

ZASTOSOWANIE OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH W LOKALNYCH CENTRACH STEROWANIA¹

Aleksander Ostenda

dr, Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Dziekan Wydziału Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, 40-555 Katowice, tel. 502 523 217, e-mail: aleksanderostenda@wst.pl

Karol Trzoński

mgr, Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, kierownik Katedry Budownictwa, ul. Rolna 43, 40-555 Katowice, tel.: 660 121 544, e-mail: karoltrzonki@wst.pl

***Streszczenie.** Jednym z głównym elementów funkcjonowania Lokalnych Centrów Sterowania są koszty utrzymania budynków i dostawy energii elektrycznej do zasilania urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Niniejszy referat przedstawia możliwości zastosowania nowoczesnych systemów fotowoltaicznych w Lokalnych Centrach Sterowania oraz wybranych posterunkach ruchu, w których znajdują się urządzenia służące do sterowania ruchem kolejowym.*

Słowa kluczowe: zasilanie, sterowanie ruchem, fotowoltaika

1. Wstęp

W krajach Unii Europejskiej, w tym także w Polsce, szuka się wielu nowych rozwiązań technicznych i organizacyjnych dla utrzymania oraz poprawy funkcjonowania stacji kolejowych. Dyskusje te prowadzone są w różnych aspektach, mając na uwadze takie problemy jak zły stan techniczny, zasadność ekonomiczną, uwarunkowania społeczne oraz bezpieczeństwo, a w szczególności przepisy z tym związane.

Dotyczy to utrzymania budynków zarządcy infrastruktury, które są uznawane za generator kosztów. Zastosowanie nowoczesnych systemów w dużym stopniu poprawiłoby stan istniejących instalacji, ograniczyłyby w dużej mierze awaryjność systemów zasilania, usprawniłoby ruch pociągów oraz czasowe przerwy w dostawie energii.

Wdrożenie nowoczesnego systemu Lokalnych Centrów Sterowania (LCS) wraz z wykorzystaniem innowacyjnych rozwiązań, którym jest na przykład system fotowoltaicznego zasilania w energię elektryczną obiektów budowlanych, mogą dawać spore korzyści pod względem finansowym jak i ekonomicznym. Energię słoneczną można bardzo efektywnie wykorzystywać do uzyskiwania ciepła lub produkcji energii elektrycznej. Obecnie istnieje wiele możliwości wykorzystania alternatyw-

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Ostenda A. 30%, Trzoński K. 70%.

nych źródeł energii, które w porównaniu do źródeł konwencjonalnych pozwalają na znaczne oszczędności.

2. Fotowoltaika

Po raz pierwszy zjawisko „elektryczności powstałej ze światła” zostało zaobserwowane już w 1839 roku. Wraz z upływem lat fizycy z różnych rejonów świata próbowali opracować skuteczną metodę wykorzystania energii słonecznej do produkcji energii elektrycznej.

Fotowoltaika miała swój początek w badaniach kosmicznych. Jako pierwsi opracowali ją Amerykanie. W Stanach Zjednoczonych w roku 1954 zbudowane zostało pierwsze na świecie ogniwo fotowoltaiczne. Jednym z początkowych zastosowań ogniów było zasilanie satelitów, ze względu na wysoce niezawodne, a zarazem lekkie źródło energii. Okazało się to siłą napędową dla technologii fotowoltaicznych. W późniejszym czasie technologia ta została już używana komercyjnie dla zasilania sond, satelitów oraz stacji kosmicznych.

Kryzys naftowy w roku 1973 spowodował wzrost cen energii elektrycznej, coraz więcej przedsiębiorców i dużych korporacji zaczęło szukać rozwiązań dla obniżenia kosztów wyrobu swoich produktów. Wzrastała więc i potrzeba poznawania technologii wykorzystania ogniów fotowoltaicznych do wytwarzania energii na wielką skalę, co doprowadziło do szybkiego tempa rozwoju tej nowoczesnej metody.

