia operacji przyjęcia zdarzenia.
Częstość użycia (wywołania)		
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania do *HAN Adapter* i informacji o pojawieniu się nowych danych schematu generacji. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**	

Metoda	`nativeGetGenerationSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	`8`	Początek schematu generacji.
`to`	`time_t`	`8`	Koniec schematu generacji.
Odpowiedź			
`schema_t`	[4+8+k*(4+4)] *n		Schemat generacji, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu pobrania schematu generacji przez *HAN Adapter*. Zakłada się, że nowy element schematu będzie pobierany co 15 min. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

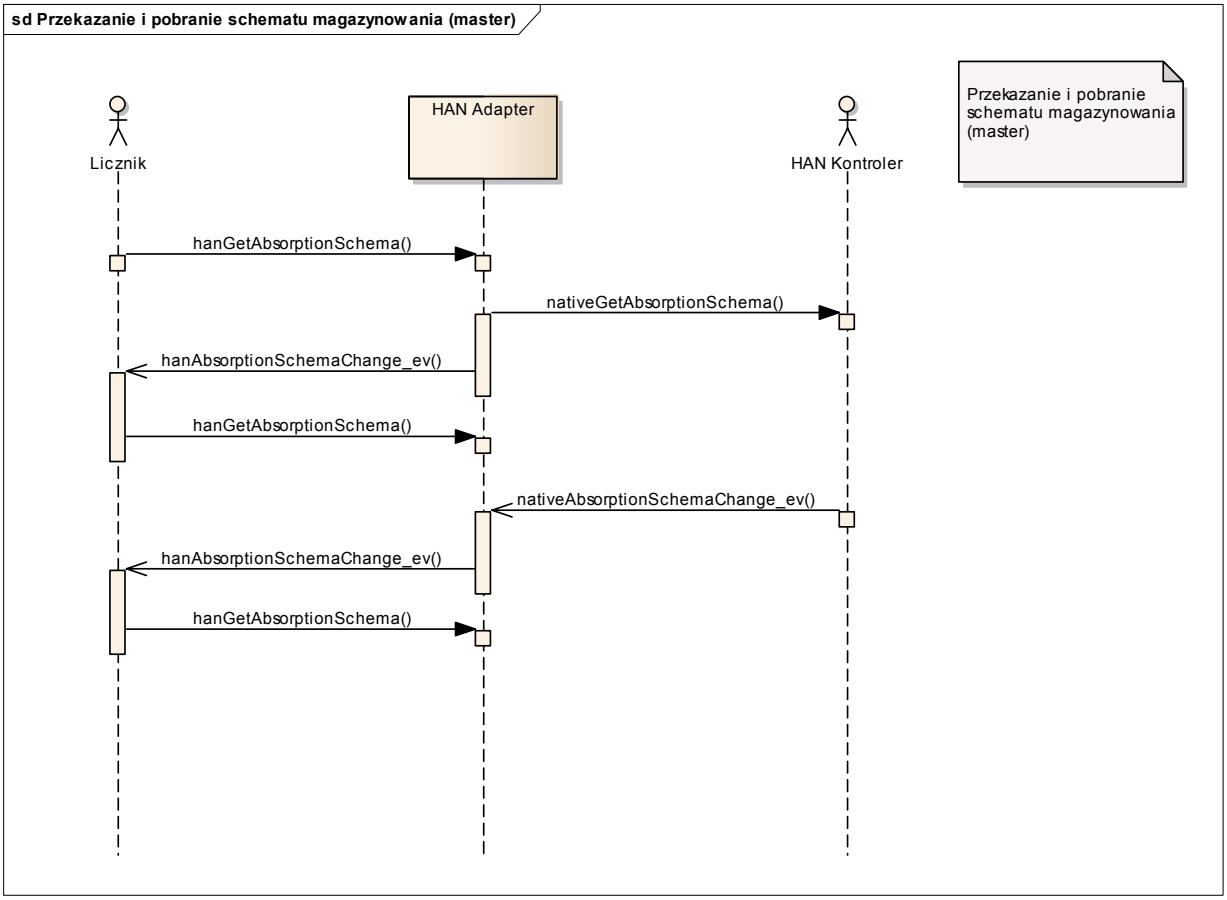
Pobranie i przekazanie schematu absorpcji

Na Rysunek 14, Rysunek 15 przedstawiono diagramy sekwencji dla przypadku, dla dwóch trybów komunikacji – master i slave.



Rysunek 14 Komunikacja dla przekazania i pobrania schematu absorpcji – tryb slave

W trybie slave *Licznik* wywołuje metodę służącą do pobrania danych `hanGetAbsorptionSchema`, która wyzwala przekazanie zdarzenia (żądania przekazania danych) `nativeAbsorptionSchemaReq_ev` do *HAN Adapter*. W odpowiedzi na zdarzenie, *HAN Adapter* przekazuje fragment schematu absorpcji za pomocą metody `nativePutAbsorptionSchema`. Metoda wyzwala przekazanie zdarzenia do licznika `hanAbsorptionSchemaChange_ev` sygnalizującego dostępność nowych danych. *Licznik* pobiera schemat absorpcji za pośrednictwem metody `hanGetAbsorptionSchema`. Należy podkreślić, że metoda `hanGetAbsorptionSchema` może zostać wywołana w dowolnym czasie bez konieczności oczekiwania na zdarzenie. Celem zdarzenia jest minimalizacja sprawdzania dostępności danych za pomocą okresowego odpytywania (tzw. pooling).



Rysunek 15 Komunikacja dla przekazania i pobrania schematu absorpcji – tryb master

W trybie master *HAN Adapter* okresowo pobiera schemat absorpcji z *HAN Kontroler* za pośrednictwem metody `nativeGetAbsorptionSchema`. Zakłada się, że wywołanie może zostać wyzwolone poprzez wywołanie przez *Licznik* metody `hanGetAbsorptionSchema`. Dostępność nowych danych dla schematu generacji w *HAN Kontroler* sygnalizowana jest zdarzeniem `nativeAbsorptionSchemaChange_ev`. Przekazanie zdarzenia jest opcjonalne i zależy od rodzaju sieci HAN.

Przekazywane dane

Poniżej przedstawiono charakterystykę metod opisanych na diagramach sekwencji wraz z szacunkową ilością przekazywanych danych.

Metoda	`hanGetAbsorptionSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek schematu generacji – czas, od którego pobierany jest schemat (profil) absorpcji.
`to`	`time_t`	8	Koniec schematu absorpcji – czas, do którego pobierany jest schemat (profil) absorpcji.

Odpowiedź		
schema_t	[4+8+k*(4+4)] *n	Schemat absorpcji, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Częstość użycia (wywołania)		
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu pobrania schematu absorpcji przez *Licznik*, w odpowiedzi na zapytanie z systemu AMI. Zakłada się, że co 15 min. będzie pobierany kolejny element profilu absorpcji.	

Metoda	hanAbsorptionSchemaChange_ev		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek nowych danych schematu absorpcji – czas, od którego schemat uległ zmianie.
to	time_t	8	Koniec nowych danych schematu absorpcji – czas, do którego schemat uległ zmianie.
Odpowiedź			
result_t	4		Kod powodzenia operacji (przekazania zdarzenia).
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu poinformowania *Licznika* o pojawieniu się nowych danych schematu absorpcji. W odpowiedzi na wywołanie tej metody *Licznik* pobiera nowy fragment schematu z *HAN Adapter*.		

Metoda	nativeAbsorptionSchemaReq_ev		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek schematu absorpcji – czas, od którego pobierany jest schemat (profil) absorpcji.
to	time_t	8	Koniec schematu absorpcji – czas, do którego pobierany

			jest schemat (profil) absorpcji.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji przyjęcia zdarzenia.
Częstość użycia (wywołania)			
1/48 h	Metoda wywoływana jest w celu skonfigurowania pobierania schematu absorpcji przez *HAN Adapter*, w odpowiedzi na zapytanie z systemu AMI. Metoda ma na celu pobranie danych historycznych w przypadku problemów z bieżącym przekazywaniem danych. Zakłada się, że metoda jest wywoływana sporadycznie.		

Metoda	`nativePutAbsorptionSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek schematu absorpcji.
`to`	`time_t`	8	Koniec schematu absorpcji.
`schema_t`	[4+8+k*(4+4)] *n		Schemat absorpcji, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji przekazania fragmentu profilu.
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania schematu absorpcji przez *HAN Kontroler* do *HAN Adapter* i w końcu do *Licznika*. Zakłada się, że nowy element schematu będzie przekazywany co 15 min. W przypadku braku możliwości przekazania danych przez *HAN Kontroler* przez określony czas przesunięciu ulega czas `from`.		

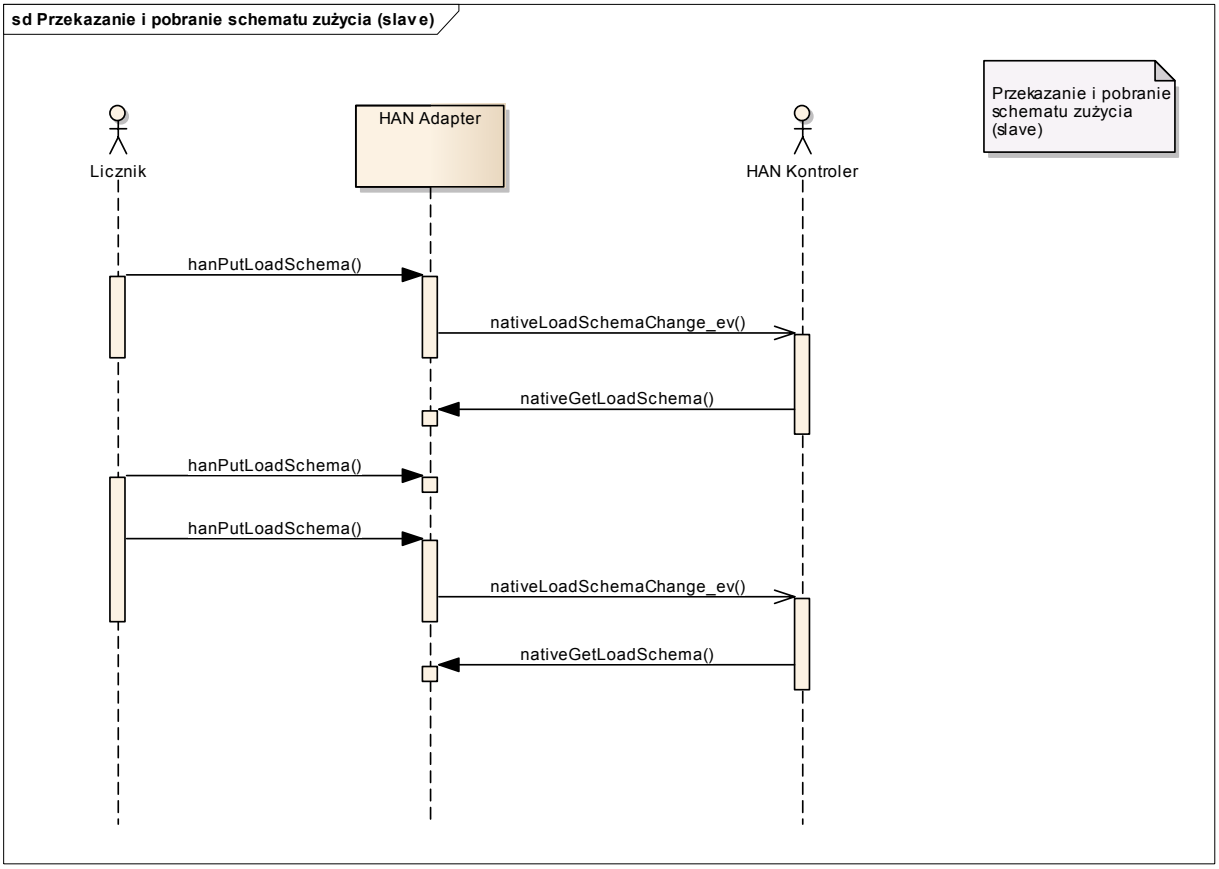
Metoda	`nativeAbsorptionSchemaChange_ev`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**

from	time_t	8	Początek nowych danych schematu absorpcji – czas, od którego schemat uległ zmianie.
to	time_t	8	Koniec schematu absorpcji – czas, do którego pobierany jest schemat (profil) absorpcji.
Odpowiedź			
result_t	4		Kod powodzenia operacji przyjęcia zdarzenia.
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania do *HAN Adapter* i informacji o pojawieniu się nowych danych schematu absorpcji. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

Metoda	nativeGetAbsorptionSchema		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
from	time_t	8	Początek schematu absorpcji.
to	time_t	8	Koniec schematu absorpcji.
Odpowiedź			
schema_t	[4+8+k*(4+4)] *n		Schemat absorpcji, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu pobrania schematu absorpcji przez *HAN Adapter*. Zakłada się, że nowy element schematu będzie pobierany co 15 min. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

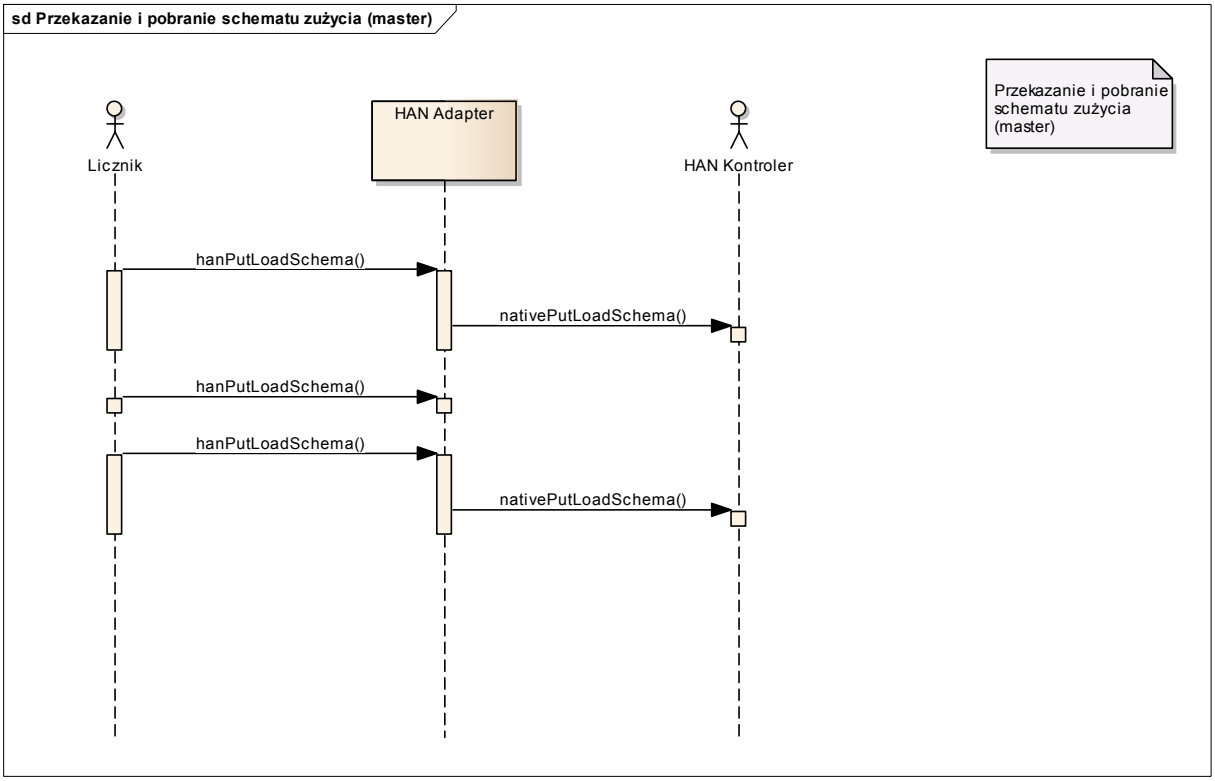
Przekazanie i pobranie schematu zużycia

Na Rysunek 16, Rysunek 17 przedstawiono diagram sekwencji dla przypadku ilustrujący przekazywanie schematu zużycia w trybie slave i master.



Rysunek 16 Komunikacja dla przekazania i pobrania schematu zużycia – tryb slave

W trybie slave *Licznik* wywołuje metodę służącą do przekazania danych `hanPutLoadSchema`, która wyzwala przekazanie zdarzenia (żądania przekazania danych) `nativeLoadSchemaChange_ev` do *HAN Adapter*. W odpowiedzi na zdarzenie, *HAN Kontroler* pobiera fragment schematu zużycia za pomocą metody `nativeGetLoadSchema`. Należy podkreślić, że metoda `nativeGetLoadSchema` może zostać wywołana w dowolnym czasie bez konieczności oczekiwania na zdarzenie. Celem zdarzenia jest minimalizacja sprawdzania dostępności danych za pomocą okresowego odpytywania (tzw. pooling).



Rysunek 17 Komunikacja dla przekazania i pobrania schematu zużycia – tryb master

W trybie master *HAN Adapter*, w odpowiedzi na przekazanie danych przez Licznik przekazuje dane do *HAN Kontroler* za pomocą metody `nativePutLoadSchema`. *HAN Adapter* może zgromadzić wstępnie większą ilość danych i przekazać je z opóźnieniem (nie jest wymagane, by dane były przekazywane w odpowiedzi na każde wywołanie `hanPutLoadSchema`.

Przekazywane dane

Poniżej przedstawiono charakterystykę metod opisanych na diagramach sekwencji wraz z szacunkową ilością przekazywanych danych.

Metoda	`hanPutLoadSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek schematu zużycia.
`to`	`time_t`	8	Koniec schematu zużycia.
`load_t`	[4+8+k*(4+4)+4+4] *n		Schemat (profil) zużycia składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu oraz dobrowolny poziom redukcji wraz z wielkością wynagrodzenia za redukcję. Zakłada się, że wartość k może być różna dla każdego z elementów profilu.

