

DOI: 10.5604/20830157.1166552

MODELOWANIE SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO Z UŻYCIEM STANDARDU CIM IEC61970

Adam Rzepecki

Politechnika Lubelska, Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawiono ogólne zasady posługiwania się normą IEC61970. Artykuł podzielono na trzy części. W pierwszej opisano genezę powstania standardu, w drugiej jego strukturę i zależności. Na koniec zaprezentowano praktyczny przykład użycia wspomnianej normy w oparciu o wybrany model SEE. Dodatkowo, przedstawiono klasyfikację poszczególnych części standardu oraz omówiono ich znaczenie i zastosowanie.

Słowa kluczowe: IEC61970, modelowanie systemu elektroenergetycznego, CIM, UML

POWER SYSTEM MODELING BASED ON THE CIM STANDARD IEC61970

Abstract. The article describes general power system modeling rules based on international standard IEC61970. Discussion has been divided on three stages. In the first case the genesis of standard has been shown. The second describes structure and dependencies. In the end of the article some practical example has been presented. Additionally, the classification of the various standard's parts categories has been shown.

Keywords: IEC61970, power system modeling, CIM, UML

Wstęp

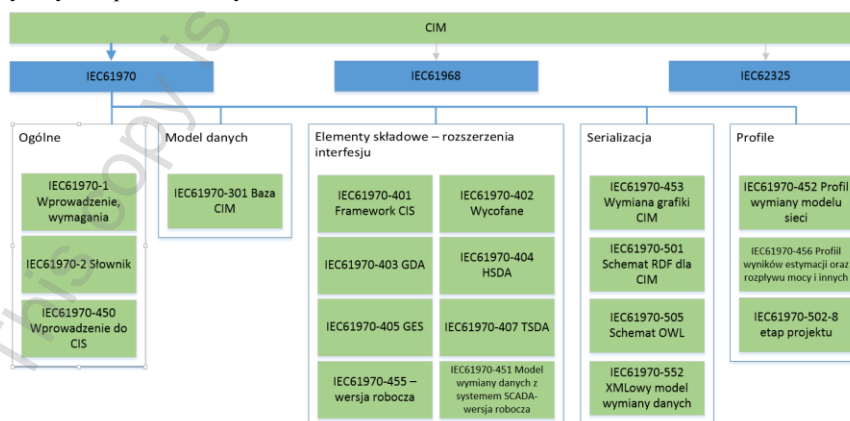
Rozwój cywilizacyjny na świecie powoduje wzmożoną konsumpcję energii elektrycznej. Według prognoz szacuje się, że w przeciągu najbliższych trzydziestu lat jej produkcja wzrośnie o ponad dziewięćdziesiąt procent [6]. Aby dostosować obecnie istniejące systemy elektroenergetyczne do wzrastającego zapotrzebowania na energię dokonuje się niezbędnych modernizacji z użyciem innowacyjnych rozwiązań. Najbardziej popularnym, jest koncepcja oparta o sieci inteligentne (ang. Smart Grids). Głównym założeniem Smart Grids jest zapewnienie komunikacji pomiędzy wszystkimi elementami (uczestnikami) sieci elektroenergetycznej. W efekcie, dzięki systematycznej wymianie informacji pomiędzy obiektami oraz odpowiednim algorytmom obliczeniowym możliwe jest dostosowanie parametrów energii elektrycznej do bieżącego zapotrzebowania, a co za tym idzie, optymalnej produkcji i zużycia energii elektrycznej. Efektywność rozwiązania sprawiła, iż jest ono bardzo często uwzględniane w tzw. mapach drogowych rozwoju krajowych systemów elektroenergetycznych. Ich podstawowym celem, oprócz ogólnego rozwoju infrastruktury, jest osiągnięcie wysokiej interoperacyjności urządzeń należących do inteligentnej sieci względem otoczenia.