Pierwsze ogniwa były stosunkowo drogie. Tuż po kryzysie naftowym w roku 1973 zaobserwowano systematyczny spadek kosztów, a liczba instalowanych urządzeń nowoczesnego systemu stale rosła. Rok 2007 okazał się jednym z najbardziej dynamicznych dla rozwoju systemu fotowoltaicznego, ponieważ przewyższał liczbę zainstalowanych modułów prawie o 50% w porównaniu z rokiem poprzednim. W roku 2011 zostało zainstalowanych tyle paneli fotowoltaicznych, które skumulowały energię o łącznej mocy 67 350 MW. Dla porównania można by zestawić produkcję polskich konwencjonalnych elektrowni, które wytwarzają w przybliżeniu 38 000 MW.

Nowoczesna technologia fotowoltaiczna jest obok energii wiatrowej jedną z najbardziej rozwijających się technologii z odnawialnych źródeł energii. Coraz wyższa sprawność oraz stale rosnące zainteresowanie wpływa na spadek cen systemów fotowoltaicznych, co w rezultacie wiąże się z zwiększeniem ich opłacalności.

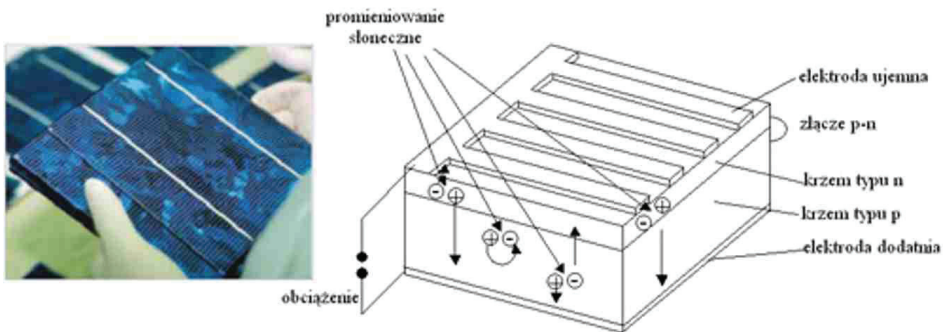
3. Budowa Modułu Fotowoltaicznego

Podstawowym elementem procesu zmiany promieni słonecznych w energię elektryczną są ogniwa fotowoltaiczne, potocznie nazywane ogniwami słonecznymi lub fotoogniwami. Przebieg zamiany promieni słonecznych na energię elektrycz-

ną nazywamy konwersją fotowoltaiczną. Ogniwo fotowoltaiczne zbudowane jest z krzemowej płytki nazywanej półprzewodnikiem, wewnątrz której znajduje się bariera potencjału, tzw. pole elektryczne, które występuje w postaci złącza p-n (positive-negative). Promienie słoneczne padające bezpośrednio na ogniwo fotowoltaiczne wybijają elektrony z ich miejsc, które w strukturze półprzewodnika tworzą pary nośników elektrycznych o przeciwnych ładunkach (elektron, który jest ładunkiem ujemnym oraz „dziura” z ładunkiem dodatnim powstała na skutek jego wybicia). Pole elektryczne istniejące w złączu p-n rozdziela ładunki, co sprawia, że pojawia się napięcie w ogniwie. W procesie konwersji fotowoltaicznej cząstki promieni słonecznych zamieniają się w energię elektryczną. Po podłączeniu urządzenia pobierającego energię, można zaobserwować przepływ prądu elektrycznego.

Najczęściej stosowanym materiałem do budowy ogniw są różnego rodzaju półprzewodniki. Znaczna większość z nich to materiały takie jak krzem, cyna, german, pochodzące z IV grupy układu okresowego, nazywane półprzewodnikami elementarnymi.

Szczegółową budowę pojedynczego ogniwa przedstawiono na rysunku 1. Pojedyncze ogniwo pozwala na uzyskanie w warunkach standardowych napięcia w granicach 0,55-0,60 V, prądu maksymalnego ~ 300 mA. Dla uzyskania większego napięcia dla mocy użytkowej tworzy się moduły lub panele z połączenia pojedynczych ogniw. Łączone są one za pomocą taśm przewodzących w układzie szeregowym. Następnie połączone ze sobą ogniwa przykleja się do podłoża. Tak przygotowany panel zalewa się transparentnymi żywicami odpornymi na niekorzystne warunki atmosferyczne. Po całym procesie przygotowania panelu fotowoltaicznego wyposaża się go w metalową ramkę, która zapewnia sztywność podłożu oraz montuje się cały system okablowania wraz z układem zabezpieczającym.