Odpowiedź		
`result_t`	4	Kod powodzenia operacji przekazania fragmentu profilu.
Częstość użycia (wywołania)		
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania schematu zużycia przez *Licznik* w wyniku przekazania danych z systemu AMI. Zakłada się, że co 15 min. będzie przekazywany kolejny element schematu (profilu zużycia).	

Metoda	`nativeLoadSchemaChange_ev`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek nowych danych schematu zużycia – czas, od którego schemat uległ zmianie.
`to`	`time_t`	8	Koniec nowych danych schematu zużycia – czas, do którego schemat uległ zmianie.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji (przekazania zdarzenia).
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu poinformowania *HAN Kontroler* o pojawieniu się nowych danych schematu zużycia. W odpowiedzi na wywołanie tej metody *HAN Kontroler* pobiera nowy fragment schematu z *HAN Adapter*.		

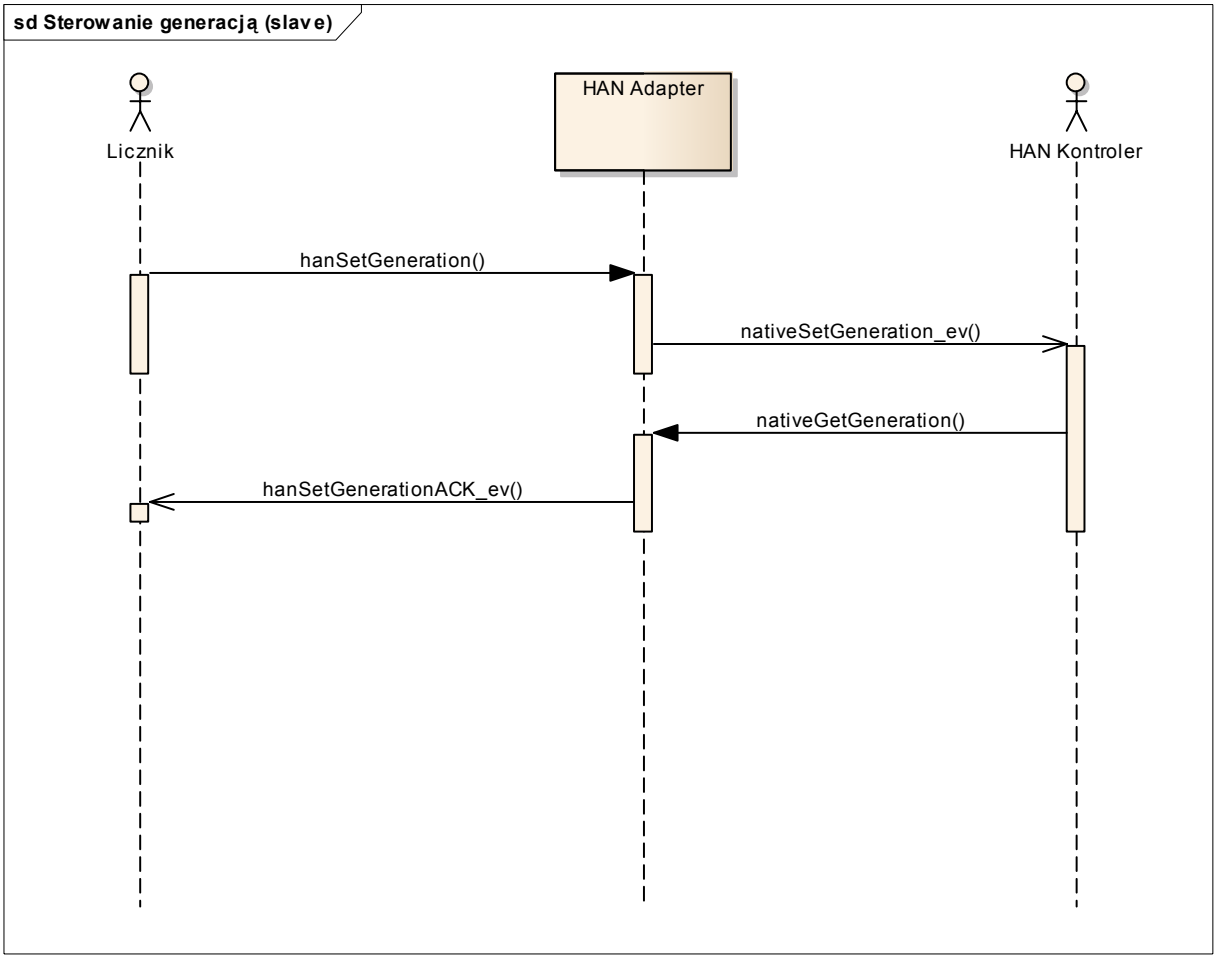
Metoda	`nativeGetLoadSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek schematu zużycia.
`to`	`time_t`	8	Koniec schematu zużycia.
Odpowiedź			
`load_t`	[4+8+k*(4+4)+4+4] *n		Schemat (profil) zużycia, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu oraz dobrowolny poziom redukcji wraz z wielkością

		wynagrodzenia za redukcję. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Częstość użycia (wywołania)		
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu pobrania schematu zużycia przez *HAN Kontroler* w odpowiedzi na zdarzenie zmiany fragmentu profilu. Metoda może być też wywoływana w trybie okresowym (tzn. pooling).	

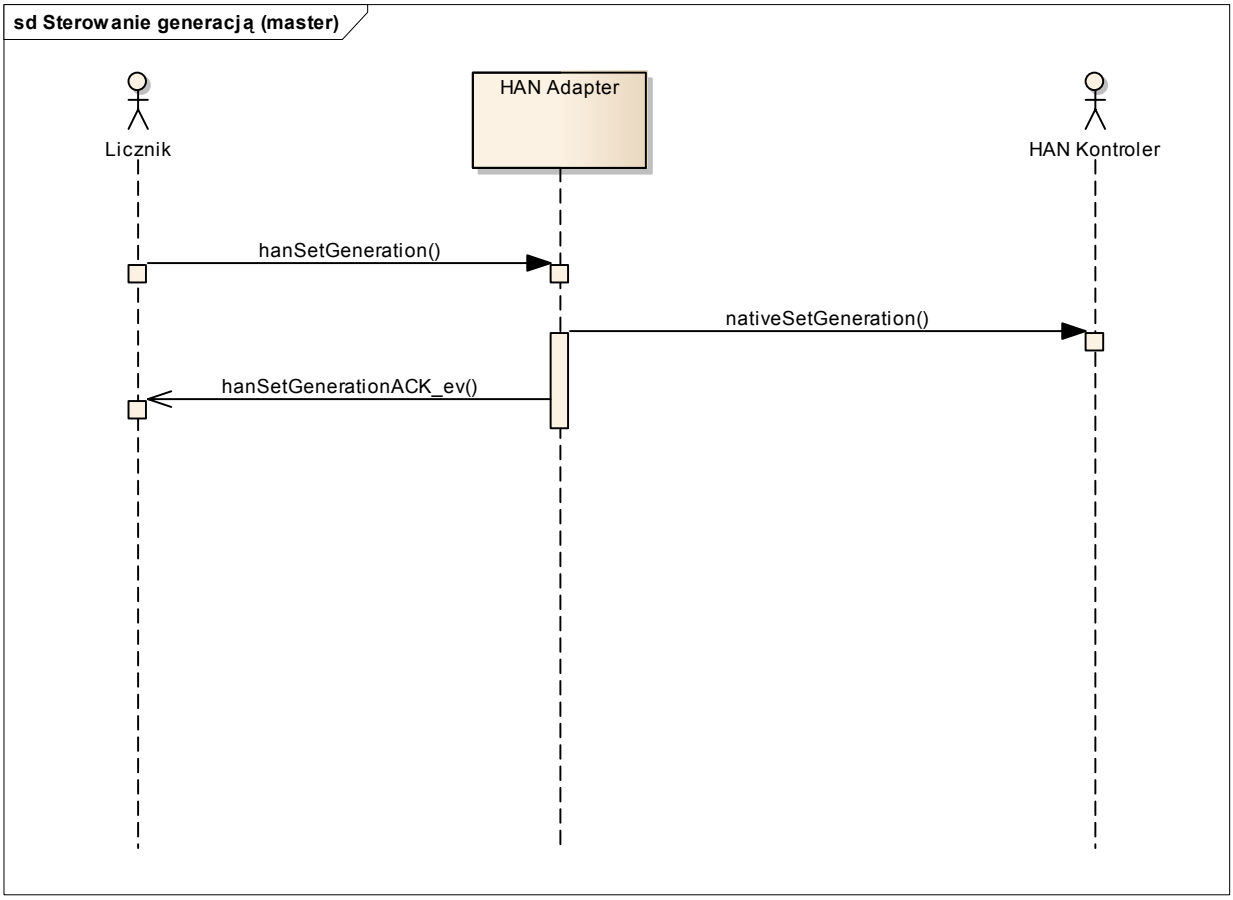
Metoda	`nativePutLoadSchema`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`from`	`time_t`	8	Początek schematu absorpcji.
`to`	`time_t`	8	Koniec schematu generacji.
`load_t`	[4+8+k*(4+4)+4+4] *n		Schemat (profil) zużycia, składający się z n elementów, z których każdy zawiera status (4), czas (8) i k par określających limit mocy i koszt kW powyżej tego limitu oraz dobrowolny poziom redukcji wraz z wielkością wynagrodzenia za redukcję. Zakłada się, że wartość k może być różna, dla każdego z elementów profilu.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji (przekazania zdarzenia).
Częstość użycia (wywołania)			
1/15 min.	Metoda wywoływana jest w celu przekazania schematu zużycia przez *HAN Kontroler* do *HAN Adapter*. Zakłada się, że nowy element schematu będzie przekazywany co 15 min. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

Sterowanie generacją

Na Rysunek 18, Rysunek 19 przedstawiono diagram sekwencji dla przypadku ilustrujący proponowaną semantykę komunikacji.



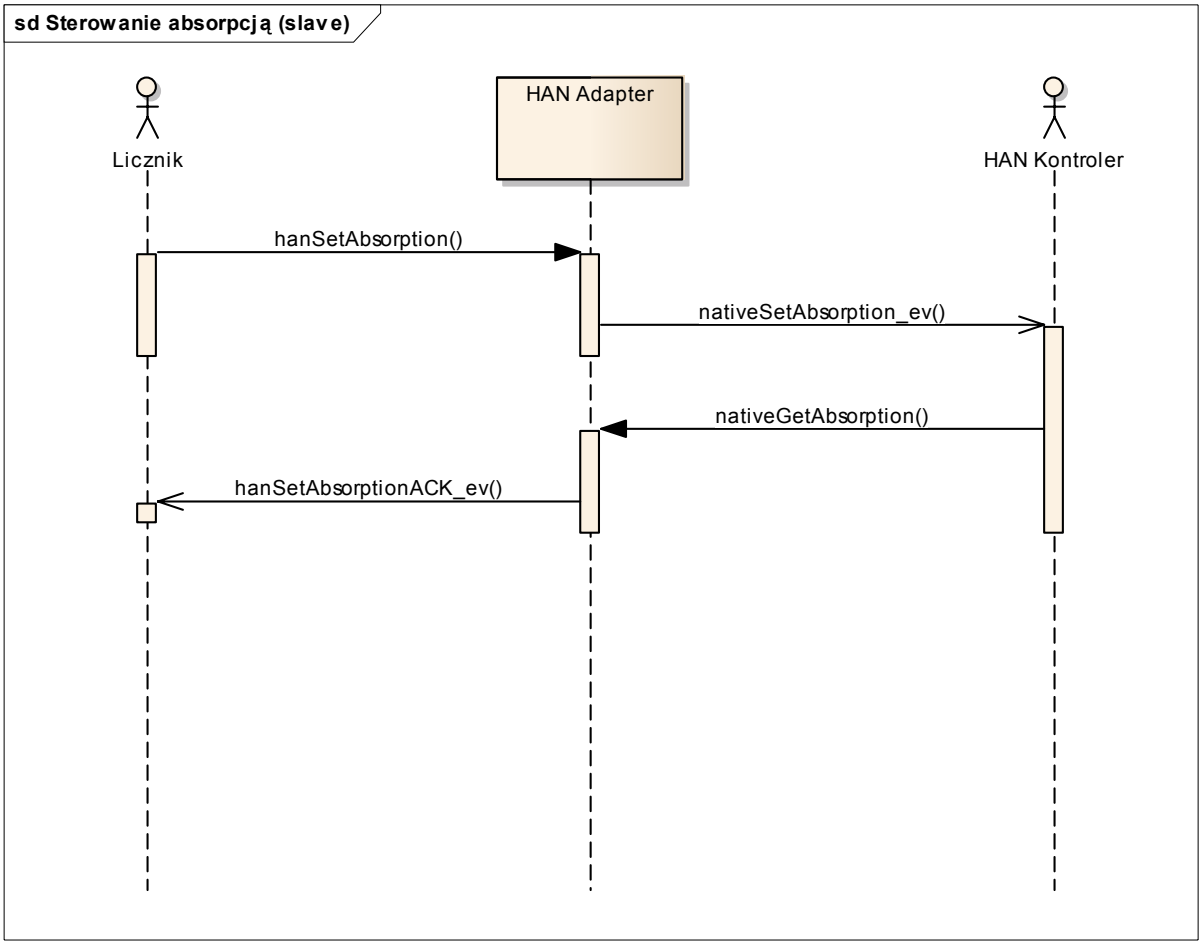
Rysunek 18 Komunikacja dla sterowania generacją – tryb slave



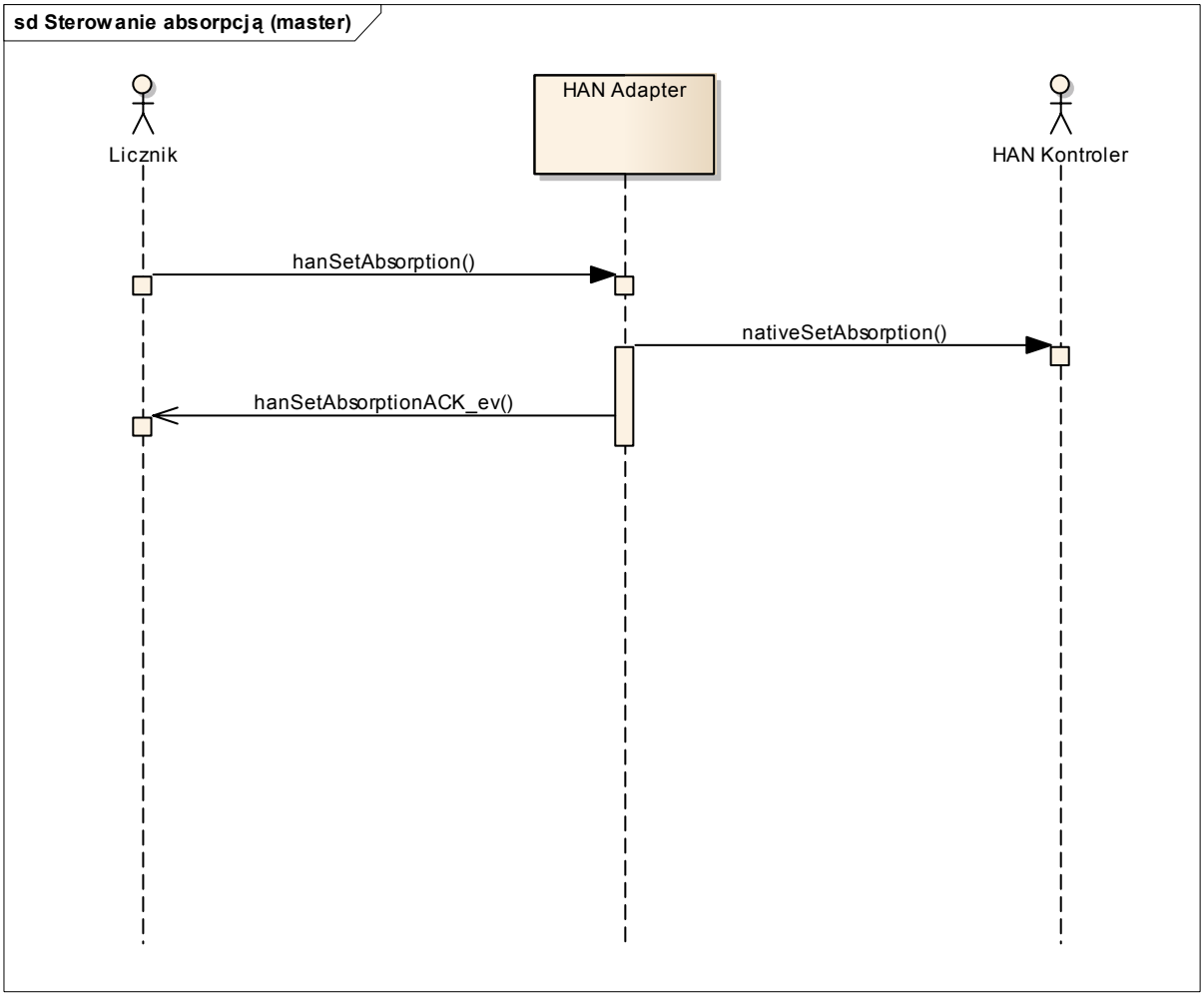
Rysunek 19 Komunikacja dla sterowania generacją – tryb master

Sterowanie absorpcją

Na Rysunek 20, Rysunek 21 przedstawiono diagramy sekwencji dla przypadku ilustrujący proponowaną semantykę komunikacji.



