

Robert JĘDRYCHOWSKI\*

## **MODELOWANIE AUTOMATYKI STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI DEDYKOWANYCH DLA STANDARDU IEC 61850**

Wprowadzenie w roku 2004 nowego standardu opisanego jako IEC 61850 przyniosło ogromne zmiany w filozofii tworzenia automatyki stacji. Standard wprowadza nowe pojęcia stosowane do opisu działania urządzeń. Wprowadza nowe określenie urządzenia inteligentnego IED, nowe sposoby komunikowania się pomiędzy urządzeniami oraz zaimplementowanymi w nich funkcjami. Większość producentów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej dostarcza własne narzędzia do doboru urządzeń IED w obrębie stacji. Bazują one jednak na tradycyjnym schemacie działania, w którym dobieramy gotowe urządzenie do danego pola w stacji. Celem artykułu jest zaprezentowanie wybranych aplikacji wykorzystywanych w procesie budowania automatyki stacji oraz pokazanie odmiennego podejścia w ich działaniu.

SŁOWA KLUCZOWE: IEC61850, Aplikacje zabezpieczeniowe, Edytor konfiguracji

### **1. WSTĘP**

Standard IEC 61850 powstał w celu zagwarantowanie możliwości stworzenia w pełni zintegrowanej automatyki stacji. Standard opiera się na opisie systemu automatyki stacji (SAS) zawierającym informacje topologii, funkcjach realizowanych w obrębie stacji, urządzeniach w nich zainstalowanych oraz sposobu współpracy pomiędzy nimi [1].

Opracowano również język opisu SAS, a także sposób tworzenia modeli danych i metody dostępu do nich. Wraz z rozwojem standardu powstają również nowe narzędzia pozwalające na projektowanie automatyki stacji oraz efektywny dobór urządzeń automatyki stacyjnej. Producenci elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej tworzą własne narzędzia o różnym stopniu skomplikowania pozwalający na pełny opis SAS lub jedynie konfigurację urządzeń IED pracujących w obrębie stacji.

---

\* Politechnika Lubelska.

Wynikają z tego dwa przeciwstawne podejścia, które w sumie prowadzą do podobnego celu. Pierwsza metoda rozpoczyna analizę od zdefiniowania zestawu urządzeń wymaganych w danej stacji, a następnie opisuje interakcje zachodzące pomiędzy nimi. Miejsce zainstalowania urządzeń odzwierciedla topologię stacji.

Możliwe jest jednak odmienne podejście, gdzie modelowanie rozpoczęto od analizy topologii stacji, przypisania węzłów logicznych (LN) do obwodów pierwotnych, zdefiniowania funkcji realizowanych przez automatykę, ich wzajemnych relacji, co na końcu pozwala optymalnie dobrać odpowiednią automatykę zabezpieczeniową, jako urządzenia IED [2].

Artykuł ma za zadanie zaprezentowanie procesu tworzenia opisu stacji oraz wszystkich realizowanych w niej funkcji automatyki zabezpieczeniowej i stacyjnej. Zaprezentowane zostaną działania realizowane podczas modelowania poszczególnych elementów. Pokazana zostanie dekompozycja funkcji zabezpieczeniowych na poszczególne węzły logiczne.

Celem artykułu jest również zaprezentowanie wybranych aplikacji wykorzystywanych w procesie budowania automatyki stacji oraz zaprezentowanie odmiennego podejścia w ich działaniu.

## 2. OPIS SYSTEMU W IEC 61850

System automatyki stacji (SAS) zrealizowany według standardu IEC 61850 zawiera szereg informacji dotyczących topologii stacji, jej wyposażenia w postaci urządzeń oraz funkcjonalności przez nie realizowane.

W celu opisanego struktury SAS w ramach standardu IEC 61850 stworzony został język konfiguracji systemu (SCL). Struktura języka oparta jest na rozszerzalnym języku znaczników (XML) w wersji 1.0. Głównym celem tego formatu jest zapewnienie możliwości opisu SAS oraz stworzenie systemu narzędzi inżynierii informatycznej zgodnego dla różnych producentów pozwalającego na wzajemną wymianę danych [3].