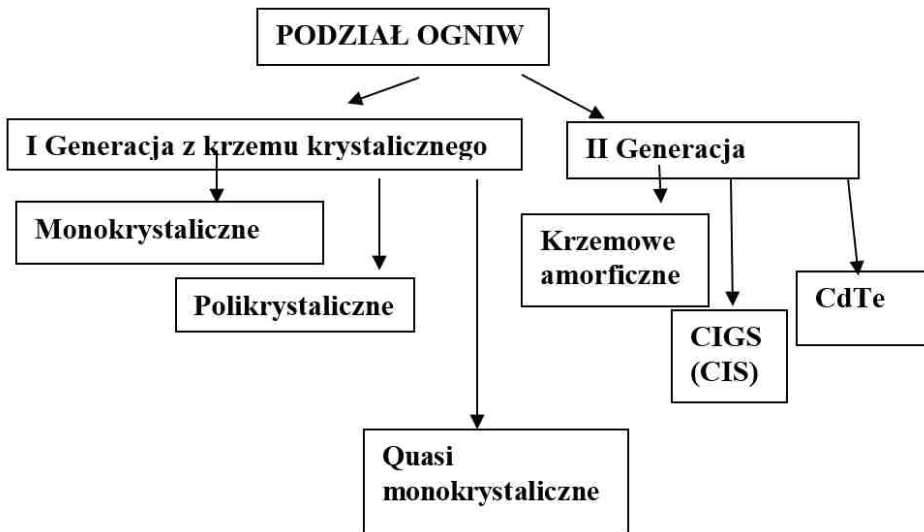
Rys.1. Schemat budowy i działania ogniwa fotowoltaicznego

Źródło: Ewa Klugmann-Radziemska, *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, s.49

4. Rodzaje i generacja ogniw modułowych

Moduły Fotowoltaiczne zbudowane są z pojedynczych ogniw. Ogniwa w postaci „wafli” o grubości ok. 2 mm wytwarzane są z mono- lub polikrystalicznego

krzemu. Tego typu baterie słoneczne zaliczane są do tzw. I generacji i ciągle dominują na rynku. Nowością są tzw. ogniwa II generacji, w którym materiał półprzewodnikowy jest nanoszony w postaci cieniutkiej warstwy i często jest to materiał inny niż krzem, np. tellurek kadmu (CdTe) czy mieszanina miedzi, indu, galu i seleniu (CIGS). Zaletą ogniw II generacji jest znaczna (w stosunku do krzemowych waflów) redukcja gabarytów. Grubość ogniw II generacji wynosi około 1-3 mikrometrów, dlatego też nazywane są one często cienkowarstwowymi. Niższe zużycie półprzewodników w przypadku ogniw II generacji przekłada się na niższe nakłady energetyczne przy ich produkcji. Pod względem energetycznym tego typu ogniwa są więc bardziej przyjazne dla środowiska. Na rynku pojawiają się także ogniwa, które można by zaliczyć do III generacji. Pozbawione są one klasycznego złącza P-N, niezbędnego przy produkcji ogniw I i II generacji. Do ogniw III generacji zaliczyć można wiele technologii, jednak największe znaczenie rynkowe mają obecnie tzw. ogniwa DSSC oraz ogniwa organiczne z wykorzystaniem polimerów. Wielką zaletą ogniw III generacji są niskie koszty ich wytworzenia oraz prostota produkcji. Główną przeszkodą w ich popularyzacji jest mała sprawność oscylująca wokół kilku procent i krótka żywotność. Podział ogniw fotowoltaicznych przedstawia rys. 2.