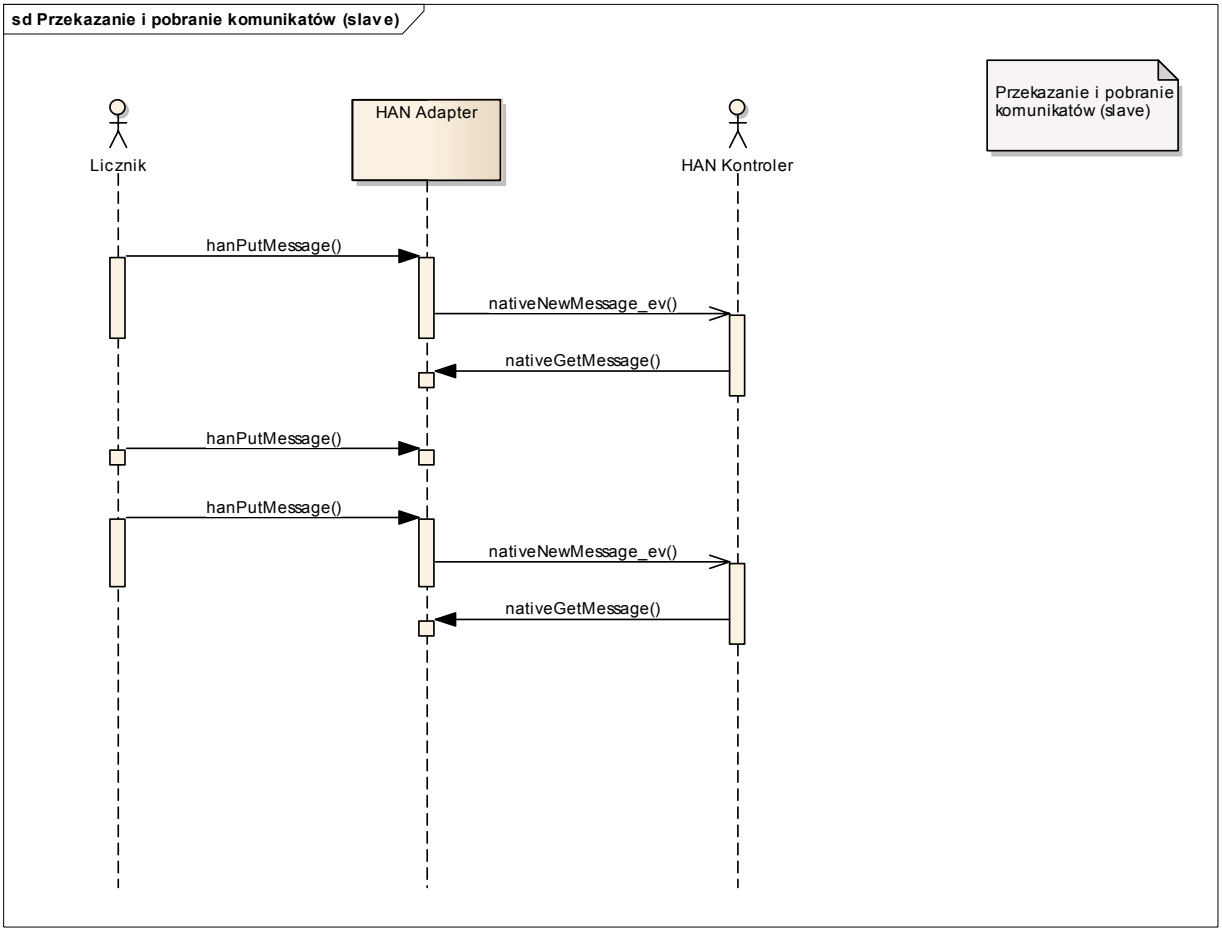
Rysunek 20 Komunikacja dla sterowania absorpcją – tryb slave



Rysunek 21 Komunikacja dla sterowania absorpcją – tryb master

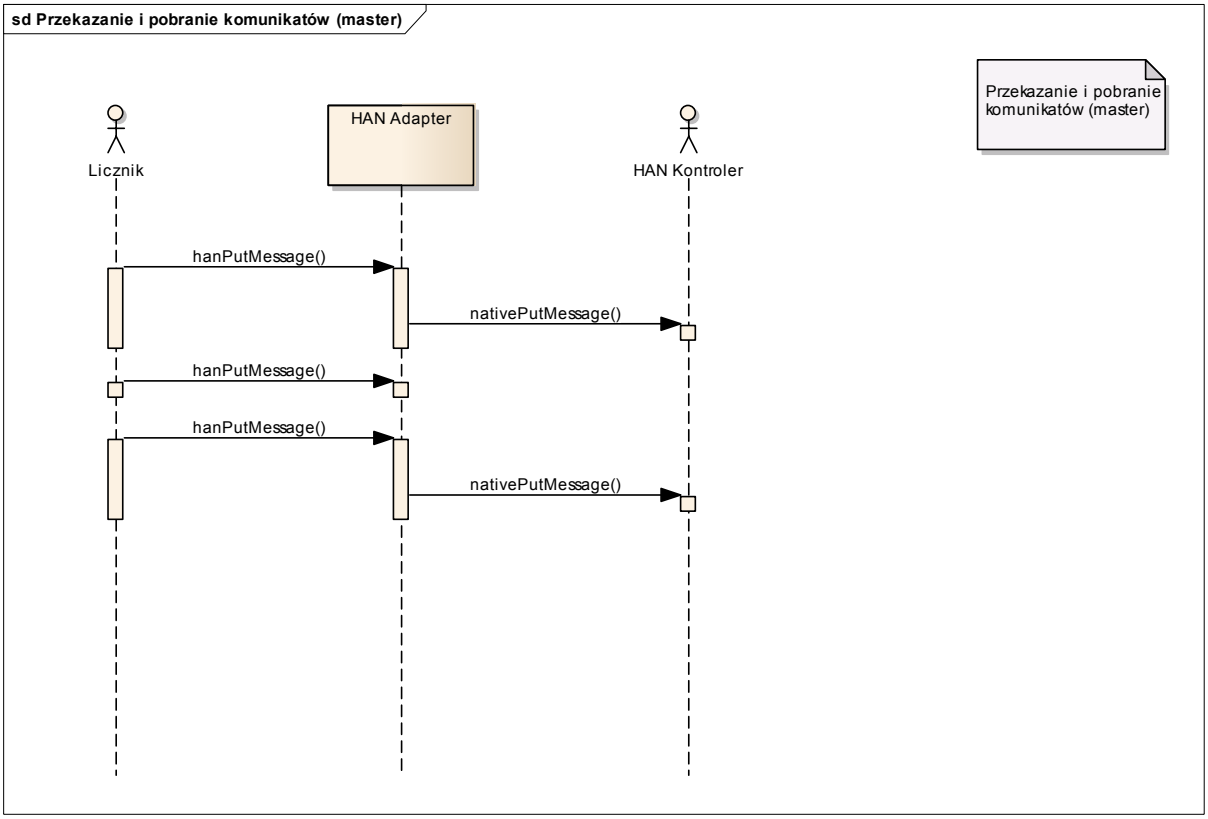
Przekazanie i pobranie komunikatów

Na Rysunek 22, Rysunek 23 przedstawiono diagram sekwencji dla przypadku ilustrujący proponowaną semantykę komunikacji.



Rysunek 22 Komunikacja dla przekazywania i pobrania komunikatów – tryb slave

W trybie slave *Licznik* przekazuje komunikat do *HAN Adapter* za pomocą metody `hanPutMessage`. Zakłada się, że komunikat to ciąg bajtów o wielkości nie przekraczającej 1518 bajtów (użyteczna wielkość ramki Ethernet). W odpowiedzi na ten komunikat do *HAN Kontroler* przekazywane jest zdarzenie `nativeNetMessage_ev` sygnalizujące pojawienie się nowego komunikatu w HAN Adapter i konieczność jego odebrania. *HAN Kontroler* za pomocą metody `nativeGetMessage` pobiera komunikat na *HAN Adapter*. Komunikaty mogą być pobierane także w trybie okresowym (pooling), bez konieczności obsługi zdarzenia `nativeMessage_ev`.



Rysunek 23 Komunikacja dla przekazywania i pobrania komunikatów – tryb master

W trybie master komunikaty do *HAN Adapter* przekazywane są za pomocą wywołania `nativePutMessage`. Dane do *HAN Adapter* przekazywane są za pomocą komunikatu `hanPutMessage` i istnieją te same ograniczenia na długość komunikatu jak opisane powyżej (1518 bajtów). *HAN Adapter* może zgrupować dane przekazane kilku wywołaniach `hanPutMessage` i przekazać je za pomocą pojedynczego wywołania `nativePutMessage`.

Przekazywane dane

Poniżej przedstawiono charakterystykę metod opisanych na diagramach sekwencji wraz z szacunkową ilością przekazywanych danych.

Metoda	`hanPutMessage`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`cnt`	`uint_t`	4	Rozmiar wektora komunikatów.
`msgs[]`	`msg_t`	(4+l)*cnt	Wektor cnt komunikatów, z których każdy składa się z 4-o bajtowego rozmiaru i tablicy bajtów o długości l.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji przekazania wektora

		komunikatów.
Częstość użycia (wywołania)		
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu przekazania wektora zdarzeń przez *Licznik* do *HAN Adapter* i do *HAN kontroler*. Zakłada się, że nowe komunikaty będą przekazywane średnio co godzinę.	

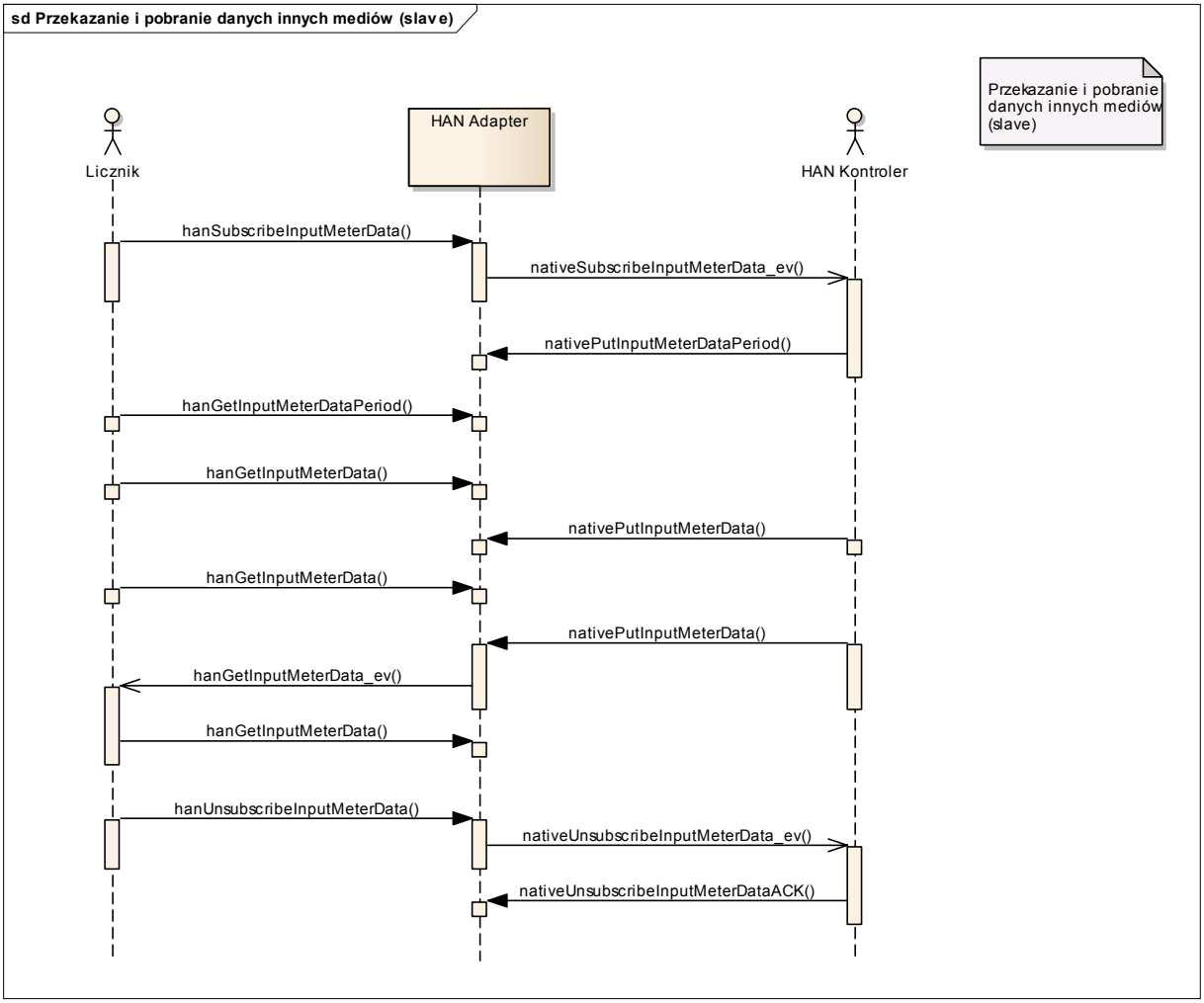
Metoda	`nativeNewMessage_ev`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`cnt`	`uint_t`	4	Rozmiar wektora zdarzeń.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji przekazania zdarzenia.
Częstość użycia (wywołania) / opis			
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu przekazania do *HAN Kontroler* informacji o nowych komunikatach. Argument cnt zawiera liczbę komunikatów, które nie zostały jeszcze odebrane przez *HAN Kontroler*.		

Metoda	`nativeGetMessage`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`cnt`	`uint_t`	4	Rozmiar wektora zdarzeń, który ma zostać pobrany.
Odpowiedź			
`msg_t[]`	(4 + l) * cnt		Wektor zdarzeń. Rozmiar wektora wynosi maksymalnie cnt zdarzeń. W przypadku, gdy cnt jest większe od liczby zdarzeń zgromadzonych w *HAN Adapter* zwracane jest tyle zdarzeń, ile zostało zgromadzonych, w szczególności 0.
Częstość użycia (wywołania) / opis			
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu pobrania przez *HAN Kontroler* wektora zdarzeń. Zakłada się, że zdarzenia pobierane są średnio co godzinę.		

Metoda	`nativePutMessage`		
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`cnt`	`uint_t`	4	Rozmiar przekazywanego wektora komunikatów.
`msgs`	`msg_t`	(4 + l) * cnt	Wektor komunikatów.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji przekazania wektora komunikatów.
Częstość użycia (wywołania) / opis			
1/1 h	Metoda wywoływana jest w celu przekazania do *HAN Kontroler* wektora komunikatów. Zakłada się, że komunikaty przekazywane są średnio co godzinę. **Metoda używana jest tylko w przypadku, gdy *HAN Adapter* działa w trybie master.**		

Pobranie i przekazanie danych innych mediów

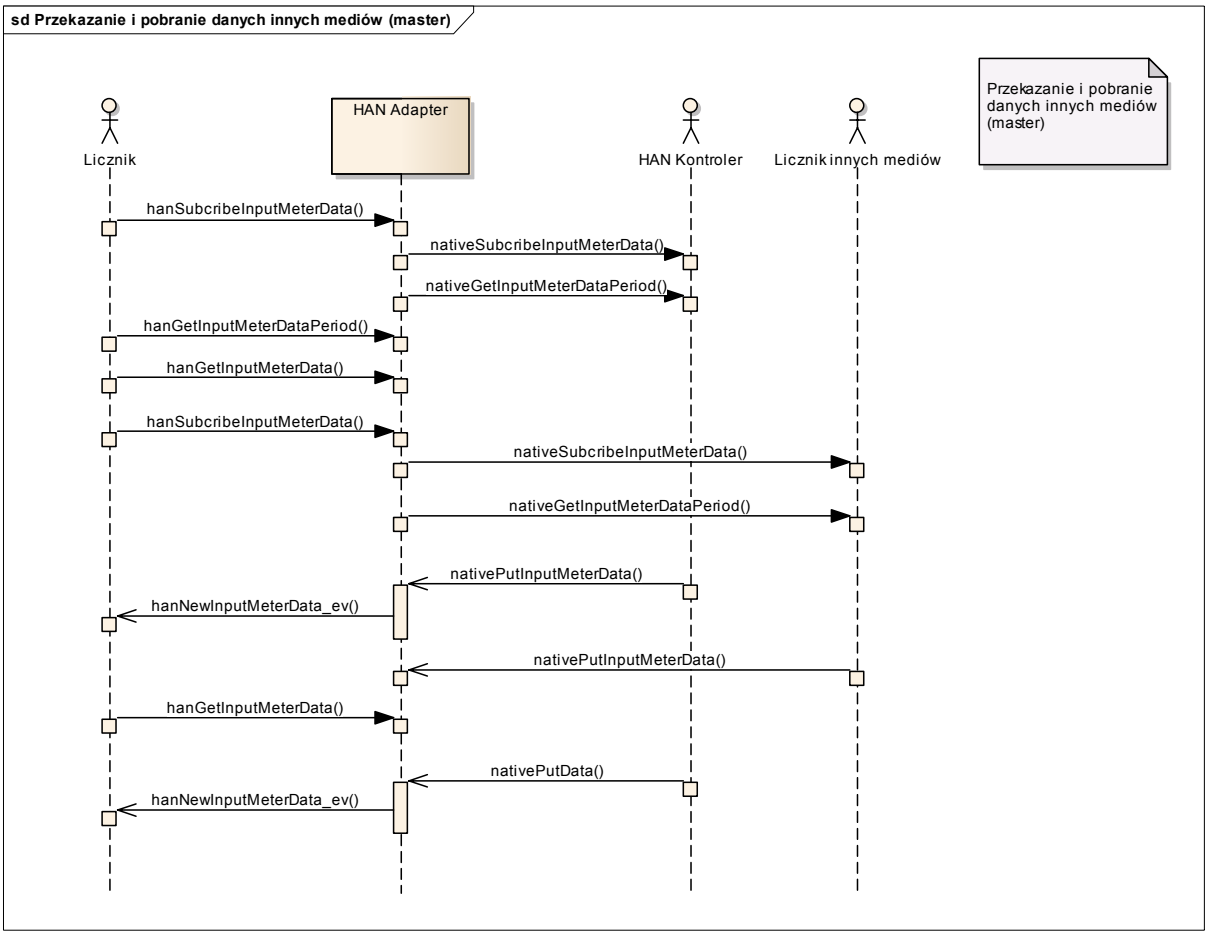
Na Rysunek 24, Rysunek 25 przedstawiono diagramy sekwencji ilustrujące proponowaną semantykę komunikacji dla dwóch trybów.