W standardzie (edycja 2) zdefiniowano kilka rodzajów plików, należą do nich:

1. .ICD dla IED Capability Description – zawiera opis możliwości funkcjonalnych i technicznych danego IED (*Intelligent Electronic Devices*), szablony definicji LN oraz funkcjonalności. Nazwą IED oraz stacji jest TEMPLATE. Każde urządzenie IED posiada swój własny plik konfiguracyjny ICD.
2. .IID dla Instantiated IED Description – zawiera dane wstępnie skonfigurowane, dane te później mogą być modyfikowane lub traktowane jako domyślne. IED ma nazwę określonego projektu.
3. .SSD dla System Specification Description – zawiera opis stacji, funkcje i wymagane węzły logiczne ułożone w tym opisie, plik stanowi pełny opis SAS.

4. .SCD dla System Configuration Description – plik zawiera skonfigurowany opis stacji, przepływ danych oraz wszystkie IED.
5. .CID dla Configured IED Description – zawiera informacje wymieniane pomiędzy konfiguratorem a IED, opisuje dane z projektu dotyczące danego IED, np. nazwa.
6. .SED dla System Exchange Description – opisuje dane wymieniane pomiędzy różnymi projektami.

Pełny opis konfiguracji stacji, jej topologii, wykorzystywanych węzłów logicznych (LN) oraz zainstalowanych IED zawarty jest w pliku .SSD. Dodanie do niego wykorzystywanych danych, opisu sposobu wymiany danych oraz dokonanie dekompozycji funkcji realizowanych w SAS na poszczególne IED prowadzi do uzyskania pliku .SCD. Plik ten jest pełnym opisem SAS [3].

### 3. TWORZENIE OPISU STACJI

Niezależnie od wyboru aplikacji narzędzia do konfiguracji IED wymagają stworzenia opisu stacji. Opis ten w różnych narzędziach jest mniej lub bardziej rozbudowany, ale powinien odzwierciedlać strukturę stacji.

W celu odwzorowania struktury fizycznej stacji i urządzeń pierwotnych w niej zainstalowanych tworzymy plik .SSD, będący specyfikacją systemu, w którym pracować będą urządzenia IED nadzorując jego pracę, jest opisem konfiguracji fizycznej stacji oraz jej wyposażenia.

W celu opisania informacji o strukturze stacji stworzony został projekt stacji 110/15 kV, w której rozdzielnia górnego napięcia pracuje w układzie H3, a rozdzielnia 15 kV jest układem wyposażonym podwójny sekcjonowany układ szyn ze sprzęgłem podłużno–poprzecznym. Taki model pozwolił na zaprezentowanie różnic pomiędzy poszczególnymi rozdzielniami, a także na uzyskanie różnego typu pól i ich wyposażenia. Przykład pojedynczego pola prezentuje rysunek 1.

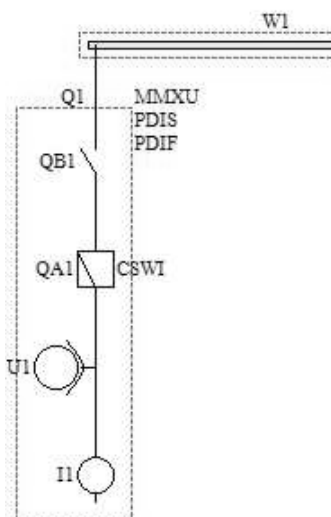
Plik .SSD składa się z kilku charakterystycznych elementów. Są to elementy:

- *Heder*,
- *Substation*,
- *Communication*,
- *IED*,
- *DataTypeTemplates*.

Każdy plik w formacie XML związanym ze standardem IEC 61850 rozpoczyna się elementem będącym nagłówkiem (*Heder*) opisującym wersję edycji standardu i informacje pomocnicze dla danego środowiska.

Wszystkie informacje opisujące układ stacji mieszczą się w elemencie *Substation*. Głównym atrybutem tego elementu jest nazwa stacji. Wewnątrz elementu *Substation* pierwszy poziom zagłębienia opisuje elementy *VoltageLevel*, jest on w rzeczywistości odzwierciedleniem rozdzielni w obrębie stacji (rys. 2). Za-

kładając, że w obrębie stacji występuje tylko jedna rozdzielnia o danym poziomie napięcia nazwa tego elementu w postaci wartości napięcia może być jednocześnie nazwą rozdzielni.