Rys.2. Podział ogniw fotowoltaicznych ze względu na zaawansowany materiał półprzewodnikowy

Źródło: B. Szymański, Instalacje fotowoltaiczne wydanie II, Kraków 2013, s.11

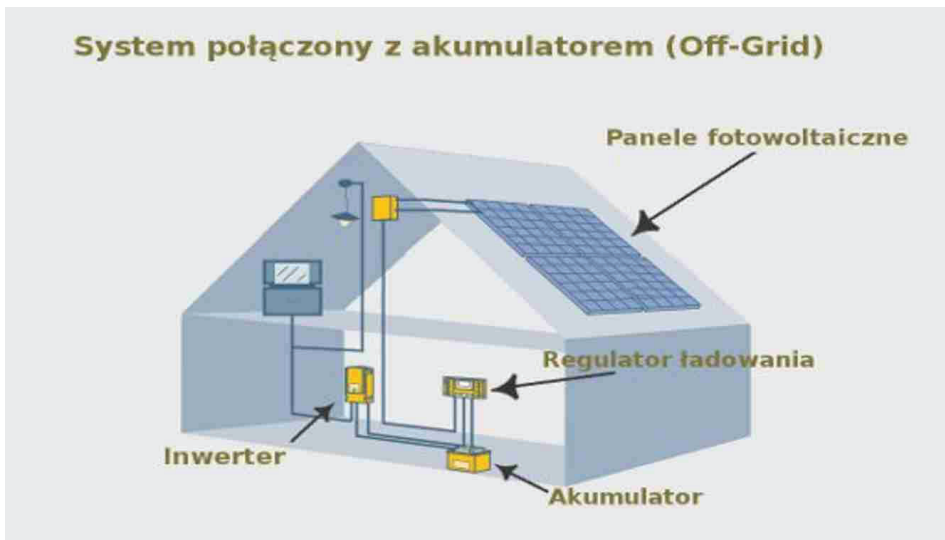
5. Zastosowanie systemów fotowoltaicznych

Fotowoltaika to system służący do produkcji i generacji prądu, może mieć różnorodne zastosowanie, np. w:

- nawigacjach, dla zasilania morskich, śródlądowych oraz lotniczych znaków nawigacyjnych,

- telekomunikacji, dla zasilania radiowo-telekomunikacyjnych stacji przekaźnikowych radiostacji w miejscach odosobnionych, przez telefonię komórkową,
- rolnictwie oraz leśnictwie, dla zasilania urządzeń nawadniających, osuszających, ochrony przeciwpożarowej oraz urządzeń ochrony lasów oraz pastwisk,
- transporcie - dotyczy to przede wszystkim oznakowania lotnisk, stosowane także dla zasilania znaków drogowych jak i kolejowych, szczególnie w odcinkach trudno dostępnych oraz tych remontowanych,
- systemach obronnych, dla zasilania wojskowych elektrycznych urządzeń polowych (radiostacje, stacje namiarowe, urządzenia pomiarowe, punkty oświetlenia),
- meteorologii, dla zasilania odosobnionych stacji meteorologicznych,
- gospodarstwach domowych, dla zasilania w energię elektryczną podstawowych urządzeń gospodarstwa domowego,
- medycynie, dla zasilania np. polowych ambulatoriów medycznych, zwłaszcza w krajach trzeciego świata,
- turystyce, do autonomicznych systemów akwizycji danych,
- transporcie kolejowym systemy fotowoltaiczne z powodzeniem wykorzystuje się dla zasilania awaryjnego kolejowych systemów sterowania oraz telefonów awaryjnych.

5.1. Systemy Samodzielne (off-grid)



Rys. 3. Schemat systemu samodzielnego (off-grid)

Źródło: http://suntherm.pl/oferta/systemy_fotowoltaiczne/

System off- grid polega na wytworzeniu energii elektrycznej w panelach fotowoltaicznych, gromadzeniu jej oraz dystrybucji na danym obszarze. Polega on na zupełnej niezależności odbiorcy od operatora sieci energetycznej oraz zapewnia wytworzenie wystarczającej ilości energii na całkowite zapotrzebowanie na prąd.

Instalacje tego typu montowane są przede wszystkim na obszarach, gdzie nie ma bezpośredniej możliwości podłączenia do sieci elektroenergetycznej (na pustyniach, w krajach rozwijających się), zastosowanie znajdują przede wszystkim w sektorze telekomunikacyjnym, służą także do zasilenia budynków oddalonych od skupisk ludzkich, dla zasilenia domków letniskowych, jachtów oraz pojazdów rekreacyjnych. Bardzo mały odsetek stosowany jest dla zasilenia parkometrów, znaków drogowych, i podobnych urządzeń w krajach rozwiniętych.