Rysunek 24 Komunikacja dla przekazania i pobrania danych innych mediów - tryb slave

Licznik rozpoczyna subskrypcję danych poprzez wywołanie metody `hanSubscribeMeterData` urządzenia *HAN Adapter*. W wyniku wywołania metody do urządzenia *HAN Kontroler* przekazywane jest zdarzenie (notyfikacja) o rozpoczęciu subskrypcji. Komunikat zdarzenia powtarzany jest do momentu jego obsłużenia przez *HAN Kontroler* poprzez wywołanie metody `nativePutInputMeterDataPeriod`. Metoda przekazuje okres generacji danych dla danej subskrypcji. *Licznik* pobiera okres generacji danych z *HAN Adapter* za pomocą metody `hanGetMeterInputDataPeriod`. Na podstawie tego okresu określany jest interwał pobierania danych przez *Licznik* z *HAN Adapter*. Przykładowo jeżeli interwał wynosi 15 min. to metoda `hanGetInputMeterData` będzie wywoływana co ten okres lub w odpowiedzi na zdarzenie pojawienia się nowych danych pomiarowych, sygnalizowane za pomocą metody

`hanGetInputMeterData_ev`. Zdarzenie pojawienia się danych pomiarowych jest opcjonalne tzn. nie jest wymagane, żeby urządzenia wysyłały taki komunikat.

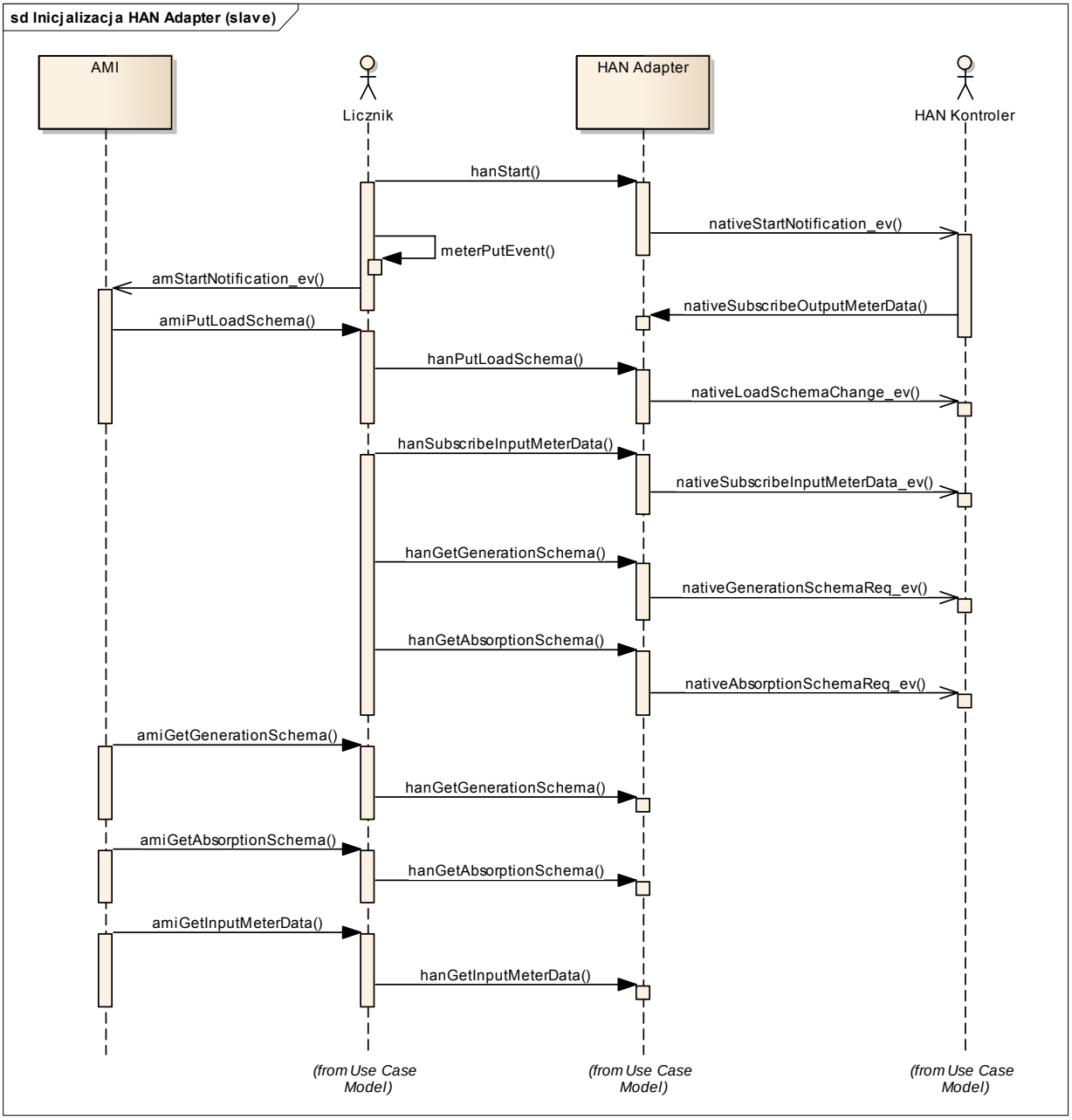


Rysunek 25 Komunikacja dla pobrania i przekazania danych innych mediów - tryb master

W trybie master *HAN Adapter*, w odpowiedzi na subskrypcję danych przez Licznik, wywołuje metody *HAN Kontroler* lub *Licznika innych mediów* służące do subskrypcji danych i pobrania okresu przekazywania danych pomiarowych. Następnie układy pomiarowe przekazują asynchroniczne telegramy z pomiarami co przekazany wcześniej okres czasu (za pomocą metody `nativePutInputMeterData`).

Inicjalizacja komunikacji AMI-HAN

Na diagramach Rysunek 26, Rysunek 27 zaprezentowano sekwencję inicjalizacji komunikacji z siecią HAN.



Rysunek 26 Diagram sekwencji dla inicjalizacji HAN Adapter i sieci HAN – tryb slave

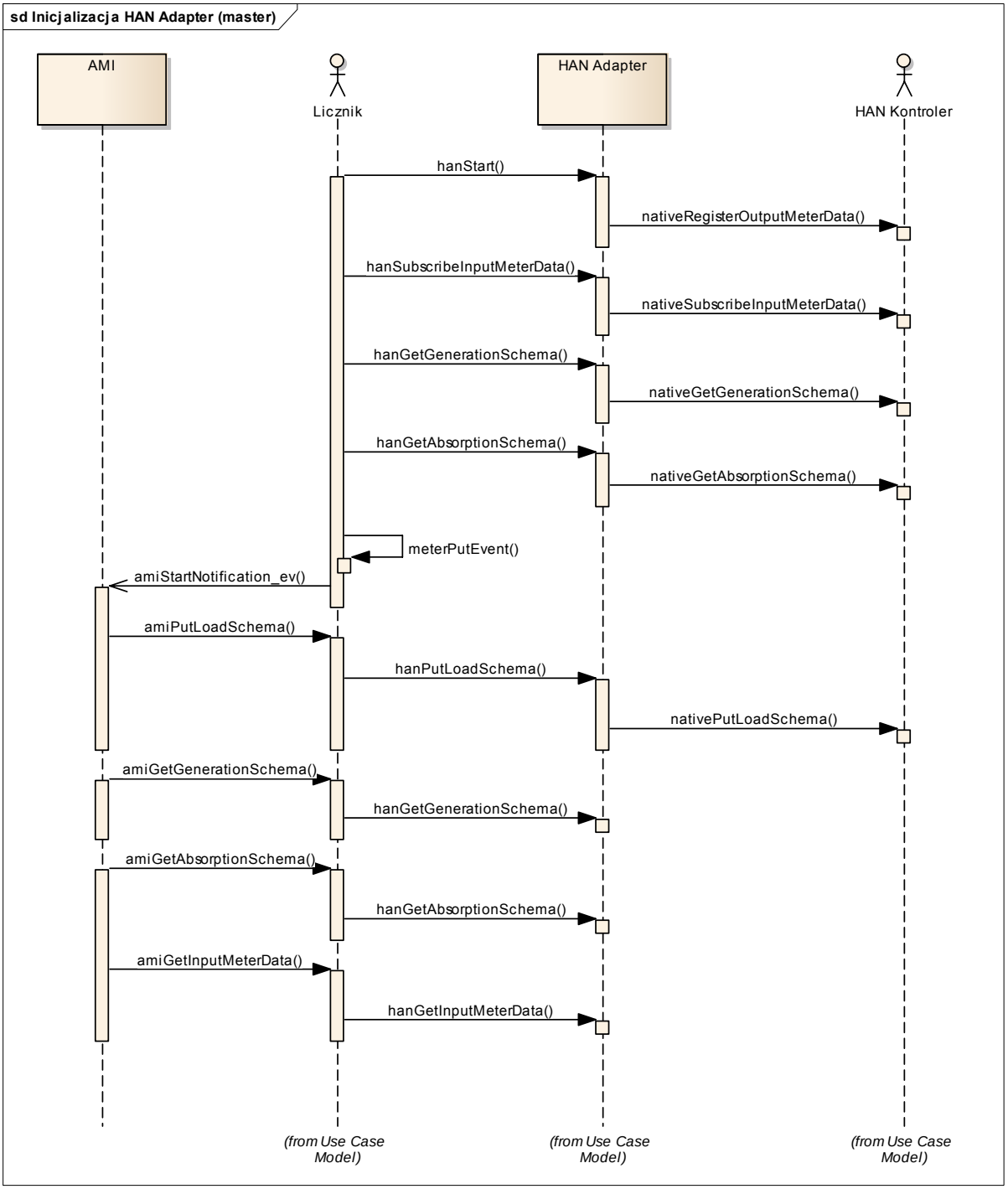
Po wywołaniu przez *Licznik* metody `hanStart` generowane jest odpowiednie zdarzenie (za pomocą metody `meterPutEvent`), odczytywane przez aplikację *AMI*. Równolegle do *HAN Kontroler* przekazywane jest zdarzenie `nativeStartNotification_ev`. W odpowiedzi na to zdarzenie *HAN Kontroler* subskrybuje dane pomiarowe (metoda `hanSubscribeOuputMeterData`).

Zdarzenie `amiStartNotification_ev` symbolizuje odczytanie zdarzenia startu sieci HAN przez aplikację *AMI*. W odpowiedzi na start sieci HAN, *AMI* przekazuje do *Licznika* (i w konsekwencji do *HAN Kontroler*) schemat (profil) zużycia energii (metoda `hanPutLoadSchema` i zdarzenie `nativeLoadSchemaChange_ev`).

Następnie *HAN Adapter* subskrybuje dane pomiarowe innych mediów (`hanSubscribeInputMeterData`) i rozpoczyna normalną pracę – okresowe pobieranie danych pomiarowych innych mediów (`hanGetInputMeterData`), schematu generacji (`hanGetGenerationSchema`), schematu absorpcji (`hanGetAbsorpionSchema`) oraz przekazywanie danych pomiarowych i schematu zużycia (po aktualizacjach *AMI*).

Aplikacja *AMI* pobiera z *Licznika* schematy zużycia i generacji, dane pomiarowe innych mediów, przekazuje schemat zużycia, komunikaty oraz steruje generacją i absorpcją.

W trybie master (Rysunek 27) procedura inicjalizacji jest bardzo zbliżona, z dokładnością do tego, że do *HAN Kontroler* nie są przekazywane zdarzenia, w wyniku których wywoływane są odpowiednie metody, ale wywoływane są metody w trybie synchronicznym.



Rysunek 27 Diagram sekwencji dla inicjalizacji HAN Adapter i sieci HAN – tryb master

Przekazywane dane

Poniżej przedstawiono charakterystykę nowych metod zaprezentowanych na powyższych diagramach sekwencji. W opisie pominięto metody dotyczące systemu AMI (nie stanowią one przedmiotu niniejszej analizy) oraz wewnętrzną metodę *Licznika* służącą do umieszczenia nowego zdarzenia w rejestrze profilowym (kolejce zdarzeń).

Metoda	`nativeStartNotification_ev`

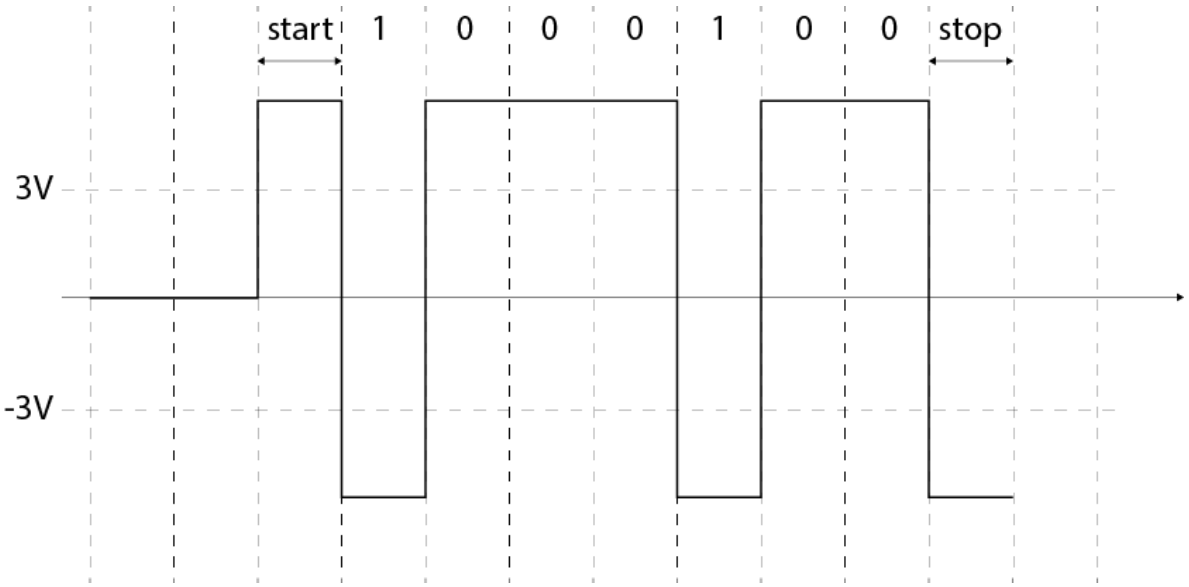
Parametry wywołania			
Nazwa	**Typ**	**Rozmiar**	**Opis**
`start`	`time_t`	8	Czas inicjalizacji sieci HAN.
Odpowiedź			
`result_t`	4		Kod powodzenia operacji przekazania zdarzenia.
Częstość użycia (wywołania)			
1/48 h	Metoda wywoływana jest w celu przekazania do *HAN Kontroler* zdarzenia informującego o inicjalizacji sieci HAN. Zakłada się, że HAN będzie inicjalizowany średnio co kilka dni.		

Interfejsy urządzeń

W rozdziale przedstawiono charakterystykę powszechnie wykorzystywanych interfejsów służących do podłączania urządzeń peryferyjnych do systemów mikroprocesorowych. W porównaniu uwzględniono cechy takie jak możliwość identyfikacji urządzenia, zasilania, sterowania zasilaniem i uwierzytelnienia. Interfejs urządzeń opisano w kontekście zastosowania go w liczniku energii elektrycznej, do podłączenia *HAN Adapter*.

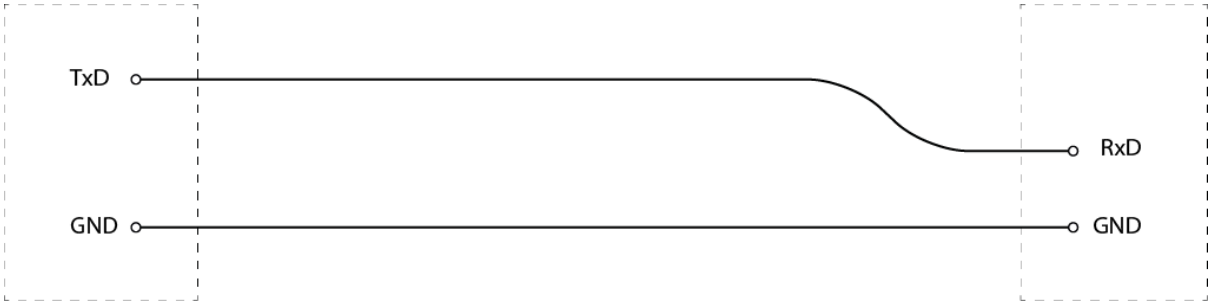
Interfejsy szeregowe RS-232, RS-422, RS-485

Interfejsy szeregowe wykorzystywane są do transmisji danych do urządzeń peryferyjnych od ponad 50 lat. Istotą interfejsu szeregowego jest transmisja danych w postaci strumienia bitów, przekazywanych za pomocą pojedynczej linii sygnałowej. Transmisja ma charakter asynchroniczny tzn. nadawanie bitów nie jest synchronizowane do sygnału zegarowego przekazywanego pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Odbieranie danych rozpoczyna się po detekcji bitów startu, czyli zmianie stanu linii sygnałowej podłączonej do odbiornika. Po bitach startu następują bity danych, opcjonalny bit parzystości i bity stopu. Ilość bitów danych, przekazywanych w pojedynczym znaku transmisji, jest ustalana na etapie konfiguracji interfejsu (wynosi z reguły 7 lub 8). Na tym etapie określana jest także ilość bitów startu, stopu (odstępu), prędkość przekazywania danych oraz wykorzystanie dodatkowych sygnałów do sterowania przepływem danych (CTS, RTS, DSR, DTR). Na Rysunek 28 zaprezentowany został pojedynczy znak transmisji szeregowej.