W latach dziewięćdziesiątych głównym problemem w rozwoju sieci był brak wzajemnej (bezpośredniej) komunikacji pomiędzy urządzeniami czy systemami pochodzącymi od innych producentów. Stosowano różne rozwiązania. Najczęściej, tworzono pomosty w formie (dodatkowego) oprogramowania służącego do translacji przesyłanych danych pomiędzy wybranymi systemami czy urządzeniami. Z ekonomicznego punktu widzenia jest to rozwiązanie nieopłacalne – pochłaniające dodatkowe zasoby czasowe, wpływające na wydajność, a przede wszystkim, powodujące wzrost kosztów. Narastające trudności z integracją podsystemów informatycznych przeznaczonych dla sektora

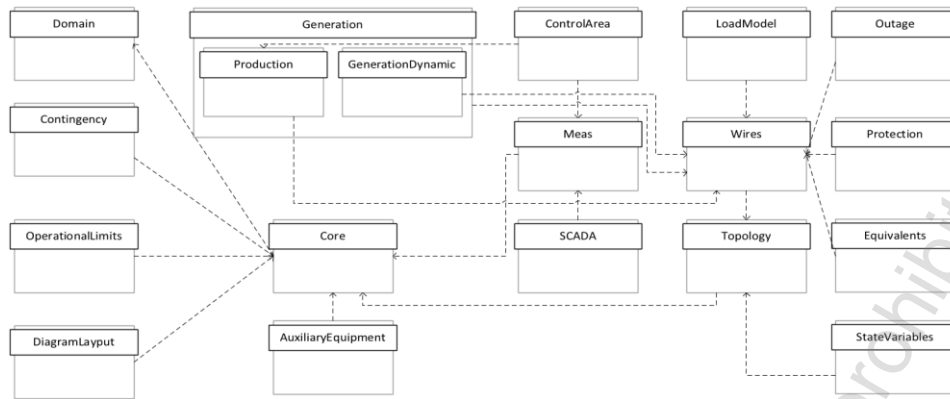
energetycznego, globalizacja związana z możliwością dostarczania produktów informatycznych na nowe rynki zmusiły szereg organizacji i przedsiębiorstw do utworzenia i ujednoczenia sposobu komunikacji pomiędzy dostarczonymi narzędziami. W oparciu o prowadzone prace podjęto szereg działań mających na celu określenie jednakowych zasad obowiązujących na całym świecie. W efekcie przygotowano zbiór dokumentów standaryzacyjnych opisujących reguły modelowania systemu elektroenergetycznego (SEE), tj. normy IEC61970, IEC61968, IEC62325. Dokumenty te występują pod jedną wspólną nazwą, CIM – z ang. Common Information Model. Podstawę standardu CIM stanowi model relacyjny bazy danych (schemat) – opracowany w połowie lat dziewięćdziesiątych przez Electric Power Research Institute (EPRI). Zbudowano go na potrzeby systemów EMS (ang. Energy Management System) oraz SCADA (ang. Supervisory Control And Data Acquisition) w ramach projektu Control Center Application Programming Interface (CCAPI). W tamtym czasie opracowanie wspólnego modelu danych było krytycznym przedsięwzięciem realizowanym na potrzeby integracji wspomnianych systemów dostarczanych przez zewnętrznych (różnych) producentów.

1. Struktura standardu

Standard IEC61970 od samego początku budowano z myślą o utworzeniu uniwersalnej metody do integracji oprogramowania przeznaczonego dla systemów kontroli jak i wymiany informacji z systemami zewnętrznymi, np. systemami dystrybucji czy generacji energii. Stąd jego nazwa – z ang. Energy Management System Application Program Interfaces (EMS-API). Wspomnianą normę można podzielić na pięć kategorii (rys. 1): ogólna – wprowadzająca, model danych, specyfikacja elementów składowych (rozszerzeń) interfejsu, serializacja (określająca sposób zapisu danych) oraz tzw. profile [2].