5.2. System zintegrowany z siecią (grid-connected)

Najwięcej instalacji fotowoltaicznych stanowią te, które są podłączone do sieci energetycznej. Najczęściej można je spotkać na obszarach miejskich oraz podmiejskich, a także w strefach uprzemysłowionych w państwach rozwiniętych. Wymagają one wysokiej jakości sieci elektroenergetycznych. Można by stwierdzić po liczbie sprzedawanych modułów, że jest to najbardziej rozwinięty sektor.

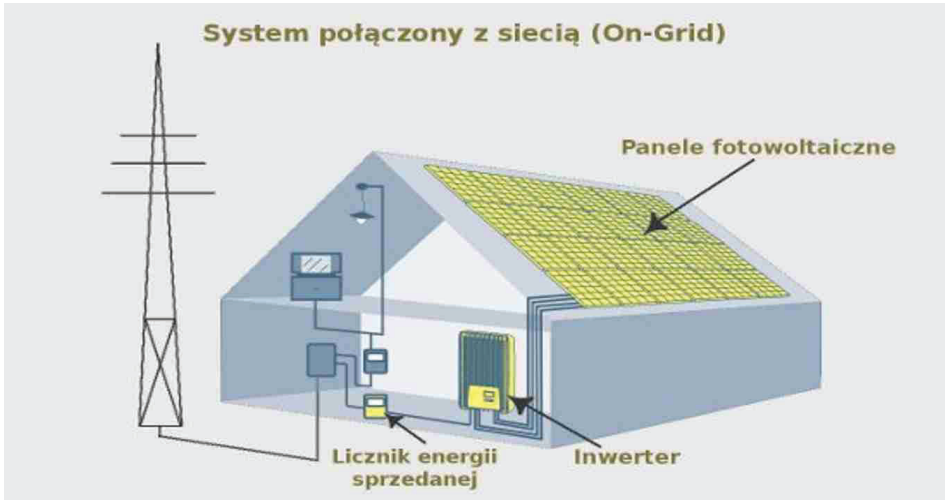
Instalacje tego typu stają się coraz bardziej popularne, w znacznym stopniu wpływając na system lokalnej dystrybucji energii. W krajach, gdzie osiągnięto wysoki udział OZE w systemie energetycznym, dość dużym problemem jest określenie maksymalnej zainstalowanej mocy systemów PV, która nie obniży znacząco jakości energii w sieciach niskiego napięcia.

W typowym systemie fotowoltaicznym, oddającym wyprodukowaną energię elektryczną do sieci, wszystkie przewody prowadzące do modułów są zebrane do jednej skrzynki przyłączeniowej, która jest połączona z siecią przez inwerter (DC/AC). Każdy z nich powinien być wyposażony w zabezpieczenie antywysypowe. Jego działanie polega na natychmiastowym zatrzymaniu oddawania wytworzonej energii do elektroenergetycznej sieci publicznej. W momencie, gdy do budynku nie jest dostarczania energia z sieci, staje się on „wyspą” w otoczeniu do innych budynków. Istnieją także przypadki, w których napięcie zanika, może to być spowodowane wyłączeniem w celach serwisowych lub awarią powstałą w wyniku uszkodzenia urządzenia sieci energetycznej. Oddawanie wtedy energii mogło by spowodować porażenie pracownika wykonującego prace przy urządzeniach.

Gromadzona wtedy energia może być wykorzystywana dla zasilenia różnych odbiorników w budynku. Sytuację odwrotną zauważamy np. w nocy, kiedy to produkcja energii z paneli PV nie pokrywa zapotrzebowania budynku, właśnie wtedy konieczny jest pobór energii z sieci. Rejestrowanie poboru energii oraz jej oddawania do sieci najczęściej mierzy dwubiegunowy licznik energii elektrycznej.

Falownik w systemie podłączonym do sieci elektroenergetycznej przekształca napięcie stałe na zmienne jedno- lub trójfazowe o wartości i częstotliwości odpowiedniej dla danej sieci. Inwerter jest bardzo ważnym elementem systemu fotowoltaicznego, dlatego powinien być także wyposażony w zabezpieczenie

przeciw podłączeniu z odwrotną polaryzacją po stronie DC oraz przeciw zwarceniu po stronie AC.