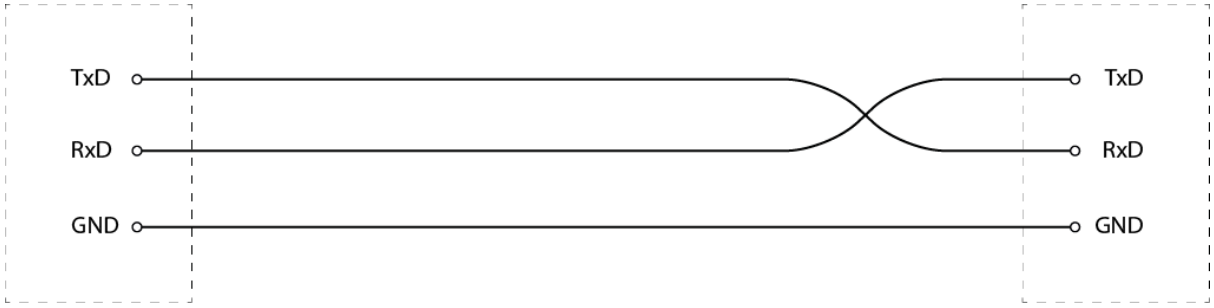
Rysunek 28 Pojedynczy znak transmisji szeregowej

Najprostsze połączenie szeregowe składa się z dwóch przewodów (Rysunek 29) – masy i połączenia pomiędzy linią nadajnika i odbiornika (połączenie w trybie jednokierunkowym).



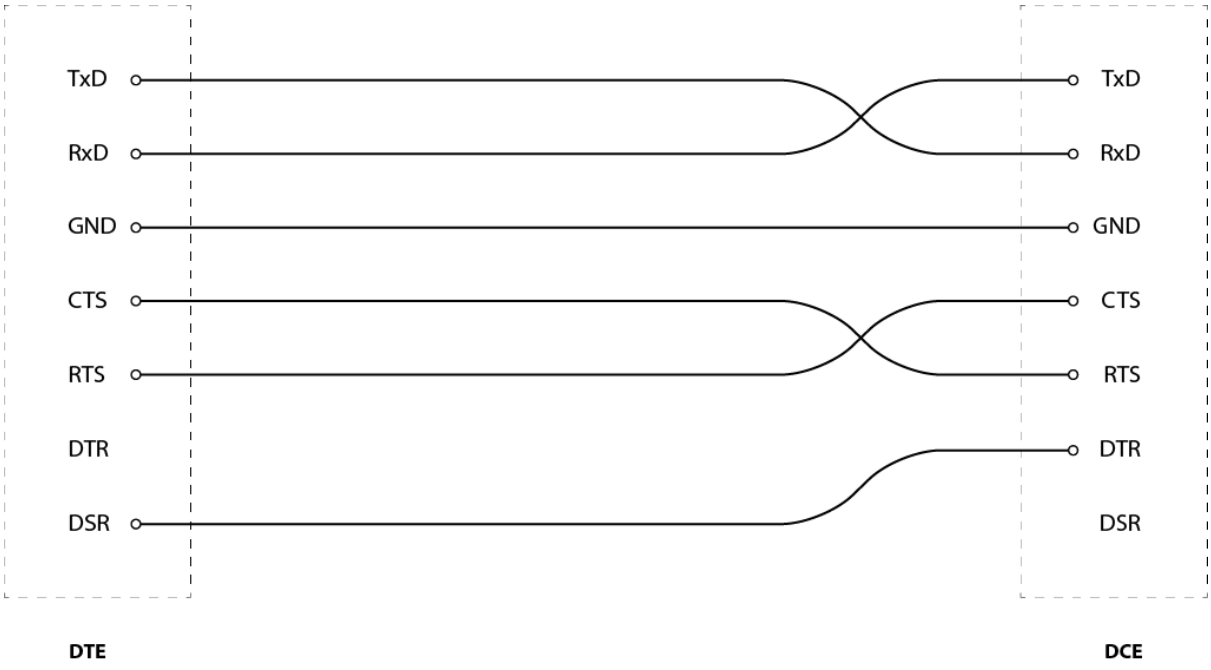
Rysunek 29 Jednokierunkowe połączenie szeregowe

Połączenie w trybie dwukierunkowym zawiera dwie linie pomiędzy odbiornikami i nadajnikami urządzeń (Rysunek 30).



Rysunek 30 Dwukierunkowe połączenie szeregowe

Połączenie w trybie dwukierunkowym z pełną kontrolą przepływu składa się z 6 linii (Rysunek 31), z czego linie DTR i DSR służą do wstrzymywania transmisji ze względu na gotowość podłączonego urządzenia peryferyjnego (DCE) np. drukarki lub modemu, które odpowiednim stanem linii DTR podłączonej do DSR nadajnika sygnalizują brak gotowości np. brak papieru lub połączenia z siecią.



Rysunek 31 Połączenie szeregowe z kontrolą przepływu

Linie RTS/CTS służą do sygnalizacji gotowości obu stron transmisji do przyjmowania kolejnych znaków tzn. w momencie, gdy w buforze urządzenia odbierającego nie ma miejsca stan linii RTS i podłączonej do niej linii CTS nadajnika zmieniany jest na nieaktywny i wysyłanie znaków ulega wstrzymaniu. Należy podkreślić, że tryby pracy z kontrolą przepływu nie są z reguły stosowane w praktyce.

Prędkość transmisji szeregowej wynosi od kilku bps do kilku Mbps i zależy od sposobu przekazywania sygnałów (napięciowo lub różnicowo-napięciowo) oraz od odległości pomiędzy urządzeniami (im większa odległość tym większa stopa błędów przy wysokiej prędkości transmisji).

Urządzenie cyfrowe służące do transmisji danych w systemie mikroprocesorowym, z jednej strony podłączone do magistrali systemu, a z drugiej zakończone interfejsem szeregowym nosi nazwę UART (ang. Universal Asynchronous Receiver and Transmitter).

Standard RS-232

Pierwszym standardem transmisji szeregowej był RS-232 (ang. Recommended Standard). Standard opracowano w 1962 roku na zlecenie amerykańskiego stowarzyszenia producentów urządzeń elektronicznych (Electronic Industries Alliance) w celu ujednolicenia parametrów sygnałów i konstrukcji urządzeń zdolnych do wymiany danych cyfrowych za pomocą sieci telefonicznej. Standard RS-232 opisuje sposób połączenia urządzeń DTE (ang. Data Terminal Equipment) tj. urządzeń końcowych danych (np. komputer) oraz urządzeń DCE (ang. Data Communication Equipment), czyli urządzeń komunikacji danych (np. modem). Standard określa nazwy styków złącza oraz przypisane im sygnały, a także specyfikację elektryczną obwodów wewnętrznych. Definiuje także normy wtyczek i gniazd (tzw. portów szeregowych). Elementem standardu jest także opis kontroli przepływu za pomocą linii CTS/RTS i DSR/DTR.

Dane w RS-232 przesyłane są w sposób niesymetryczny, za pomocą sygnałów napięciowych. Specyfikacja napięcia definiuje "1" logiczną jako napięcie -3V do -15V, zaś "0" to napięcie +3V do +15V. Poziom napięcia wyjściowego natomiast może przyjmować wartości -12V, -10V, +10V, +12V, zaś napięcie na dowolnym styku nie może być większe niż +25V i mniejsze niż -25V. Należy zaznaczyć przy tym, że zwarcie dwóch styków RS-232 teoretycznie nie powoduje jego uszkodzenia. Istnieje także wersja RS-232 CMOS, w której bity kodowane są zgodnie z poziomami stosowanymi w tej technologii.

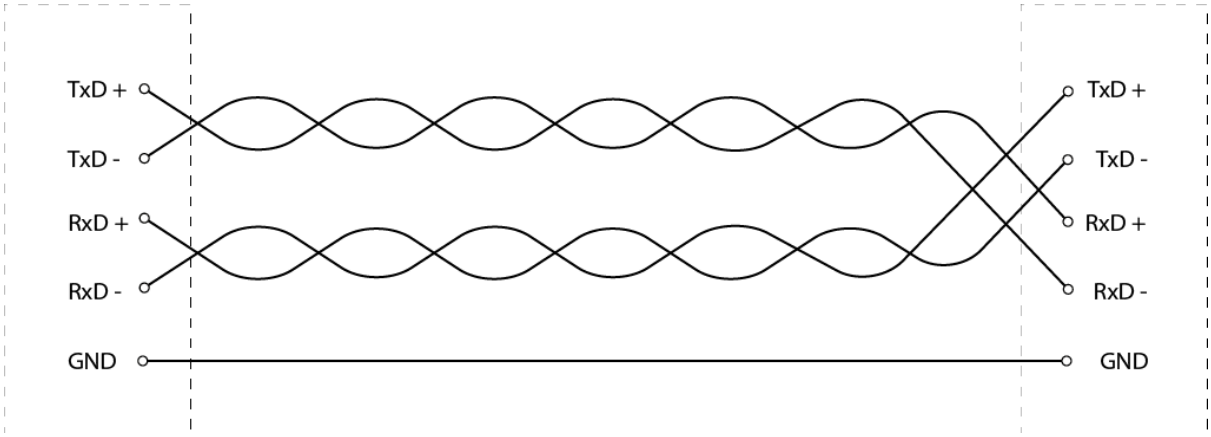
Prędkości transmisji RS-232 znajdują się w przedziale 1200 bps do 230400 bps. W praktyce większość UART wspiera prędkości do 115200 bps. Daje to efektywną przepływność 11.5 KB/s (ze względu na bity startu i stopu).

Standard nie wspiera identyfikacji urządzeń, nie definiuje sposobu ich zasilania i nie przewiduje możliwości zasilania z gniazda interfejsu. Podkreślenia wymaga fakt, że jest masowo stosowany w przemyśle i istnieją odpowiednie, przemysłowe wersję wtyków i gniazd, dostosowane do pracy w trudnych warunkach środowiskowych.

Standard RS-422

Standard RS-422 został opracowany w roku 1994 jako rozszerzenie RS-232 pozwalające na eliminację zakłóceń transmisji w środowisku przemysłowym. Sygnał w RS-422 jest transmitowany różnicowo tzn. po stronie nadajnika znajduje się generator napięcia odpowiadającego stanom logicznym.

Różnica potencjału pomiędzy zaciskami generatora i zerem wynosi co do modułu połowę generowanego napięcia. Połączenie pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem polega na połączeniu obu zacisków generatora z zaciskami odbiornika (Rysunek 32). W przypadku pojawienia się zakłócenia jest ono indukowane na obu liniach, dzięki czemu odejmuje się w odbiorniku. W celu zwiększenia prawdopodobieństwa indukcji symetrycznej przewody są ze sobą skręcone (jest także określona ilość skręceń na jednostkę długości).



Rysunek 32 Połączenie różnicowe w RS-422

Standard RS-422 pozwala także na podłączenia do pojedynczego nadajnika wielu odbiorników. Pozwala na to odpowiednia wydajność prądowa (do 150 mA). Nie jest natomiast możliwa praca na magistrali wielu nadajników równocześnie.

Maksymalna odległości, na którą można przekazywać sygnał to 1200 m. Prędkość przesyłania bitów wynosi wtedy 100 kbps. Maksymalna prędkość transmisji to 10 Mbps przy długości przewodów do 12 m.

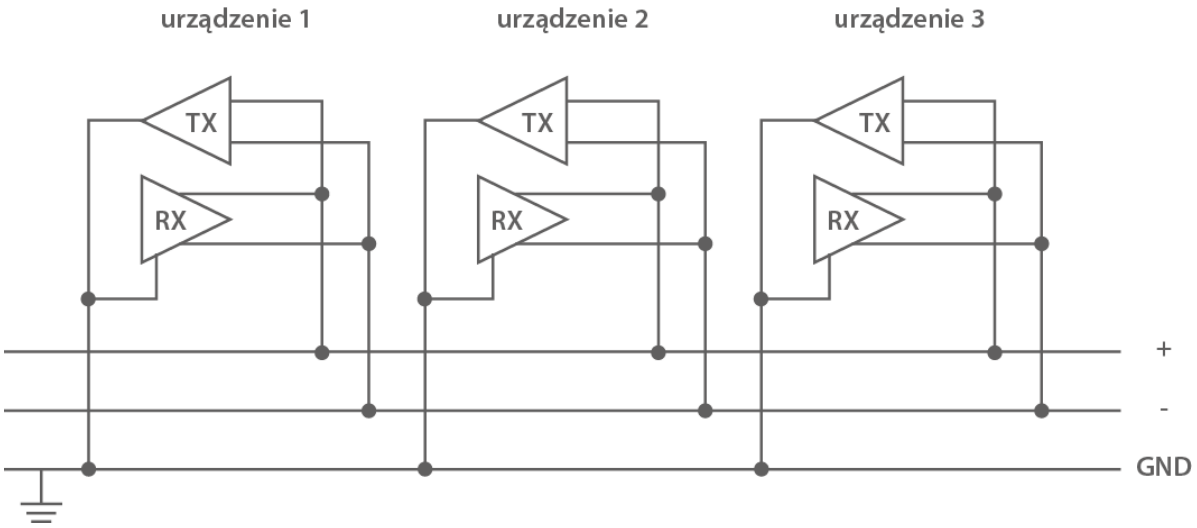
Maksymalna wartość napięcia różnicowego nie może być mniejsza, niż -6 V i większa od 6V. Bit 1 kodowany jest (podobnie jak w RS-232) napięciem ujemnym, natomiast bit 0 napięciem dodatnim.

Standard nie wspiera identyfikacji urządzeń, nie definiuje sposobu ich zasilania i nie przewiduje możliwości zasilania z gniazda interfejsu. Podkreślenia wymaga fakt, że jest masowo stosowany w przemyśle i istnieją odpowiednie, przemysłowe wersję wtyków i gniazd, dostosowane do pracy w trudnych warunkach środowiskowych.

Standard RS-485

Standard RS-485 zatwierdzono w roku 1998. Podobnie jak standard RS-422 składa się z różnicowego (symetrycznego) nadajnika, dwuprzewodowego toru transmisyjnego i różnicowego odbiornika.

Standard RS-485 umożliwia podłączenie wielu nadajników i odbiorników (maksymalnie do 32) na pojedynczej magistrali (za pomocą pojedynczej pary przewodów, w trybie half-duplex). Ograniczenie wynika z ograniczeń energetycznych nadajnika. Zasięg tego standardu to około 1200m. Prędkości transmisji jakie można uzyskać to 35Mbit/s do 10 m i 100Kbit do 1200 m. Dzięki zastosowaniu odpowiednich urządzeń rozszerzających (np. repeaterów) maksymalna odległość oraz ilość nadajników i odbiorników mogą zostać zwiększone. Schemat podłączenia wielu nadajników i odbiorników do pojedynczej magistrali zaprezentowano na Rysunek 33.



Rysunek 33 Połączenie wielu nadajników i odbiorników za pomocą RS-485

Podłączenie wielu odbiorników i nadajników do pojedynczej magistrali (pary przewodów) jest możliwe dzięki temu, że nadajniki podłączone do RS-485 mogą zostać wprowadzone w stan wysokiej impedancji, czyli nie wpływać na transmisję nadajnika, który w danej chwili przekazuje dane. Komunikacja w takiej sieci jest oczywiście możliwa wtedy, gdy istnieją odpowiednie mechanizmy współdzielenia medium komunikacyjnego (warstwa łącza danych) pozwalające na nadawanie w danej chwili wyłącznie pojedynczemu nadajnikowi. Przykładem metody współdzielenia medium jest algorytm token bus, w którym nadawać może wyłącznie nadajnik posiadający specjalny żeton (ang. token). Nadajnik po przekazaniu danych przekazuje żeton do kolejnego nadajnika. Dla takiej metody współdzielenia medium wymagane jest jednak opracowanie odpowiednich metod konfigurowania sieci, włączania nowych nadajników i odtwarzania żetonu w przypadku, gdy zostanie on zagubiony np. na skutek wyłączenia nadajnika w momencie nadawania (posiadania żetonu).

RS-485 jest najczęściej stosowanym interfejsem przewodowym w sieciach przemysłowych. Powstał w celu umożliwienia realizacji tanich sieci lokalnych w warunkach przemysłowych. Na bazie tego interfejsu opracowano wiele protokołów komunikacyjnych. Do najbardziej znanych należy standard PROFIBUS, wykorzystujący opisany wyżej algorytm token bus.

Poziomy napięć w RS-485 określone zostały w następujący sposób (podobnie ja w RS-422) – wartość 1 oznaczona jest jako napięcie różnicowe mniejsze od -0.2 V, natomiast wartość 0 jako napięcie większe od 0.2 V. Maksymalne napięcie różnicowe, co do modułu, nie może być większe, niż 5V.

Standard nie wspiera identyfikacji urządzeń, nie definiuje sposobu ich zasilania i nie przewiduje możliwości zasilania z gniazda interfejsu. Podkreślenia wymaga fakt, że jest masowo stosowany w przemyśle i istnieją odpowiednie, przemysłowe wersję wtyków i gniazd, dostosowane do pracy w trudnych warunkach środowiskowych.