Rys. 1. Podział normy IEC61970 ze względu na zakres tematyczny artykuł recenzowany/revised paper



Rys. 2. Opis zależności pomiędzy poszczególnymi zbiorami z części 61970-301

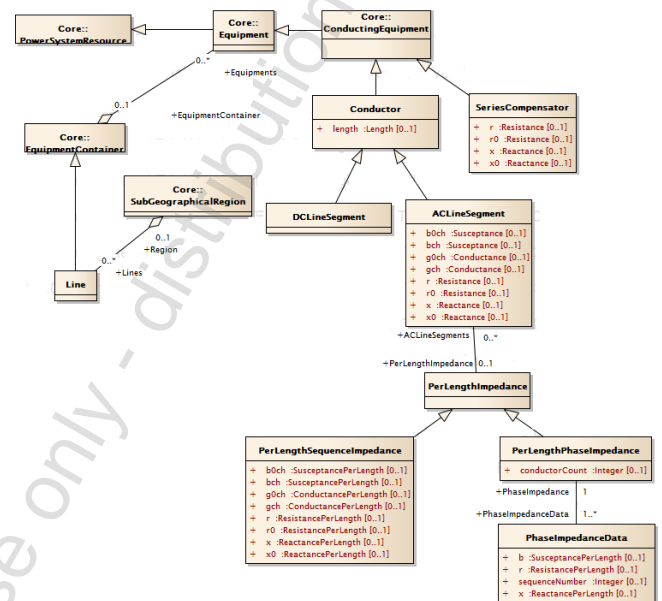
Do kategorii ogólnej przypisano część 61970-1. Zawarto w niej wymagania stawiane systemom spełniającym założenia, przedstawiono typowe scenariusze integracji, a także opisano typy aplikacji, które powinny obsługiwać CIM. W kategorii tej uwzględniono również część 61970-2. Stanowi ona bazę słownikową dla pozostałych elementów – powstała w celu ujednoczenia nomenklatury używanej w kolejnych częściach. Część 61970-450 przedstawia z kolei ogólne spojrzenie (wprowadzenie) na składowe elementy interfejsu CIM dla części standardu oznaczonych numeracją z zakresu od 61970-450 do 61970-499.

Z punktu widzenia prowadzonych rozważań najważniejszą kategorią jest model danych, którego opis zawiera część 61970-301. Jest to dokument, który odzwierciedla zależności pomiędzy elementami systemu elektroenergetycznego (SEE) w postaci obiektowego modelu danych. Opis ten rozszerzono w dokumentach 61968-11 oraz 62325-301. Całość pełni rolę fundamentu dla pozostałej specyfikacji. Standard opisano przy użyciu notacji UML (ang. Unified Modelling Language). Określono w nim atrybuty, relacje oraz licznosci. Zdefiniowano klasy uwzględniające aspekty i wymagania systemu SCADA oraz EMS. Na rys. 2 przedstawiono opis zależności dla 61970-301 [3].

Standard CIM w wersji 15 składa się z 18 grup obiektów (tzw. paczek). Do najważniejszych należą: Domain, Core, Topology, OperationalLimits, Wires, LoadModel oraz Generation. Wszystkie pakiety zawierają w sumie około 500 klas oraz 1700 atrybutów. Przykładową notacją opisującą odcinek linii elektroenergetycznej wraz z zależnościami przedstawiono na rys. 3. W klasie ACLineSegment (z paczki Wires) uwzględniono m. in. takie parametry elektryczne jak rezystancję (w tym jednostkową), reaktancję, susceptancję oraz konduktancję. Są one niezbędne w obliczeniach zwarciowych, rozplływowych czy optymalizacyjnych.

Informacje zawarte w kolejnej kategorii opisują zbiór interfejsów, w oparciu o które dopuszcza się wymianę danych. Ogólną koncepcję komunikacji opartą o system tzw. usług przedstawiono w częściach standardu 402-449. Obejmują one sposób transmisji danych (niezależnie od platformy software'owej) przy uwzględnieniu ogólnych zasad dostępu, obsługi wydarzeń, subskrypcji oraz danych historycznych w analizowanym SEE. Części 61970-451 oraz 61970-455, które definiują zawartość przesyłanych danych są obecnie oznaczone jako wersje robocze (ang. working draft).