Rys. 4. Schemat systemu samodzielnego (on-grid)
 Źródło: http://suntherm.pl/oferta/systemy_fotowoltaiczne/

6. Rola i funkcje Lokalnego Centrum Sterowania w prowadzeniu ruchu pociągów

Lokalne Centrum Sterowania pełni rolę nastawni, która pozwala na zdalne sterowanie ruchem kolejowym na wydzielonym odcinku z jednej nastawni w obszarze kilku posterunków. Lokalne Centra Sterowania buduje się na podstawie założeń, na które składają się z następujące elementy:

- wielkość danego obszaru,
- ilość posterunków wchodzących w skład LCS,
- rodzaj oraz poziom techniczny i technologiczny urządzeń łączności i elektroenergetyki,
- ilość urządzeń przytorowych, liczników osi itp.,
- studium wykonalności,
- urządzeń do oświetlania stacji i przystanków osobowych,
- urządzeń wizualizacji informacji dla podróżnych.

LCS daje możliwości stałego kontrolowania ruchu pociągów w rzeczywistym czasie z jednego miejsca (nastawni obszarowej), które może znajdować się w dowolnym miejscu odpowiednim dla danego okręgu sterowania lub poza nim - w Centrum Obszarowym.

7. Lokalne Centra Sterowania ruchem kolejowym w Polsce

W ostatnim czasie można zaobserwować w polskim sektorze kolejowym nie-spotykaną do tej pory liczbę projektowanych oraz budowanych obiektów. Jedną z nich to Lokalne Centra Sterowania ruchem kolejowym. Wiąże się to z objęciem linii „korytarzowych” programem kompleksowej modernizacji, dla których w Narodowym Planie Wdrożenia Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym przewidziano wprowadzenie w polskich liniach kolejowych systemu ERTMS/ETCS.

Lokalne Centra Sterowania można podzielić na liniowe oraz stacyjne. Te pierwsze przeznaczone są dla konkretnego odcinka linii, z kolei stacyjne obejmują jedną lub więcej stacji oraz posterunków.

Liniowe Lokalne Centra Sterowania budowane są przy odpowiednich założeniach. Muszą składać się z minimum trzech posterunków ruchu takich, jak:

- stacje,
- posterunki odgałęźne,
- posterunki bocznikowe.

Zdalne sterowanie w LCS-ach polega na sterowaniu oraz nadzorowaniu z pewnych odległości urządzeń dla sterowania ruchem kolejowym, które znajdują się na szlakach oraz na posterunkach danego obszaru.

LCS-y realizują takie funkcje jak: nastawianie przebiegów, rejestracja oraz archiwizacja ruchu, a budowane na nich urządzenia uwzględniają sterowanie ruchem pociągów na posterunkach odgałęźnych oraz na małych, średnich i dużych stacjach. Daje to bardzo duże możliwości i pozwala na to, iż dyżurny może się znajdować nawet kilkadziesiąt kilometrów od sterowanego urządzenia. Cały ruch pociągów wraz z obsługą urządzeń dla sterowania ruchem kolejowym prowadzi się z dwóch równorzędnych stanowisk dyżurnego ruchu odcinkowego. Wyświetlane są wtedy równolegle komunikaty zawierające bieżące informacje na temat stanu zdalnie sterowanych obiektów oraz wyświetlane są komunikaty o błędach oraz alarmach.

W tabeli 1 zamieszczono wykaz istniejących, budowanych oraz projektowanych aktualnie w Polsce LCS-ów.