Interfejs USB

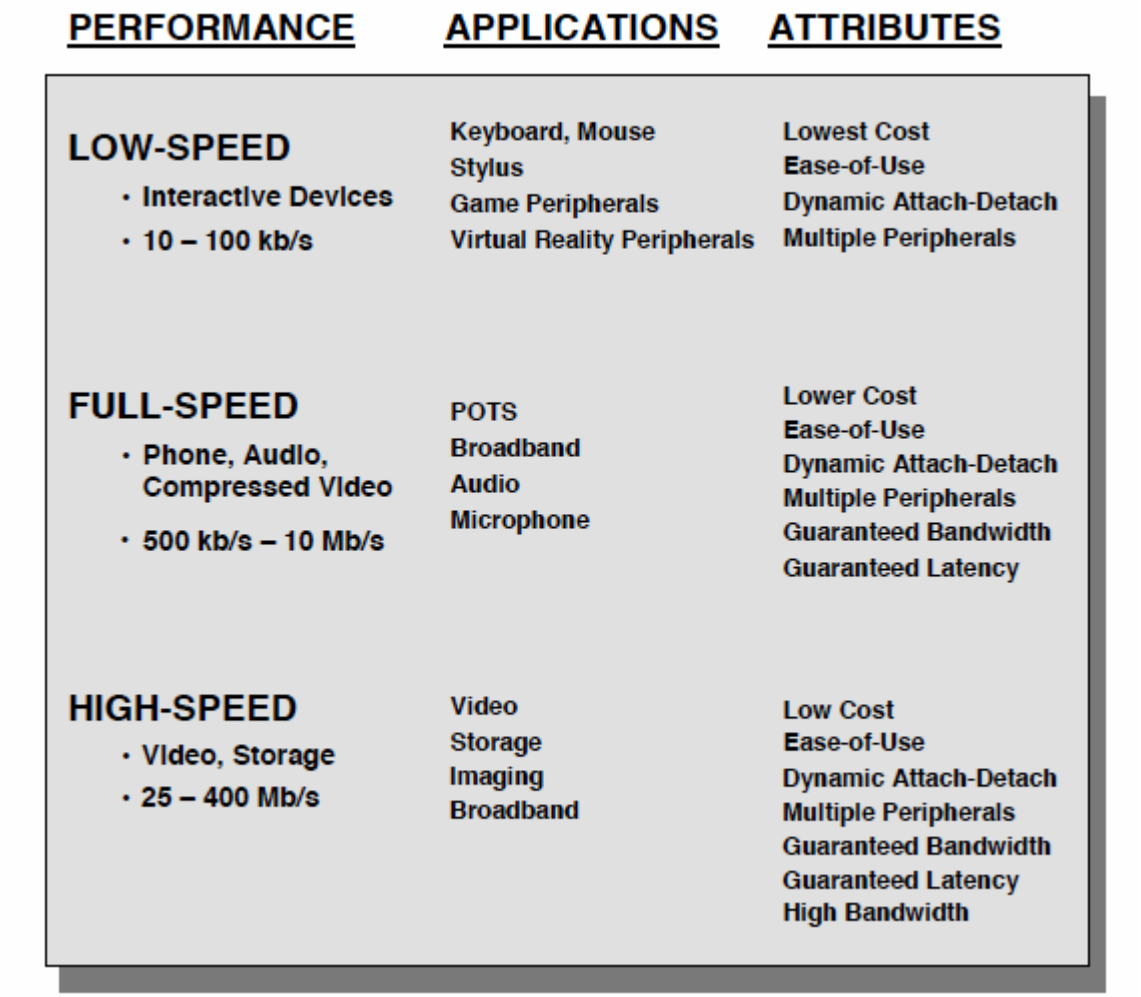
Standard USB (Universal Serial Bus) stanowi obecnie najpopularniejszy interfejs służący do podłączania urządzeń peryferyjnych do komputerów osobistych, tabletów i telefonów.

Został opracowany w celu zastąpienia wielu interfejsów komputerów osobistych (szeregowych, równoległych, SCSI) pojedynczym standardem pozwalającym na łatwe podłączanie urządzeń takich jak mysz, klawiatura, drukarka, pamięci masowych, urządzeń komunikacyjnych (np. modemów i interfejsów sieciowych) itp. Standard miał zapewniać odpowiednią identyfikację urządzeń, współdzielenie magistrali komunikacyjnej oraz odpowiednią przepływność pozwalającą na transmisję danych o zróżnicowanej objętości. Popularność interfejsu USB rozpoczęła się w momencie, gdy jego rozwojem zajęły się firmy Intel, Compaq i Microsoft, liderzy rynku komputerów osobistych. Wspólne prace nad specyfikacją magistrali doprowadziły do powołania niedochodowej organizacji o nazwie „USB Implementers Forum Inc.", w skrócie USB-IF, która nadal wspiera rozwój i promuje architekturę USB.

Pierwsza wersja standardu USB 1.0 została opublikowana w styczniu 1996 roku. We wrześniu 1998 roku opublikowano standard USB 1.1, który zapewniał w sensie elektrycznym i fizycznym kompatybilność ze standardem USB 1.1. W roku 2000 wprowadzono nowy standard USB 2.0, w którym zwiększono ponad 40 razy przepływność interfejsu, ale dokonano zmian w metodzie transmisji danych, tracąc kompatybilność wsteczną ze standardami 1.0 i 1.1. W roku 2008 opublikowano standard USB 3.0 zwiększający prędkość transmisji do 5 Gbps, natomiast w czerwcu 2013 roku pojawił się standard USB 3.1 zwiększający prędkość interfejsu do 10 Gbps.

Bardzo ważnym elementem specyfikacji USB są definicje klas urządzeń, które mogą być podłączane do magistrali, pozwalające na realizację uniwersalnych sterowników urządzeń. Przykładowo organizacja USB-IF publikuje specyfikację urządzenia pamięci masowej typu USB MASS Storage, która definiuje mechanizmy identyfikacji podłączonego urządzenia oraz sposób odczytu/zapisu danych. Innymi typami urządzeń, które zostały dobrze wyspecyfikowane są urządzenia HID (Human Interface Device) takie jak klawiatura i mysz. Dzięki takiemu podejściu popularne systemy operacyjne są w stanie obsługiwać urządzenia różnych producentów za pomocą uniwersalnych sterowników i bez konieczności instalowania dodatkowego oprogramowania. Dodatkowo standard USB definiuje model programowy kontrolerów magistrali USB służących do podłączenia magistrali do systemu mikroprocesorowego np. UHCI (USB 1.0/1.1), OHCI (USB 1.0/1.1), EHCI (USB 2.0) i xHCI (USB 3.0).

Każda wersja interfejsu została opracowana z myślą o podłączaniu określonych klas urządzeń i można powiedzieć, że każda następna uzupełnia poprzednią wersją o nowe typy urządzeń. Na Rysunek 34 przedstawiono taksonomię urządzeń USB wraz z przypisaniem ich do konkretnych wersji interfejsu. Widać na nim przepływności poszczególnych wersji interfejsu wraz z obszarem zastosowań. Wersja 1.0 została opracowana głównie dla potrzeb urządzeń typu HID i oferuje przepływność do 100 kbps. Wersję 1.1 (tzw. Full-Speed) opracowano w związku z rozwojem urządzeń peryferyjnych podłączanych do komputerów i przeznaczono dla urządzeń takich jak interfejsy sieci szerokopasmowych, urządzenia audio, aparaty cyfrowe oraz przenośna pamięć masowa. Wersja 2.0 (Hi-Speed), posiadająca przepływność do 400 Mbps, służy do podłączania urządzeń multimedialnych, szybkich pamięci masowych i innych zaawansowanych urządzeń peryferyjnych np. kart akwizycji obrazu. Wersje 3.0 i 3.1 (SuperSpeed), nie przedstawione na poniższym rysunku, przeznaczone zostały do podłączania macierzy dyskowych, urządzeń video wielkiej rozdzielczości np. monitorów. Wszystkie wersje interfejsu są obecnie stosowane w przemyśle komputerowym zgodnie z opisanym przeznaczeniem. Natomiast należy podkreślić, że specyfikacje nie jest już dostępna na stronach organizacji USB-IF.

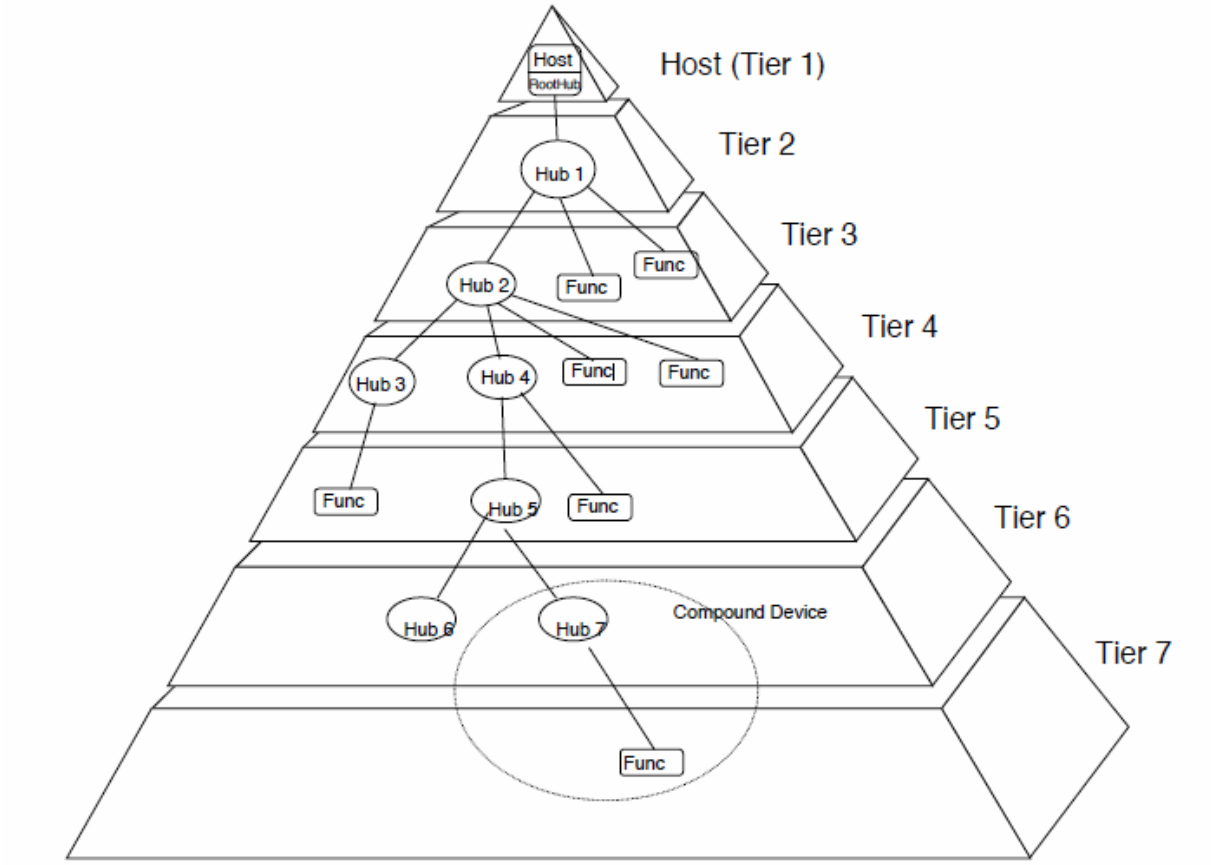


Rysunek 34 Taksonomia urządzeń USB (zaczerpnięte ze specyfikacji)

W dalszej części dokumentu, ze względu na analizę możliwości wykorzystania interfejsu USB w liczniku energii elektrycznej, skupiono się wyłącznie na opisie standardów USB 1.0/1.1 i USB 2.0. Na podstawie analizy danych i opisanej semantyki komunikacji widać, że ze względu na ilość przekazywanych danych pomiędzy licznikiem i HAN wystarczająca jest wersja USB 1.1.

Architektura i komunikacja USB

Urządzenia podłączane do USB tworzą hierarchię zgodnie z Rysunek 35. Główne urządzenie na magistrali stanowi tzw. RootHub (główny koncentrator), który jednocześnie jest elementem kontrolera magistrali (tzw. Hosta). RootHub wyposażony jest w kilka portów (zakończonych gniazdami), do których podłączane są urządzenia (Funkcje) lub kolejne koncentratory (Huby). Liczba poziomów hierarchii, ze względu na czas propagacji sygnału i ograniczenia czasu związane z przekazywaniem danych, ograniczona jest do 7. Na ostatnim poziomie hierarchii mogą wystąpić już wyłącznie urządzenia.



Rysunek 35 Hierarchia USB (zaczerpnięte ze specyfikacji)

Urządzenia typu Hub (koncentrator) służą do podłączania i konfiguracji urządzeń oraz rozszerzania magistrali o kolejny poziom hierarchii. Każdy z koncentratorów, podobnie jak RootHub, wyposażony jest w kilka portów, do których podłączane są urządzenia, w szczególności kolejne koncentratory. Po podłączeniu urządzenia jest ono konfigurowane i sygnały USB przekazywane są na kolejny poziom. Obsługą konfiguracji topologii sieci (podłączaniem koncentratorów i nowych urządzeń) zajmuje się specjalne oprogramowanie systemu operacyjnego, nazywane stosem USB. Stos USB może być zaimplementowany także w sposób prosty (np. na potrzeby systemów wbudowanych) i obsługiwać wyłącznie jeden poziom hierarchii (tzn. urządzenia podłączane do RootHub za pomocą jego portów). Jeżeli w danym systemie mikroprocesorowym istnieje kilka kontrolerów USB (np. w komputerze PC) to budowane są oddzielne topologie dla każdego z nich.

Urządzenia końcowe USB (funkcje) komunikują się z kontrolerem za pomocą zakończeń (endpointów), czyli wewnętrznych portów służących do przekazywania danych. Endpointy mają różne typy, w zależności od rodzaju prowadzonej komunikacji. Najprostsze urządzenie USB wyposażone jest w pojedyncze zakończenie typu control służące do identyfikacji i konfiguracji urządzenia podłączonego do koncentratora.

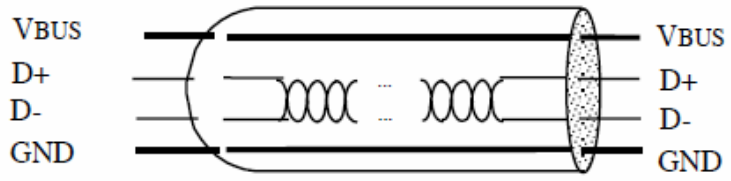
Warstwa fizyczna i elektryczna

Interfejs USB składa się z 4 linii: zasilania (V_{BUS} i GND) oraz linii danych D+ i D- (Rysunek 36).

Linie zasilania służą do tego, by dostarczać energię do podłączonych urządzeń bezpośrednio z koncentratora. Napięcie zasilania wynosi 5 V, a maksymalny prąd, pobierany w trybie portu High-

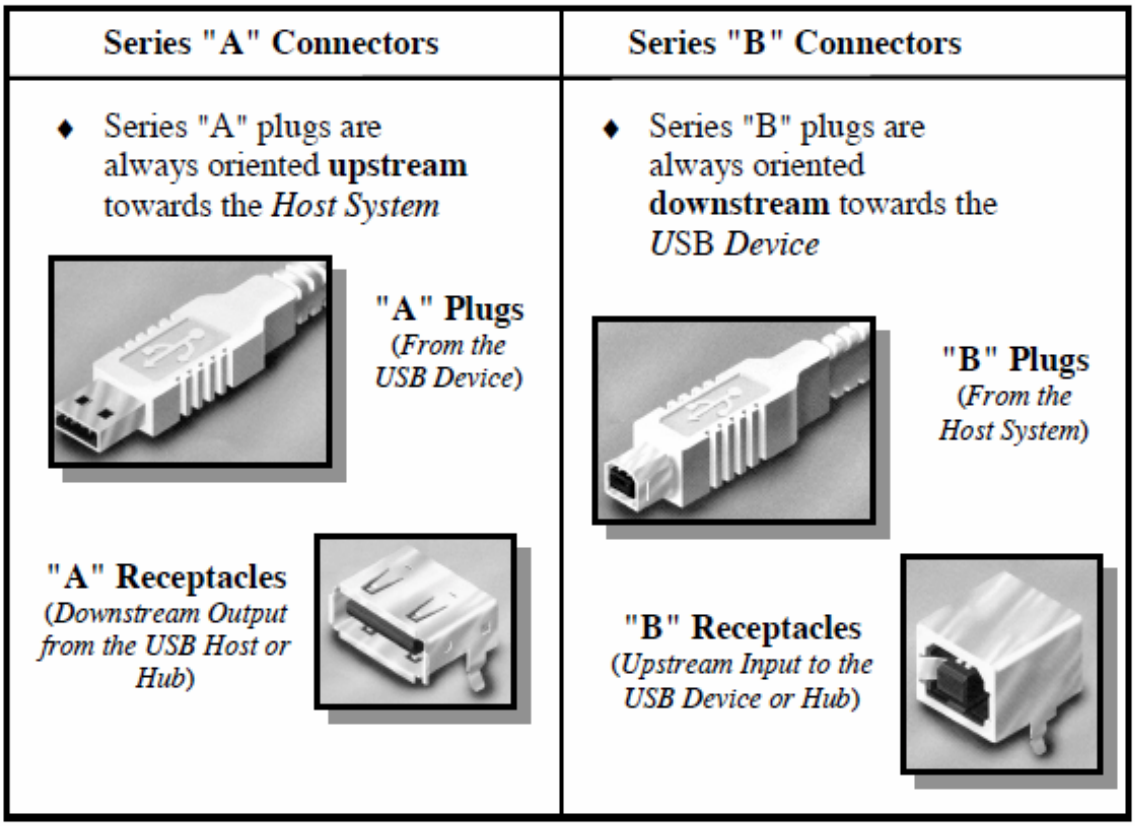
power wynosi 0.5 A. Jeżeli urządzenie wymaga więcej mocy musi zostać zasilone zewnętrznie. Dla większości urządzeń elektronicznych, podłączanych do komputera, moc 2.5W jest wystarczająca.