Do grupy czwartej przypisano dokumenty odpowiedzialne za serializację danych. Klasyfikacja obejmuje następujące części: 61970-453, 61970-501, 61970-505 oraz 61970-552. Część 453 określa graficzny sposób reprezentacji danych wchodzących w skład modelu SEE, decyduje o położeniu, wielkości i odległości pomiędzy poszczególnymi obiektami. Część 501 definiuje format i zasady generowania modelu danych (zgodnych z 61970-301) przy użyciu schematu RDF (ang. Resource Description Framework). W części 505 opisano prezentację danych w oparciu o schemat OWL (ang. Web Ontology Language). W ostatniej części, 552, przedstawiono sposób generowania dokumentów (modeli danych) w formacie CIMXML dla podmiotów zewnętrznych wykorzystujących schemat RDF opisany w części 501.



Rys. 3. Diagram klas dla odcinka linii elektroenergetycznej

Zastosowanie języka XML (ang. Extensible Markup Language) sprawiło, iż dane opisujące wybrany model SEE wymagają większej przestrzeni dyskowej w stosunku do formatów KDM czy UCTE. Dodatkowo, schematy (klasy i atrybuty) obiektów często mogą być traktowane jako nadmiarowe w odniesieniu do rzeczywistych potrzeb danego systemu lub użytkownika. Odpowiadając na potrzeby dostawców rozwiązań opracowano tzw. profile. Jest to koncepcja oparta o wybrany podzbiór klas i atrybutów modelu CIM w odniesieniu do konkretnego zastosowania (scenariusza). Oprócz samych klas określa również relacje oraz licznosci obiektów. Na chwilę obecną obowiązują (w odniesieniu do IEC61970) profile zestawione w częściach: 61970-452 oraz 61970-456. W pierwszej (ang. Common Power System Model) zdefiniowano w sposób rygorystyczny podzbiór CIM umożliwiając wykonanie obliczeń estymacyjnych i rozplływowych przez aplikacje zewnętrzne (ang. Equipment Profile) [4]. Ten międzynarodowy standard jest skierowany zarówno do dostawców modelu SEE jak i jego odbiorców. Drugi określa standard wymiany danych dotyczący przede wszystkim wyników ww. obliczeń (ang. Topology Profile oraz StateVariables Profile) [6]. Profil ten może być stosowany w kontekście również innych analiz. Jako profil uznaje się również standard 61970-453 zaklasyfikowany do kategorii trzeciej. Oprócz profili zdefiniowanych w postaci normy, funkcjonują również profile w zakresie danej organizacji czy też przedsiębiorstwa. Do najbardziej znanych zalicza się profil ENTISO-E utworzony przez Europejską Sieć Operatorów Elektroenergetycznych Systemów Przesyłowych (w skład której wchodzi również krajowy operator PSE S.A.).