Rys. 1. Uproszczony schemat pola liniowego z zaznaczonymi elementami poziomu procesu oraz wybranymi węzłami logicznymi (LN)

```
<Substation name="Lublin" desc="stacja testowa">
...<VoltageLevel sxy:x="99" sxy:y="150" name="D2" xmlns:sxy="http://w
...<VoltageLevel sxy:x="86" sxy:y="385" name="E2" xmlns:sxy="http://w
```

Rys. 2. Fragment kodu pliku .SCL opisujący podział stacji na rozdzielnie

```
<Bay sxy:x="10" sxy:y="320" name="Q1">
...<Text />
...<LNNode lnInst="1" lnClass="MMXU" iedName="E1Q1SB1" ldInst="C1">
...<LNNode lnInst="1" lnClass="PDIS" iedName="E1Q1BP3" ldInst="F1">
...<LNNode lnInst="1" lnClass="PDIF" iedName="E1Q1BP2" ldInst="F1">
...<ConductingEquipment sxy:x="183" sxy:y="75" name="QA1" type="CBR">
...<ConductingEquipment sxy:x="183" sxy:y="15" name="QB1" type="DIS">
...<ConductingEquipment sxy:x="183" sxy:y="135" name="U1" type="VTR">
...<ConductingEquipment sxy:x="183" sxy:y="195" name="I1" type="CTR">
...<ConnectivityNode name="L1" pathName="S12/E1/Q1/L1">
...<ConnectivityNode name="L2" pathName="S12/E1/Q1/L2">
...<ConnectivityNode name="L3" pathName="S12/E1/Q1/L3">
...<ConnectivityNode name="L4" pathName="S12/E1/Q1/L4">
</Bay>
```

Rys. 3. Fragment kodu pliku .SCL opisującego zawartość elementu *Bay*

Kolejne zagłębienie zawiera elementy *Bay* będące odpowiednikiem pól rozdzielni oraz elementów takich jak szyny danej rozdzielni. W opisie struktury brak jest wyróżnienia takiego elementu jak szyny rozdzielni. W elemencie tym mogą występować kolejne elementy zagnieżdżone, należą do nich:

- *ConductingEquipment*,
- *ConnectivityNode*,
- *PowerTransformer*,
- *GeneralEquipment*,
- *LNode*.

Ich występowanie i zawartość zależy od elementów danego pola. Elementy niewykorzystywane nie występują w pliku końcowym. Zawartość poszczególnych pól wpływa również na ich identyfikację. Ma to szczególne znaczenie dla wyróżnienia systemu szyn. Element *Bay* opisujący szyny rozdzielni zawiera tylko *ConnectivityNode* z nazwą węzła połączeniowego.

Pola transformatorowe mogą zawierać element *PowerTransformer*, w którym opisane są poszczególne uzwojenia.

W pozostałych polach istotna jest ich zawartość. Determinuje ona zarówno przeznaczenie pola, jego wpływ na rzeczywistą topologię oraz przypisane do niego dane szczegółowe. Jeśli w polu znajdują się takie elementy jak wyłącznik oraz odłączniki muszą być one odpowiednio połączone, zarówno z systemem szyn jak i pomiędzy sobą. Do tego celu służą elementy *ConnectivityNode*. Możliwe jest połączenie elementów wewnątrz pola jak również z polem opisującym szynę poprzez wskazanie jego *ConnectivityNode*.

W sekcji *LNode* opisane są węzły logiczne przypisane na poziomie procesu lub na poziomie pola do poszczególnych elementów. Na poziomie procesu odpowiadają one takim elementom jak łączniki oraz przekładniki prądowe i napięciowe, a na poziomie pola mogą odwzorowywać LN (*logical node*) kontrolne lub zabezpieczeniowe.

Ważną częścią w opisie stacji jest część opisująca komunikację (*Communication*) gdyż odwzorowuje sposób działania sieci LAN będącej układem komunikacyjnym oraz rodzaje wymiany danych pomiędzy urządzeniami IED (rys. 4). Opis komunikacji zawiera takie elementy jak podsieć (*SubNetwork*), punkt dostępu (*ConnectedAP*) wspólny dla współpracujących IED, konfigurację komunikacji dla TCP/IP (*Address*) oraz konfigurację dla szybkiej wymiany międzypolowej (*GSE*) dla komunikatów GOOSE i wartości próbkowanych SVC.