Dane przekazywane są w USB różnicowo, za pomocą linii danych. Wartość jedynki logicznej oznaczana jest za pomocą napięcia mniejszego, niż -0.2 V, natomiast zero logiczne oznaczane jest jako wartość napięcia różnicowego większa od 0.2 V. Linie danych, podobnie jak w RS-422 i RS-485, są ze sobą skręcone, co sprawia, że zakłócenia elektromagnetyczne indukowane są równomiernie na obu liniach danych i przy odbiorze są redukowane.



Rysunek 36 Kabel USB (zaczerpnięte ze specyfikacji)

Mechaniczna konstrukcja wtyków i gniazd USB została przedstawiona na Rysunek 37.



Rysunek 37 Złącza USB (zaczerpnięte ze specyfikacji)

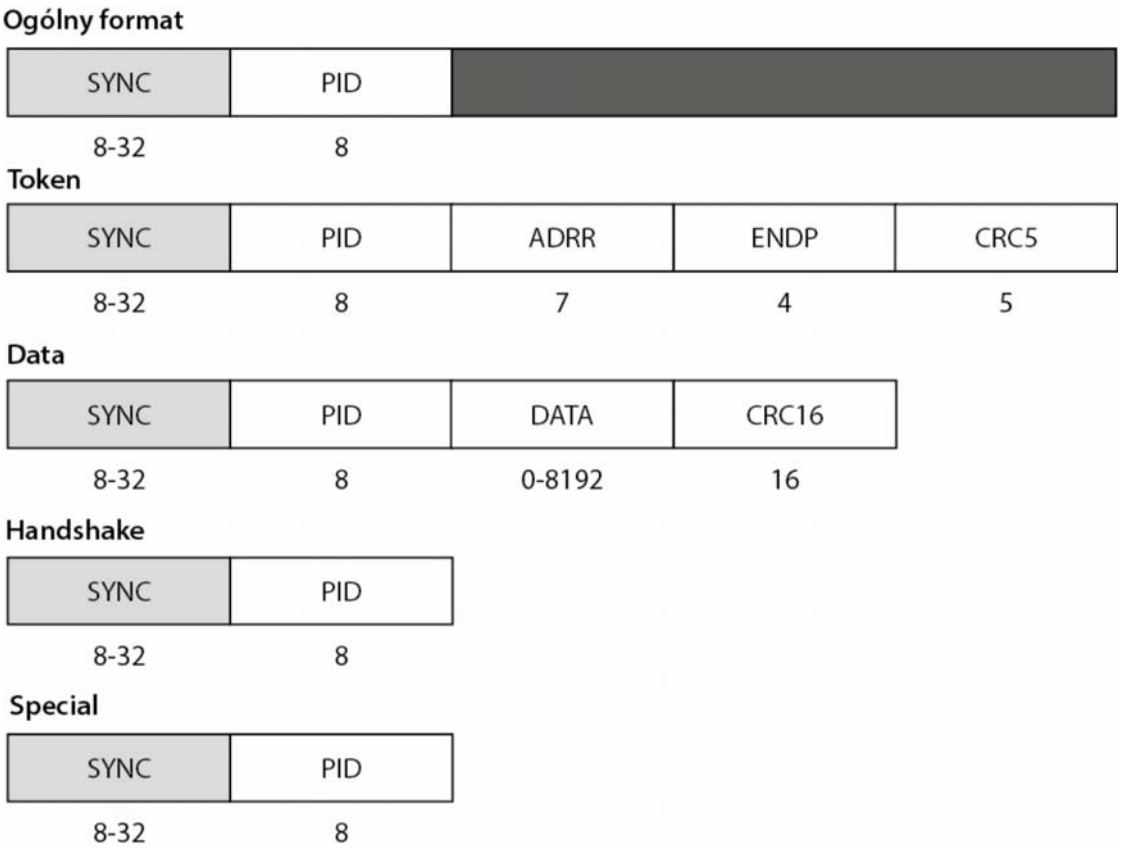
Zdefiniowano dwa typy wtyków i gniazd - „A” i „B”. Wtyk i gniazdo „A” zdefiniowano w celu bezpośredniego podłączenia urządzenia do koncentratora natomiast wtyk typu „B” przeznaczony jest do podłączenia urządzenia za pomocą kabla np. drukarki lub scannera. System „A” zawiera 4 styki o szerokości 1 mm każdy. Dwa zewnętrzne styki (zasilanie) są dłuższe i odległe od środkowych o 2.5

mm. Środkowe styki (linie danych są krótsze) i odległe od siebie o 2 mm. We wtyku typu „B" rozmiar styków i odległości pomiędzy nimi są podobne, ale są one ułożone na przeciwległych krawędziach gniazda tzn. na górnej krawędzi znajduje się styk zasilania i danych, natomiast na dolnej danych i masy.

Wtyki i gniazda USB został pomyślane w taki sposób, by minimalizować prawdopodobieństwo niewłaściwego kontaktu, maksymalizować powierzchnię styku i prawdopodobieństwo wysunięcia wtyku na skutek wibracji, jednak złącza nie są stosowane w warunkach przemysłowych (duże zapylenie, wilgotność) i nie ma oficjalnej wersji przemysłowej standardu. Nie oznacza to oczywiście, że interfejs nie będzie dobrze funkcjonował w tych warunkach, jednak nie prowadzono badań w tym zakresie i nie ma oficjalnych wyników. Niemniej wydaje się, że istnieje duże prawdopodobieństwo, że interfejs będzie spełniał swoje funkcje np. na podstawie jego wykorzystania w przemyśle motoryzacyjnym, do podłączania urządzeń multimedialnych.

Typy pakietów i rodzaje komunikacji

Podstawową jednostkę wymiany danych w interfejsie USB stanowi pakiet. Każdy pakiet rozpoczyna się wyróżnikiem SYNC, po którym następuje pole identyfikujące typ pakietu PID, od którego zależy format dalszej jego części. Specyfikacja definiuje cztery główne typu pakietów – TOKEN, DATA, HANDSHAKE i SPECIAL. W zależności od wersji specyfikacji istnieją różne ograniczenia na długość przekazywanych danych w pakietach. Przykładowo maksymalny rozmiar pakietu danych w specyfikacji USB 1.0 wynosi 8 bajtów, w wersji 1.1 1023 bajty, a w wersji 2.0 1024 bajty. Format pakietów przedstawiono na Rysunek 38.

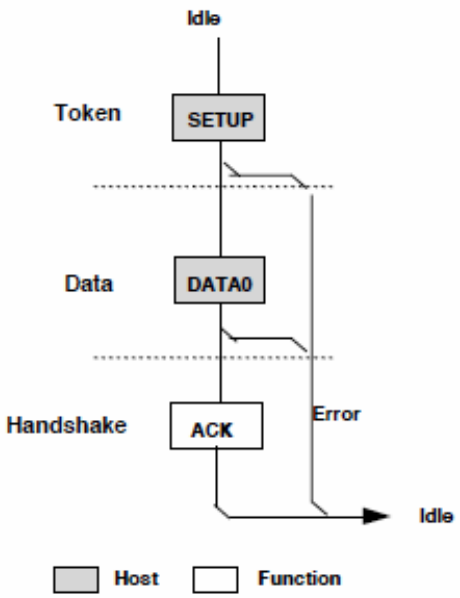


Rysunek 38 Podstawowe formaty pakietów stosowanych w USB

Transmisje na magistrali USB odbywają się na zasadzie transakcji generowanych przez kontroler. Transakcja polega na wysłaniu i odebraniu określonej sekwencji pakietów i opisuje ją automat zdefiniowany w specyfikacji. Transakcje przypisane są do określonych typów transportów/transmisji na magistrali. Wyróżnia się transmisje typu CONTROL, INTERRUPT, BULK i ISOCHRONOUS (izochroniczne). Każda transmisja adresowana jest do określonego endpointu, który posiada odpowiadający jej typ. Transmisje typu BULK mogą być adresowane wyłącznie do endpointów typu BULK, transmisje typu CONTROL do endpointów CONTROL itd.

Transmisje typu CONTROL służą do przekazywania danych sterujących i konfiguracji urządzenia. Wykorzystywane są w fazie podłączania urządzenia do magistrali, czasami do sterowania nim podczas normalnej pracy. Transakcje typu INTERRUPT służą do odbierania od urządzenia zdarzeń asynchronicznych (przerwań) raportujących konieczność obsługi i potwierdzania faktu ich odebrania. Transakcje BULK służą do przekazywania i odbierania danych z potwierdzeniem natomiast transakcje ISOCHRONOUS do odbierania strumieni danych izochronicznych tzn. takich, w których fakt przekazania poprawnych danych nie jest krytyczny, ale istotne jest pobieranie ich w czasie rzeczywistym np. strumieni pochodzących od kamer i urządzeń multimedialnych.

Poniżej przedstawiono automaty określające transakcje realizowane w ramach transmisji CONTROL, INTERRUPT, BULK i ISOCHRONOUS.

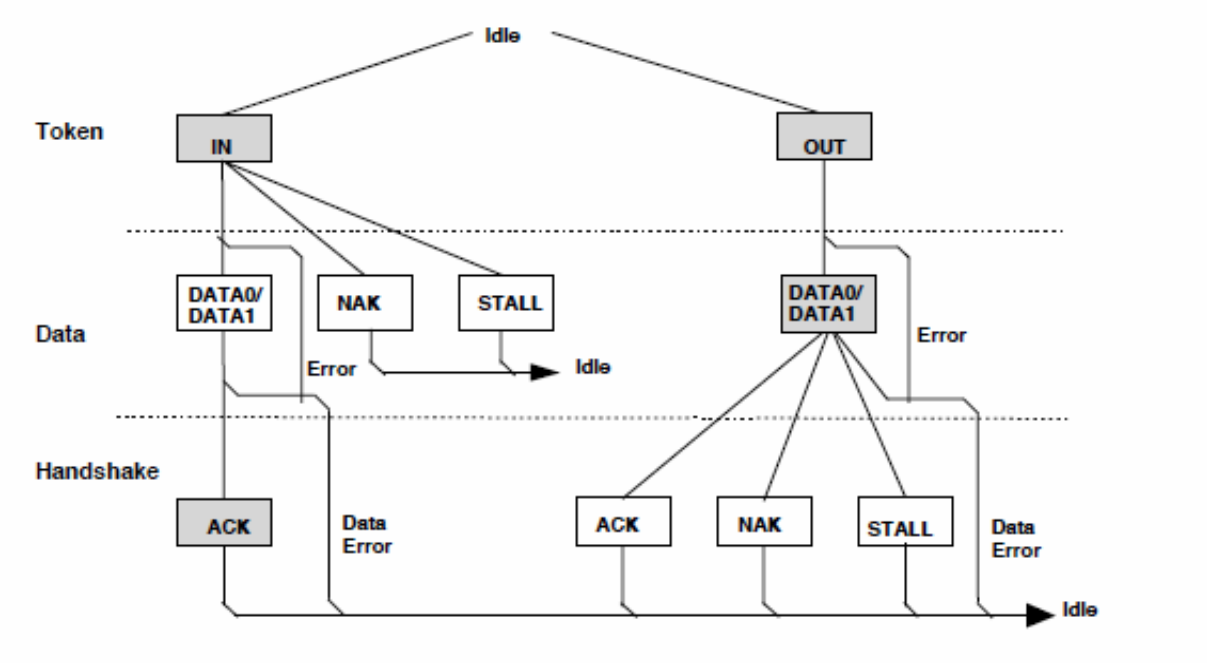


Rysunek 39 Transakcja typu Control SETUP (zaczerpnięte ze specyfikacji)

Transmisje CONTROL mogą składać się ze zbioru transakcji IN, OUT poprzedzonych transakcją SETUP.

Pierwszym elementem transakcji typu Control SETUP (Rysunek 39) jest wysłanie przez kontroler pakietu TOKEN SETUP, następnie przekazywany jest pakiet danych i następuje oczekiwanie na pakiet typu HANDSHAKE ACK. W przypadku problemów przy wysłaniu danych lub po zakończonej fazie Handshake następuje powrót do stanu podstawowego kontrolera.

Innym typem transakcji CONTROL jest odbiór lub przekazanie danych po wykonaniu transakcji SETUP. Podlega ona takim samym regułom jak transakcja BULK IN/OUT opisane dalej.

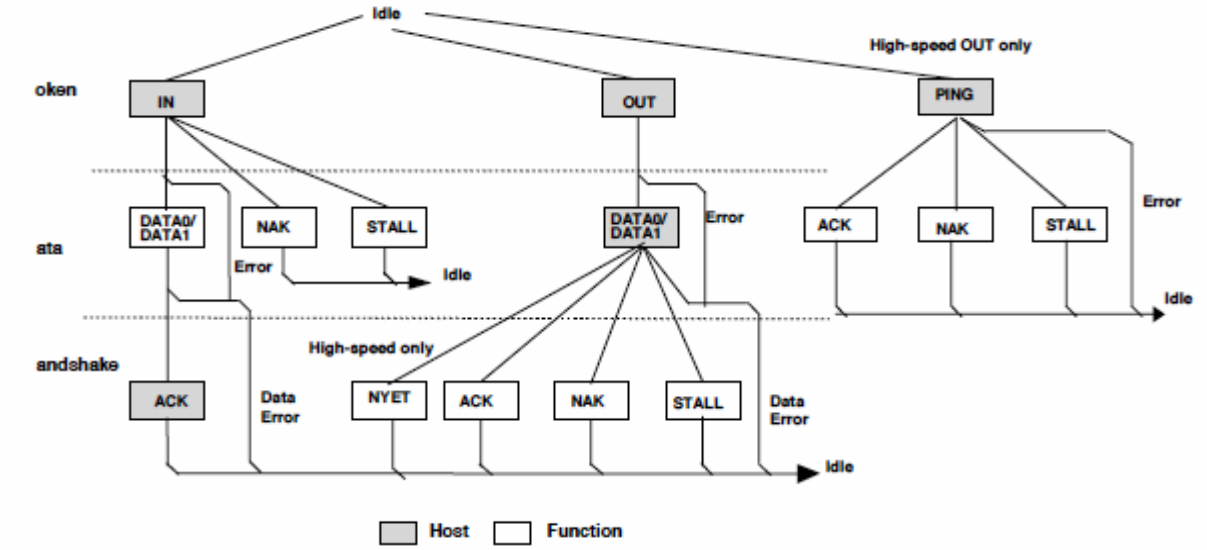


Rysunek 40 Transakcje typu INTERRUPT (zaczerpnięte ze specyfikacji)

Transakcje typu INTERRUPT (Rysunek 40) służą do odbierania zdarzeń asynchronicznych. Pierwszym pakietem wysyłanym na magistralę jest TOKEN IN lub TOKEN OUT.

W odpowiedzi na TOKEN IN urządzenie może przekazać dane lub zwrócić pakiet typu HANDSHAKE określający gotowość danych (NAK) lub permanentne wstrzymanie transmisji z endpointu (STALL). W odpowiedzi na dane kontroler przekazuje pakiet HANDSHAKE ACK do urządzenia.

Gdy kontroler chce wysłać dane do urządzenia np. w celu potwierdzenia odebrania przerwania przekazuje TOKEN OUT i pakiety DATA. W odpowiedzi na dane urządzenie przekazuje pakiety HANDSHAKE ACK, NAK lub STALL.



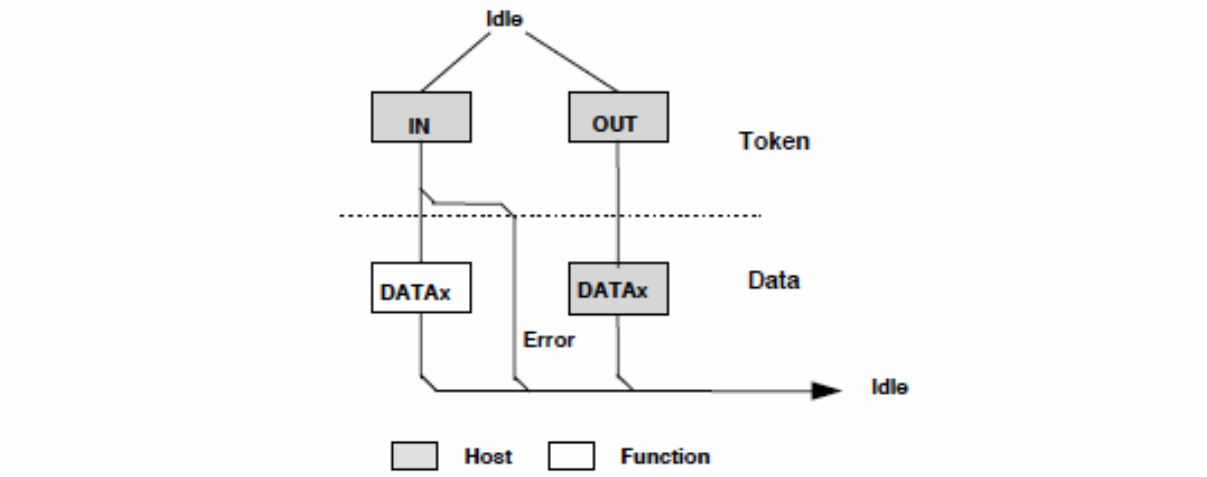
Rysunek 41 Transakcje typu BULK (zaczerpnięte ze specyfikacji)

Transakcje typu BULK (Rysunek 41) służą do przekazywania danych w obu kierunkach z potwierdzeniem. Pierwszym elementem transakcji jest wysłanie TOKEN IN/OUT lub PING. TOKEN IN informuje urządzenie, że kontroler jest gotowy do przyjęcia danych, natomiast TOKEN OUT, że kontroler chce przekazać dane do urządzenia.

W odpowiedzi na TOKEN IN urządzenie może przekazać dane (pakiet DATA) lub pakiet HANDSHAKE NAK lub STALL. NAK informuje o braku gotowości urządzenia, natomiast STALL o wstrzymaniu transmisji. Jako potwierdzenie odebrania danych kontroler przekazuje HANDSHAKE ACK.