2. Prezentacja modelu SEE w standardzie CIM

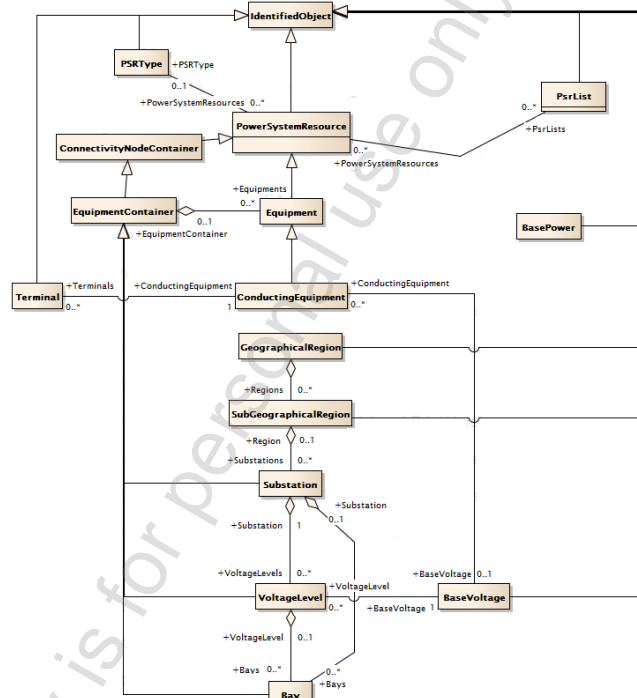
Praktyczne wykorzystanie standardu polega na zmapowaniu rzeczywistych elementów SEE na modele danych opisane w części bazowej, zawierających zestaw klas i relacji (dokument IEC61970-301). W standardzie uwzględniono obiekty, które mogą mieć rzeczywisty wpływ na postać modelu matematycznego oraz wyniki jego analizy. W normie występują klasy reprezentujące generatory, odbiory, wyłączniki, linie przesyłowe, transformatory, itp. Opierając się o zastosowaną w standardzie notację UML można wydzielić pewne grupy stanowiące generalizację obiektów, np. klasę *ConductingEquipment* (rys. 4) będącą nadrzędną dla wszelkiego osprzętu opisanego w formie specjalizacji takich jak *SynchronousMachine*, *EnergyConsumer* czy *ACLineSegment*. Klasa ta zawiera dane bazowe dla rzeczywistych obiektów fizycznych. Wszystkie elementy składowe SEE (transformatory, łączniki, odbiornicy) tworzące topologię sieci gromadzone są w tzw. kontenerach agregujących. Funkcją taką pełnią m. in. klasy dziedziczące po *EquipmentContainer* (*Substation*, *VoltageLevel*, *Bay*) a także klasy reprezentujące położenie geograficzne (*GeographicalRegion*, *SubGeographicalRegion*). Warto tutaj zaznaczyć, iż prawie wszystkie klasy z części 61970 mają jeden wspólny typ nadrzędny – *IdentifiedObject* posiadający m. in. unikalny identyfikator obiektu oraz atrybuty do jego opisu tekstowego.

Możliwości techniczne standardu przedstawiono w oparciu o uproszczony schemat SEE. Na rys. 5. zaprezentowano generator, dwa wyłączniki, trzy sekcje szyn, transformator, linię przesyłową oraz odbiorcę energii.

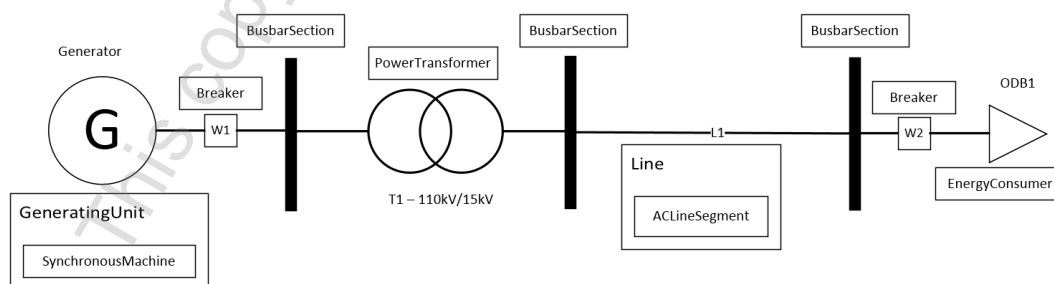
Z punktu widzenia modelu CIM schemat zawiera wyposażenie zbudowane z klas dziedziczących po klasie *Conducting-*

Equipment. Opisując generator korzysta się z klasy *SynchronousMachine* zawierającej stosowne dla tego typu obiektu atrybuty. Norma wymaga przypisania generatora do grupującej jednostki wytwórczej reprezentującej sumaryczną moc pojedynczych maszyn synchronicznych. W przypadku wyłączników do budowy modelu użyto klasy *Breaker* (będącej specjalizacją *ConductingEquipment*). Podobnie w przypadku sekcji szyn, zastosowano odpowiednią klasę, tj. *BusbarSection*. W schemacie istnieje również odbiorca energii, którego można zamodelować przy użyciu klasy *EnergyConsumer*. Oprócz powyższych w schemacie występują jeszcze dwa istotne elementy – linia przesyłowa oraz transformator. Stosując standard CIM klasyczną linię przesyłową można zamodelować przy obowiązkowym użyciu dwóch typów, tzn. klasy *Line* stanowiącej kontener dla *N* odcinków połączonych ze sobą i opisanych przy użyciu klasy *ACLineSegment*. W przypadku transformatora, ze względu na jego wysoki stopień złożoności oraz szerokie pole zastosowań, opisuje się go poprzez zbiór współzależnych od siebie klas (rys. 6). Stosując standard CIM w wersji 15 i nowszej model transformatora wymaga się użycia co najmniej pięciu klas, tj.:

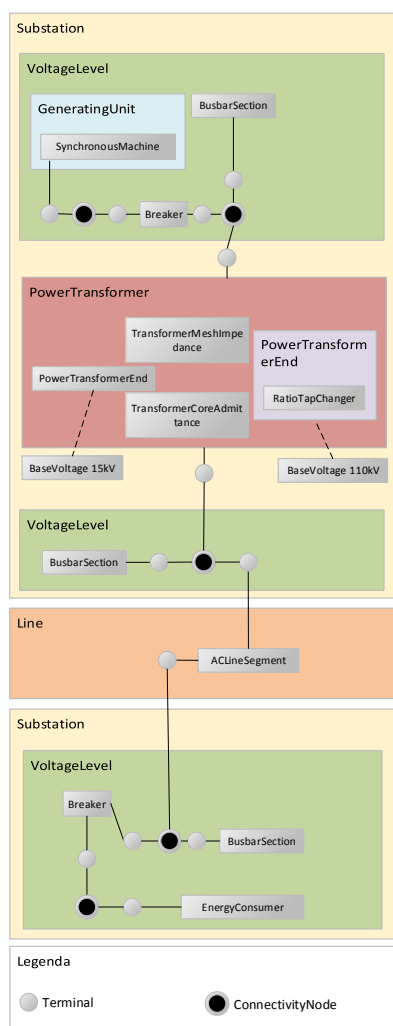
- *PowerTransformer*, stanowiącej jednocześnie kontener dla pozostałych wymienionych,
- *PowerTransformerEnd* reprezentującej uzwojenia transformatora,
- *TransformerMeshImpedance* opisującej impedancję wzdłużną transformatora,
- *TransformerCoreAdmittance* reprezentującej gałąź poprzeczną,
- *RatioTapChanger* zawierającą informacje o przekładni napięciowej.



Rys. 4. Notacja UML uwzględniająca podstawowe klasy ze zbioru Core



Rys. 5. Uproszczony schemat SEE opisany w standardzie CIM



Rys. 6. Model koncepcyjny połączeń elementów SEE z uwzględnieniem klas *ConnectivityNode* oraz *Terminal*

Zaprezentowany model transformatora oraz część z pozostałych elementów SEE można opisać przy użyciu alternatywnych klas. Warto tutaj dodać, iż poszczególne elementy systemu należy pogrupować do kontenerów agregacyjnych, tj. przypisać je do właściwych stacji oraz poziomów napięć. W przypadku analizowanego schematu można użyć dwóch egzemplarzy typu *Substation* i przypisać do pierwszego dwa poziomy napięć – tj. obiekty klasy *VoltageLevel*. W przypadku drugiej stacji, należy wstawić jeden poziom napięcia. Podział geograficzny pominięto.

Oprócz prawidłowej agregacji danych, niezwykle istotne jest określenie zależności topologicznych, tj. fizycznych połączeń występujących pomiędzy poszczególnymi elementami SEE. Należy zaznaczyć, iż chodzi tutaj o sposób połączenia elementów – a nie o aktualny stan topologii wyznaczony w oparciu o stany łączników oraz analizator topologii. W niniejszym standardzie wprowadzono dwa typy elementów odpowiedzialnych dla połączenia pomiędzy obiektami. Są to klasy *Terminal* oraz *ConnectivityNode*. Według zaproponowanego „modelu połączeń” [1] *Terminal*, jako element o zerowej impedancji, może należeć (tylko i wyłącznie) do jednego obiektu typu *ConductingEquipment* – istnienie terminala kończy wraz z istnieniem rodzica. Z kolei *ConductingEquipment* może posiadać dowolną liczbę terminali. Obiekty te (terminale) należy traktować jako interfejsy dla otoczenia. Przykładowo, aby połączyć dwie sekcje szyn odcinkiem linii (rys. 6), zaleca się użyć typu *ACLineSegment* wraz z jego terminalami, które są następnie „przypinane” do dwóch różnych obiektów *ConnectivityNode*. Jak widać klasa ta definiuje miejsca połączeń wszystkich elementów SEE. Na pierwszy rzut oka zastosowanie takiego rozwiązania może wydawać się nadmiarowe, jednak