Kolejne części w opisie stacji odnoszą się do urządzeń IED oraz bezpośrednio z nimi powiązanych szablonów danych *DataTypeTemplates*. Opisują one wszystkie urządzenia w postaci przekaźników EAZ oraz urządzeń telemechaniki tworzących automatykę stacji.

```

<Communication>
... <Text />
... <SubNetwork name="W01" type="8-MMS">
...   <Text>Station bus</Text>
...   <BitRate unit="b/s" multiplier="M">10</BitRate>
...   <ConnectedAP iedName="D1Q1SB4" apName="S1">
...     <Text />
...     <Address>
...       <P type="IP">10.0.0.11</P>
...       <P type="IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
...       <P type="IP-GATEWAY">10.0.0.101</P>
...       <P type="OSI-TSEL">00000001</P>
...       <P type="OSI-PSEL">01</P>
...       <P type="OSI-SSEL">01</P>
...     </Address>
...     <GSE IdInst="C1" cbName="SyckResult">
...       <Text />
...       <Address>
...         <P type="MAC-Address">01-0C-CD-01-00-02</P>
...         <P type="APPID">3001</P>
...         <P type="VLAN-PRIORITY">4</P>
...       </Address>
...       <MinTime unit="s" multiplier="m">0</MinTime>
...       <MaxTime unit="s" multiplier="m">0</MaxTime>
...     </GSE>
...     <PhysConn type="Plug">
...       <P type="Type">FOC</P>
...       <P type="Plug">ST</P>
...     </PhysConn>
...   </ConnectedAP>
...   <ConnectedAP iedName="E1Q1SB1" apName="S1">
...   <ConnectedAP iedName="E1Q1BP2" apName="S1">
...   <ConnectedAP iedName="E1Q1BP3" apName="S1">
... </SubNetwork>
</Communication>

```

Rys. 4. Fragment kodu pliku .SCL opisującego zawartość elementu *Communication*

#### 4. NARZĘDZIA KONFIGURACJI STACJI

Założenia standardu IEC 61850 opisywały układ automatyki stacji, jako zbiór współpracujących ze sobą urządzeń, które mogą pochodzić od różnych producentów, a mimo to współpracują ze sobą. W praktyce taka sytuacja zdarza się rzadko, jako mogąca przysparzać dodatkowych problemów. Dlatego do konfiguracji automatyki stacji producenci EAZ oraz urządzeń telemechaniki opracowali własne aplikacje.

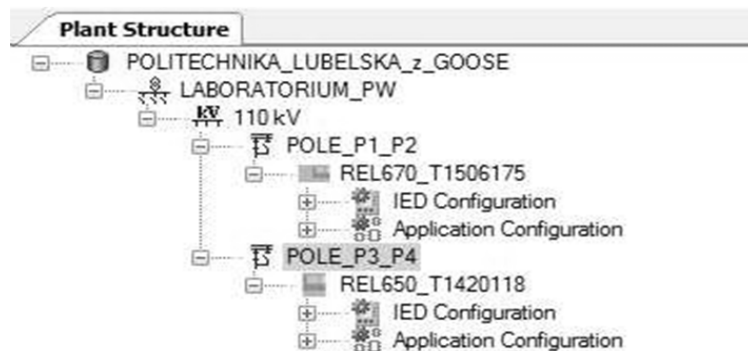
Aplikacje dedykowane do konfiguracji automatyki można podzielić na trzy grupy:

1. Aplikacje uniwersalne – pozwalające na budowanie konfiguracji automatyki stacji w oparciu o założenia standardu. Nie są one powiązane z żadnym producentem urządzeń, dlatego możliwe jest elastyczne konfigurowanie poszczególnych części opisu. Jednym z takich programów jest Visual SCL

firmy Applied Systems Engineering, na bazie którego powstały przykłady z poprzedniego rozdziału 0.

2. Aplikacje systemów SCADA – ich zadaniem jest powiązanie konfiguracji stacji zgodną z IEC 61850 z warstwą prezentacji widoczną dla użytkowników systemu. Oprogramowanie to jest dostosowane do współpracy z urządzeniami różnych producentów.
3. Aplikacje dedykowane – przeznaczone do konfiguracji automatyki z wykorzystaniem urządzeń IED jednego producenta. Są one dedykowane do konfiguracji urządzeń, nie tylko w zakresie opisanym standardem, ale jako ogólna konfiguracja urządzeń EAZ.