Po wysłaniu TOKEN OUT kontroler przekazuje dane (pakiety DATA). W odpowiedzi na każdy pakiet DATA urządzenie może przekazać HANDSHAKE ACK, NAK lub STALL.

W specyfikacji USB 2.0 wprowadzono także dodatkową transakcję polegającą na wysłaniu TOKEN PING w celu sprawdzenia, czy urządzenie jest gotowe do odebrania danych. Ma ona służyć minimalizacji zajętości magistrali przez dane, które nie zostaną odebrane.



Rysunek 42 Transakcja typu ISOCHRONOUS (zaczerpnięte ze specyfikacji)

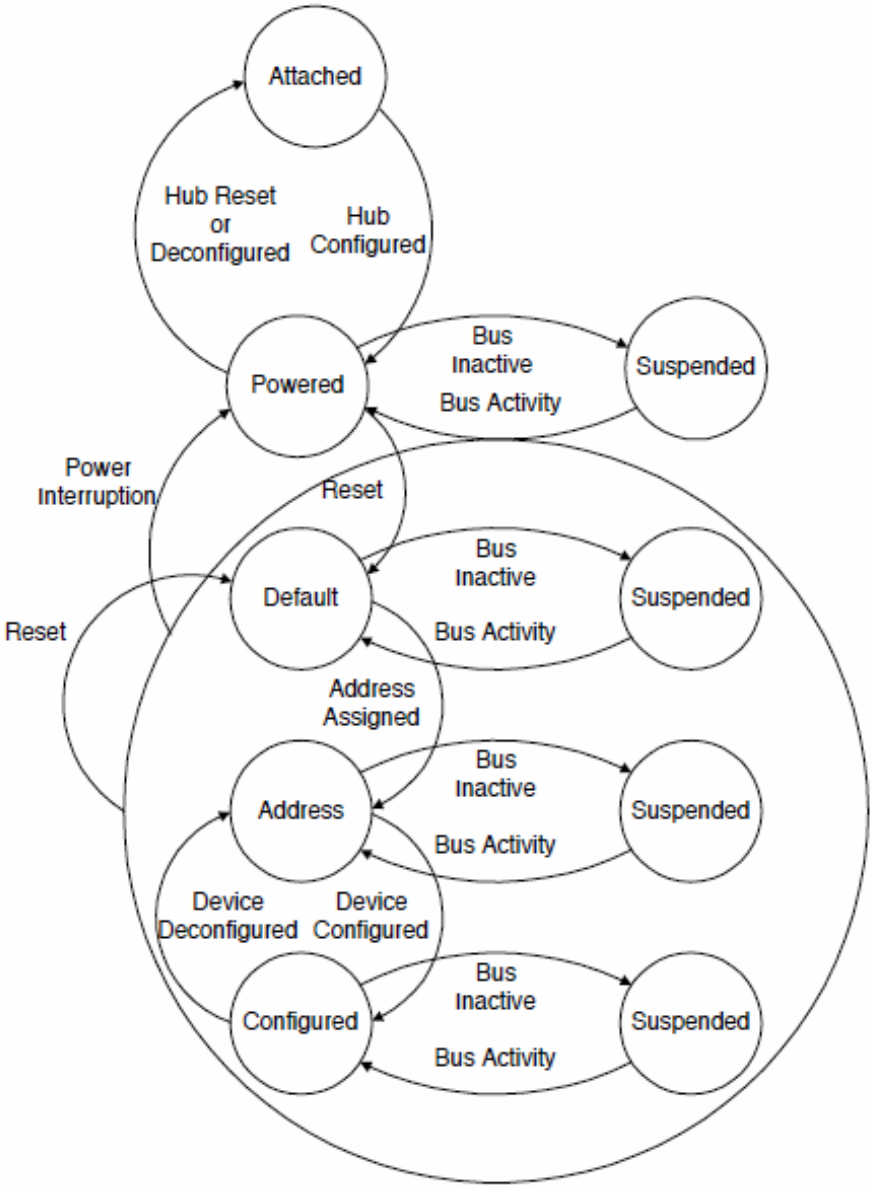
Na Rysunek 42 zaprezentowano transakcję ISOCHRONOUS. Pierwszym etapem jest wysłanie pakietu TOKEN IN lub TOKEN OUT. W odpowiedzi na ten pakiet urządzenie przekazuje lub odbiera dane. Nie występuje faza Handshake polegająca na przekazywaniu pakietów typu HANDSHAKE.

Współdzielenie magistrali pomiędzy wieloma urządzeniami polega na generowaniu transakcji adresowanych do różnych z nich w ramach określonych przedziałów czasowych.

Detekcja urządzeń i ich stany

Jak wspomniano we wstępie bardzo ważnym elementem standardu jest mechanizm identyfikacji urządzenia podłączonego do magistrali i definicja jego zachowania poprzez specyfikację klasy w ramach USB-IF pozwalająca na tworzenie generycznych sterowników urządzeń.

Na Rysunek 43 zaprezentowano diagram stanów urządzenia USB podłączonego do magistrali.



Rysunek 43 Stany urządzenia USB (zaczerpnięte ze specyfikacji)

Po podłączeniu urządzenia do portu koncentratora znajduje się ono wstanie Attached. Oprogramowanie obsługujące kontroler dowiaduje się o fakcie podłączenia nowego urządzenia i włącza zasilanie portu koncentratora.

W wyniku tej operacji urządzenie wchodzi w stan Powered. Mechanizm oszczędzania energii USB polega na tym, że nieaktywność magistrali powoduje wprowadzenie urządzenia w stan Suspended, służący minimalizacji poboru energii. Aktywność magistrali wprowadza urządzenie ponownie w stan Powered.

Po zasileniu urządzenia następuje sekwencja resetu. Reset urządzenia następuje poprzez krótkotrwałe (kilka ms) wyłączenie zasilania i ponowne jego załączenie. Reset urządzenia wprowadza go w stan Default.

W stanie Default urządzenie posiada domyślny adres 0 i następuje jego identyfikacja. Oznacza to, że wyczytywane są jego deskryptory (urządzenia, konfiguracji, interfejsów i endpointów). Deskryptory pozwalają na identyfikację typu urządzenia i uruchomienie odpowiedniego sterownika urządzenia odpowiadającego za dalszą komunikację z nim i wykorzystanie w systemie. Jeżeli urządzenie zostaje zidentyfikowane i istnieje odpowiedni sterownik to nadawany jest mu odpowiedni adres (pula wolnych adresów utrzymywana jest przez stos USB). Po nadaniu adresu urządzenie przechodzi w stan Adressed i sterowanie przekazywane jest do funkcji inicjującej sterownika. W przypadku, gdy urządzenie nie zostaje poprawnie rozpoznane następuje wyłączenie zasilania i urządzenie nie uczestniczy w operacjach magistrali.

Sterownik na podstawie deskryptorów konfiguracji i interfejsów wybiera właściwą konfiguracje, zatwierdza ją i urządzenie przechodzi w stan Configured. W tym momencie urządzenie jest także inicjowane w sposób specyficzny dla danego sterownika.

Na Rysunek 44 zaprezentowano struktury danych dla desktryptorów urządzenia, konfiguracji, interfejsów i endpointów. Poziomy hierarchii zaznaczono za pomocą odpowiednich wcięć.

Podstawowym deskryptorem, wyczytywanym przez stos USB jest deskryptor urządzenia `descr_device_t`. Deskryptor zawiera informacje o typie urządzenia, producencie, numerze seryjnym i liczbie dostępnych deskryptorów konfiguracji. W deskryptorze umieszczony jest także maksymalny rozmiar pakietu danych, który może być wykorzystywany w transmisji. Domyślnie wynosi on 8 bajtów. Następnie wyczytywana jest lista deskryptorów konfiguracji (`descr_conf_t`). Każdy z tych deskryptorów zawiera listę deskryptorów interfejsów, definiujących mechanizmy komunikacji z urządzeniem, czyli zawierających klasę i podklasę przyporządkowujące go do określonego sterownika urządzenia. Deskryptor interfejsu zawiera listę endpointów wykorzystywanych do komunikacji (`descr_ep_t`). Jeżeli urządzenie nie zawiera wielu konfiguracji to klasa urządzenia umieszczana jest w deskryptorze urządzenia.

Opisane deskryptory pozwalają na przekazanie dodatkowych informacji wykorzystywanych do identyfikacji np. pole `iSerialNumber` może zawierać klucz publiczny wykorzystywany do uwierzytelnienia. Jeżeli urządzenie nie zostanie uwierzytelnione to zasilanie portu koncentratora może zostać wyłączone i urządzenie zostanie sprowadzone do stanu sprzed podłączenia. Pozwala to na realizację przypadku użycia „Identyfikacja i uwierzytelnienie” zdefiniowanego dla *HAN Adapter* w pierwszej części dokumentu.

Należy wspomnieć, że podłączanie koncentratorów odbywa się wg tego samego schematu co podłączanie urządzeń. Stos USB identyfikuje, że podłączone urządzenie jest koncentratorem, nadaje mu adres, uruchamia odpowiednie oprogramowanie sterujące i dodaje koncentrator do listy opisującej hierarchię i inicjuje okresowe sprawdzanie jego portów.

Jak widać z powyższego opisu, detekcja urządzeń podłączanych do magistrali USB jest dość skomplikowana, ale pozwala na ich identyfikację, obsługę za pomocą uniwersalnych sterowników i zarządzanie zasilaniem. Istnieje także możliwość podłączania urządzeń specyficznych, które nie posiadają przyporządkowanej klasy zdefiniowanej w specyfikacji i wymagają załadowania dedykowanych sterowników urządzeń.

```
typedef struct _descr_device_t {
  u8  bLength;
  u8  bDescriptorType;
  u16 bcdUSB;
  u8  bDeviceClass;
  u8  bDeviceSubClass;
  u8  bDeviceProtocol;
  u8  bMaxPacketSize0;
  u16 idVendor;
  u16 idProduct;
  u16 bcdDevice;
  u8  iManufacturer;
  u8  iProduct;
  u8  iSerialNumber;
  u8  bNumConfigurations;
} descr_device_t;


    typedef struct _descr_conf_t {
     u8  bLength;
     u8  bDescriptorType;
     u16 wTotalLength;
     u8  bNumInterfaces;
     u8  bConfigurationValue;
     u8  iConfiguration;
     u8  bmAttributes;
     u8  bMaxPower;
    } descr_conf_t;


     typedef struct _descr_if_t {
      u8 bLength;
      u8 bDescriptorType;
      u8 bInterfaceNumber;
      u8 bAlternateSetting;
      u8 bNumEndpoints;
      u8 bInterfaceClass;
      u8 bInterfaceSubClass;
      u8 bInterfaceProtocol;
      u8 iInterface;
    } descr_if_t;


     typedef struct _descr_ep_t {
      u8  bLength;
      u8  bDescriptorType;
      u8  bEndpointAddress;
      u8  bmAttributes;
      u16 wMaxPacketSize;
      u8  bInterval;
     } descr_ep_t;
```

Rysunek 44 Definicja deskryptorów USB

Kontroler USB (host)

Rolą kontrolera magistrali USB jest przeglądanie opisu zbioru transakcji opisanych w pamięci systemu mikroprocesorowego i generowanie ich na magistrali USB zgodnie z automatami specyficznymi dla danego typu transferu. Bardzo ważnym aspektem jest zachowanie odpowiednich rygorów czasowych i z tego powodu host powinien być oddzielnym urządzeniem cyfrowym, działającym niezależnie od głównego procesora systemu przetwarzającego dane.

Istnieją specyfikacje hostów USB UHCI, OHCI, EHCI, xHCI i USB OTG, które definiują jego model programowy i sposób integracji z systemem mikroprocesorowym. Hosty UHCI, OHCI, EHCI podłączone są do głównej magistrali systemu i mają dostęp do jego pamięci fizycznej, w której znajdują się deskryptory transakcji, natomiast USB OTG definiuje protokół aplikacyjny służący do uproszczenia tego procesu (detekcja i obsługa urządzeń zrealizowana jest wewnątrz hosta).

Podsumowanie

Interfejs USB i specyfikacja są skomplikowane. Standard definiuje komunikację we wszystkich warstwach, sposób identyfikacji urządzenia, zarządzanie poborem energii, generyczne klasy urządzeń podłączanych do magistrali, modele programowe kontrolerów wykorzystywanych do integracji z systemami mikroprocesorowymi. Nakłada to dość duże wymaganie na implementację obsługi tego standardu w oprogramowaniu. Wymagana jest realizacja stosu USB i stanowi ona koszt dla producentów.

W przeciwieństwie do interfejsu szeregowego, USB zapewnia zasilanie urządzenia, identyfikację i dostosowane do konkretnych zastosowań prędkości transmisji i opóźnienia. Niestety standard do tej pory nie był szeroko stosowany w warunkach przemysłowych, ale wydaje się, że jego masowe wykorzystanie w przemyśle motoryzacyjnym do podłączania urządzeń multimedialnych i nawigacyjnych w kabinie samochodu, ciągłe narażenie na zmiany temperatury oraz wibracje mogą potwierdzać jego zdolność do pracy w trudnych warunkach środowiskowych.

Rekomendacje dla interfejsu Licznika do podłączenia HAN Adapter

Poniżej zaprezentowano tabelę porównującą interfejsy urządzeń opisane powyżej, które mogą zostać wykorzystane do integracji *HAN Adapter* z *Licznikiem*. Ma ona na celu podsumowanie cech interfejsów i ich przydatności do realizacji przypadków użycia opisanych w pierwszej części dokumentu.

Cecha	**RS-232**	**RS-422**	**RS-485**	**USB**
Prędkość transmisji	230.4 kbps	10 Mbps	35 Mbps	12 Mbps (ver. 1.1)
Identyfikacja urządzenia	-	-	-	+
Zasilanie urządzenia	-	-	-	+
Możliwość uwierzytelnienia	-	-	-	+
Możliwość sterowania zasilaniem	-	-	-	+
Łatwość implementacji w urządzeniu pomiarowym	+	+	+	- (konieczny odpowiedni kontroler po stronie hosta i stos programowy)
Koszt	wbudowany w układy typu SoC do tworzenia układów pomiarowych	niedostępny w układach typu SoC do tworzenia układów pomiarowych, konieczny zewnętrzny UART (koszt 2 USD)	niedostępny w układach typu SoC do tworzenia układów pomiarowych, konieczny zewnętrzny UART (koszt 2 USD)	**wbudowany host w popularne mikrokontrolery**, niedostępny w układach typu SoC do tworzenia układów pomiarowych, konieczny zewnętrzny układ z mini stosem USB (koszt od 2 do 5 USD)
Zastosowania przemysłowe	+	+	+	-
Ilość odbiorników	1	32	32	127
Przydatność do implementacji opisanych	wszystkie poza identyfikacją i uwierzytelnienie	wszystkie poza identyfikacją i	wszystkie poza identyfikacją i uwierzytelnieniem	**wszystkie**

przypadków użycia	m	uwierzytelnieniem		

Na podstawie powyższej tabeli widać, że jedynie interfejs USB pozwala na implementację wszystkich przypadków użycia i zasilanie *HAN Adapter* bezpośrednio z interfejsu.

Wadą USB jest brak jego szerokiego stosowania w warunkach przemysłowych, jednak należy zwrócić uwagę, że rozmiar styków i budowa wtyków oraz gniazd wydają się być odpowiednie do długotrwałego działania.

Implementacja USB w układzie pomiarowym jest bardzo problematyczna w przypadku, gdy wykorzystywane są dotychczasowe układy SoC do realizacji cyfrowych urządzeń pomiarowych np. Teridian 71M6511 wyposażone jedynie w interfejs RS-232 i pozwalające na implementację bardzo prostych aplikacji. W takim wypadku konieczne jest zastosowanie dedykowanego hosta z uproszczonym stosem (np. firmy FTDI) nie wspierającym pełnej specyfikacji USB. Inną możliwością jest implementacja obsługi USB za pomocą mikrokontrolera, który służy do implementacji modemu PLC (na świecie dostępne są już takie rozwiązania) i wbudowanego w niego hosta USB.

W przypadku, gdy konstrukcja układu pomiarowego będzie oparta o mikrokontroler, koszt implementacji USB sprowadza się wyłącznie do kosztu implementacji oprogramowania stosu USB. Biorąc pod uwagę doświadczenie autora w zakresie implementacji takiego oprogramowania, wymagana pracochłonność wynosi około 2 miesięcy pracy inżyniera oprogramowania. Istnieje także szereg rozwiązań oferowanych przez producentów mikrokontrolerów w cenie zakupu układów i wymagane jest jedynie ich dostosowanie.

W związku z niskim kosztem implementacji (za pomocą mikrokontrolera modemu lub mikrokontrolera całego układu pomiarowego), możliwością realizacji wszystkich przypadków użycia opisanych w niniejszym dokumencie (w tym identyfikacji i uwierzytelnienia), możliwością zasilania *HAN Adapter* za pomocą interfejsu urządzeń i możliwością sterowania zasilaniem rekomendowane jest wykorzystanie interfejsu USB jako interfejsu urządzeń dla podłączenia do układu pomiarowego *HAN Adapter* służącego do integracji z siecią HAN.

W związku z niskimi wymaganiami na przepływność rekomendowane jest użycie interfejsu w wersji 1.1 (Full-Speed).

Literatura

1. PN-EN 13757-4:2005 System komunikacji do zdalnego odczytywania wskazań przyrządów pomiarowych -- Część 4: Bezprzewodowy odczyt miernika (odczyt miernika drogą radiową pracującego w paśmie SRD od 868 MHz do 870 MHz)
2. PN-EN 13757-5:2009 „System komunikacji do zdalnego odczytywania wskazań przyrządów pomiarowych – Część 5: Przesyłanie odczytów”
3. Universal Serial Bus Specification, Revision 2.0, April 27, 2000