w praktyce, ze względu na różnorodność budowanych topologii jest jak najbardziej trafne. Dzięki zastosowaniu powyższych typów uzyskuje się dużą elastyczność modelowania połączeń takich elementów SEE jak odczepy linii, położenie urządzenia pomiarowego względem wyłącznika linii czy inne (również nietypowe) konfiguracje połączeń.

Przedstawiony na rys. 5 schemat zamodelowano wg standardu CIM. Aby można było go potraktować jako model wymiany danych konieczne jest poddanie go procesowi serializacji. Operacja ta w oparciu o dokumentację z części IEC61970-501 oraz odpowiedni profil pozwoli na jego prezentację w formie XML-RDF.

3. Podsumowanie

Standaryzacja zasad dotyczących modelowania i wymiany danych nt. SEE przyniosła szereg korzyści. Uzyskano możliwość prezentacji sieci elektroenergetycznej o wysokim poziomie szczegółowości. Korzystając z istniejącej hierarchii klas umożliwiono jej rozszerzenie i dostosowanie do własnych potrzeb. Definiując profile, utworzono kanały informacyjne pozwalające na wymianę danych pomiędzy dowolnymi podmiotami z sektora energetycznego wspierającymi standard CIM. Tym samym, stosując język XML, umożliwiono tworzenie własnych, całkowicie nowych profili, lub będących rozszerzeniem już istniejących. Niniejsze atuty stanowią istotne źródło przewagi nad stosowanymi dotychczas rozwiązaniami bazującymi na innych formatach tekstowych – zwłaszcza KDM, używanym przede wszystkim w polskich spółkach dystrybucyjnych.

Standard CIM zaimplementowano w wielu systemach zarządzania siecią elektroenergetyczną. Zarówno w Polsce jak i za granicą stworzono narzędzia komputerowe zdolne do analizy danych wygenerowanych przez oprogramowanie firm trzecich. Na szczególną uwagę zasługują tutaj systemy EMS polskiej produkcji takie jak Syndis (Mikronika) oraz WindEx (Elkomtech), które z powodzeniem mogą konkurować z produktami zagranicznymi.

Coraz większa popularność standardu CIM wymusza wprowadzenie jego obsługi w nowopowstających narzędziach. Jest to warunek niezbędny do tego, aby zostać zauważonym przez inwestorów szukających innowacyjnego oprogramowania wspierającego zarządzanie SEE, jednocześnie determinujący możliwość prezentacji wyników badań nie tylko na rynku lokalnym ale i zagranicznym.

Literatura

- [1] Simmins J.: Common Information Model Primer. First Edition. Technical Report 2011.
- [2] Usilar M., Specht M., Rohjans S., Trefke J., Manuel J., Gonzalez V.: The Common Information Model CIM. IEC 61968/61970 and 62325 – A Practical Introduction to the CIM, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
- [3] IEC: 61970-301 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 301: Common information model (CIM) base, 2013.
- [4] IEC: 61970-452 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 452: CIM Static transmission network model profiles.
- [5] IEC: 61970-456 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 456: Solved power system state profiles.
- [6] <http://www.eia.gov>

Mgr inż. Adam Rzepecki
e-mail: a.rzepecki@pollub.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Od 2011 r. zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń w Politechnice Lubelskiej. W swojej pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami związanymi z modelowaniem systemów elektroenergetycznych oraz estymacją stanu. Jego praca badawcza skupia się w dużej mierze na budowie oprogramowania do analizy SEE implementowanego w języku C++.



otrzymano/received: 08.04.2014

przyjęto do druku/accepted: 03.05.2015