Przykładem aplikacji dedykowanej jest PCM600 firmy ABB [6]. Jest to program pozwalający na konfigurację najnowszych urządzeń EAZ tej firmy, również urządzeń IED. Program opiera się na odwzorowaniu struktury stacji, w której umieszczono poszczególne urządzenia. Tworzony projekt konfiguracji odwzorowuje topologię stacji tylko w zakresie niezbędnym do czytelnego przedstawienia fizycznego położenia poszczególnych urządzeń IED w stacji. W podanym na rys. 5 przykładzie, widać fragment drzewa nawigacji z wyróżnioną stacją, rozdzielnią 110 kV oraz dwoma polami. W polach tych umieszczono dwa przekaźniki REL 670 i REL650. Położenie urządzeń IED determinuje położenie umiejscowienie węzłów logicznych LN oraz takich struktur jak DataSet czy Raporty. Są one przypisane do urządzenia fizycznego i prekonfigurowane przez jego producenta. Do konfiguracji parametrów standardu wykorzystywany jest podprogram IEC 61850 Configurator.

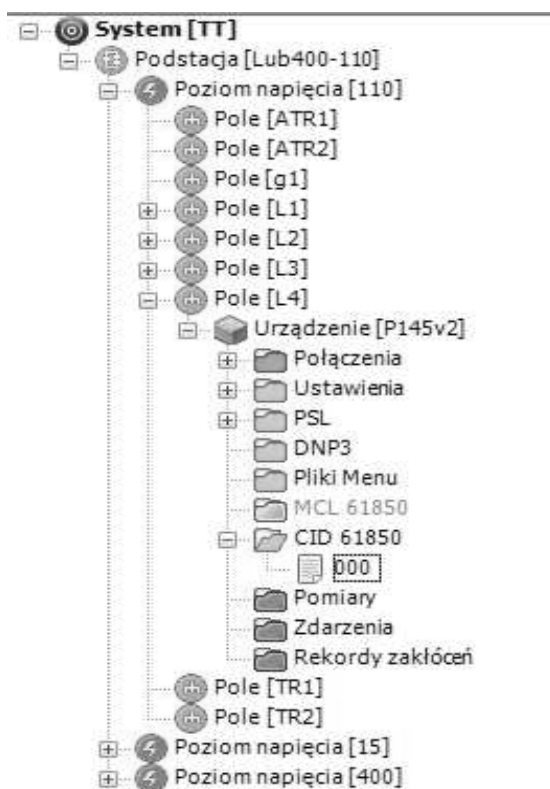


Rys. 5. Widok okna drzewa nawigacji programu PCM600

Program PCM600 pozwala na eksport danych na poziomie stacji jako plik .SCD zawierający wszystkie elementy. Przy czym opis topologii w sekcji *Substation* ograniczony został do opisu pól, opis w *Communication* dla każdego przekaźnika oraz dla wszystkich urządzeń sekcję *IED* i *DataTypeTemplates*.

Możliwy jest również eksport danych dotyczących tylko pojedynczych urządzeń w postaci plików .CID, .ICD oraz .IID. Dzięki temu skonfigurowane urządzenia mogą zostać wykorzystane w innych edytorach.

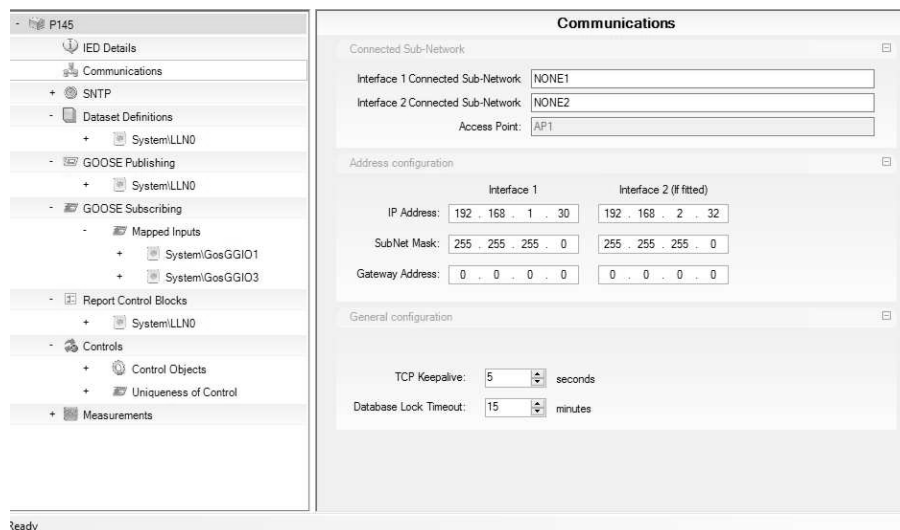
Podobne rozwiązanie oferuje również firma Schneider do konfiguracji automatyki stacji opartej na przekaźnikach Micom. Wykorzystuje do tego celu aplikację Schneider Electric Easergy Studio, której okno nawigacji prezentuje rys. 6.



Rys. 6. Widok okna drzewa nawigacji programu Schneider Electric Easergy Studio

Podobnie jak w poprzednim rozwiązaniu służy ono jedynie do uporządkowania struktury stacji i nie odzwierciedla położenia jej elementów fizycznych takich jak łączniki i przekładniki. Pozwala jednak na przypisanie urządzeń IED do pól, w których są fizycznie zainstalowane. Jak widać na rys. 6 środowisko Easergy Studio jest kompleksowym programem do kompleksowej konfiguracji przekaźników zabezpieczeniowych [7]. Jak pokazano na przykładzie przekaźnika Micom P145 plik konfiguracji .CID jest tylko jednym z elementów konfiguracji. Dodatkowo w takiej postaci tworzony jest tylko dla przekaźników zgodnych z drugą edycją standardu.





Rys. 7. Widok okien drzewa nawigacji i sekcji *Communications* w programie IED Configurator

Do edycji konfiguracji IED wykorzystywany jest wewnętrzny program IED Configurator (rys. 7) pozwalający zarządzać konfiguracją ustawień sieciowych, synchronizacji czasu, tworzeniem Data Set oraz raportów. Umożliwia również konfigurację komunikacji dla GOOSE oraz SVC.

W przypadku oprogramowania firmy Schneider nie mamy możliwości wygenerowania plików .SCD zawierających pełny opis stacji. Możemy jedynie wygenerować pliki .CID lub .IID z opisem konfiguracji przekaźników.

## 5. PODSUMOWANIE

Wdrażanie standardu IEC 61850 sprawiło, że rozwinęły się również aplikacje związane z konfiguracją automatyki stacji lub systemu. Aplikacje te mają różny charakter i funkcjonalność. W artykule przedstawione zostały tylko aplikacje wykorzystywane do tworzenia opisu stacji i konfiguracji urządzeń IED. W praktyce stosowane są również aplikacje pozwalające na symulację pracy urządzeń IED oraz monitorowanie działania systemu [8].

Przedstawione przykłady aplikacji prezentują różne podejście do modelowania automatyki stacji. Z jednej strony są aplikacje pozwalające użytkownikowi krok po kroku zbudować pełny opis stacji, a z drugiej strony mamy aplikacje, w których rolę użytkownika jest tylko wprowadzenie wymaganych danych do wcześniej przygotowanego środowiska w celu uzyskania poprawnej współpracy urządzeń. Oba podejścia wynikają z różnych celów stosowania aplikacji. Wymagają również innych umiejętności użytkownika.

### LITERATURA

- [1] Jędrychowski R., Zalety standaryzacji systemów nadzoru i zabezpieczeń dla generacji rozproszonej. Rynek Energii Nr 2 (81) 2009 r. s. 46–51.
- [2] IEC 61850. Communication Networks and Systems in Substations.
- [3] IEC 61850 – 6. Communication Networks and Systems in Substations. Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs.
- [4] Kacejko P.: Inżynieria elektryczna i technologie informatyczne w nowoczesnych technologiach energetycznych. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN vol. 82, Lublin 2011.
- [5] Dokumentacja, Visual SCL.
- [6] Protection and Control IED Manager PCM600 Getting Started Guide. 2013 ABB.
- [7] Tutorial: Configuring GOOSE in MiCOM S1 Studio. Schneider.
- [8] Jędrychowski R.: Monitorowanie wymiany danych w systemie automatyki stacji elektroenergetycznej, Rynek Energii – 2015, nr 2, vol. 117, s. 107–112.

### MODELING OF ELECTRICAL SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS USING DEDICATED TOOLS FOR THE IEC 61850 STANDARD

Since 2004, when a new IEC 61850 standard for electrical substation automation systems was implemented, the substation automation development philosophy has radically changed. The standard introduces new notions to be used for the equipment operation description. A new notion of an intelligent electronic device (IED) is also introduced together with new methods for the communication between the system devices and functions implemented in them. Although tools for the selection of IEDs for a substation bay can be supplied by various manufacturers of the automated protection equipment, their implementation is based on one traditional scheme, where a ready-to-use device is selected for a given substation bay. The objective of the presented article is to present selected applications to be used in the process of developing the substation automation system as well as to demonstrate a different approach of their operation.

*(Received: 08. 02. 2017, revised: 23. 02. 2017)*