Tabela 1. Centra sterowania liniowe i węzłowe

Lp.	Nastawnia centralna	Status	Długość odcinka [km]	Typ urządzeń	Nr linii	Stacje (posterunki) sterowane
1.	Blonie „Bl”	czynna	66	Ebilock + WSKR-2	3	Warszawa Włochy, Warszawa Gołębki, Ożarów Mazowiecki, Płochocin Polmos, Teresin Niepokalanów, Sochaczew
2.	Bolesławiec „Bc”	czynna	61	Ebilock 950	282	Miłkowice, Chojnów, Okmiany, Bolesławiec, Zebrzydowa
3	Bogdanka „Bg”	czynna	25	MOR-2zs		Bogdanka, Zawada

3.	Ciechanów „Ch”	w budowie	76	b.d.	9	Świercze, Gąsocin, Konopki, Mława
4.	Drzewica „Dl”	czynna	51	MOR-2zs	22	Brzustów, Dęba Opoczyńska, Zapowiedź, Radzice
5.	Działdowo „Dz”	w budowie	53	b.d.	9	Iłowo, Gralewo, Rybno Pomorskie
6.	Gdańsk Główny „G”	w budowie	32	b.d.	9 202	Pruszcz Gdański, Gdańsk Południowy, Gdańsk Wrzeszcz
7.	Gdynia Główna „GO”	w budowie	27	Ebilock 950	202	Sopot, Gdynia Orłowo, Gdynia Chylonia
8.	Gdynia Główna „GG-SKM”	czynna	26	WT-UZ	250	Gdańsk Główny, Gdańsk Wrzeszcz, Gdańsk Oliwa, Sopot, Gdynia Orłowo
9.	Iława Główna „Il”	w budowie	69	b.d.	9	Montowo, Zajączkowo Lubawskie, Rakowice, Redaki, Susz
10.	Kalisz Pomorski „Ka”	czynna	57	ZBS 2000	403	Cybowo WBK 822, Prostynia, Recz Pomorski, Tarnowo Pomorskie
11.	Kolbuszowa „Kb”	czynna	54	MOR-3	71	Widelka ORLEN Głogów Małopolski
12.	Koluszki „Kl”	czynna	31	Ebilock 950	1 17	Gałkówkę, Łódź Andrzejów, Żakowice Południowe
13.	Komorów „Km”	czynna	32	BUSZ	47	Warszawa Śródmieście WKD, Podkowa Leśna Główna, Grodzisk Mazowiecki Radońska
14.	Kraków Mydlniki „Md”	czynna	5	OSA-H	118	Kraków PKN Orlen
15.	Krosno Odrzańskie „KO”	czynna	45	ZBS 2000	358	Ciemnice, Wężyska
16.	Malbork „Mb”	w budowie	64	b.d.	9	Prabuty, Mleczewo, Szymankowo
19.	Mińsk Mazowiecki „MMz”	czynna	81	Ebilock 950	2	Sulejówek Miłosna, Mienia, Mrozy, Kotuń
20.	Nasielsk „Ns”	w budowie	55	Ebilock 950	9	Legionowo, Chotomów, Nowy Dwór Mazowiecki, Modlin
21.	Oleśnica „Ol”	czynna	-	Ebilock 950	143 281	Dąbrowa Oleśnicka, Łukanów
22.	Opalenica „Oa”	czynna	70	ESTW L90	3	Pałędzie, Buk, Opalenica, Porążyn, Nowy Tomysł, Chrośnica
23.	Opole „Oz”	czynna	82	Ebilock 950	132	Opole Zachodnie, Dąbrowa Niemodlińska, Lewin Brzeski, Brzeg, Oława, Święta Katarzyna, Wrocław Brochów (podg)
24.	Poznań Główny „POA”	czynna	37	ESTW L90	3	Swarzędz, Poznań Antoninek, Poznań Wschód, Poznań Garbary, Poznań Górczyn
25.	Tczew „Tw”	w budowie	31	Ebilock	9	Pszczółki

26.	Tuchów „Tu”	w budowie	21	b.d.	96	Łowczów, Siedliska koło Tuchowa
27.	Wągrowiec „Wg”	w budowie	51	b.d.	356	Czerwonak Sława Wielkopolska.
28.	Węgliniec „Wg”	czynna	40	Ebilock 950	278 295	Pieńsk, Pieńsk POZBRUK, Jędrzychowice, Zgorzelec, Bielawa Dolna
29.	Władysławowo „W”	czynna	61	WSKR	213	Mrzezino, Puck, Kuźnica (Hel), Jastarnia
30.	Wola Rzędzińska „WR”	czynna	33	WSKR	91	Tarnów Wschodni, Czarna Tarnowska, Grabiny
31.	Żywiec „Ze”	czynna	37	SIMIS-W	139	Bielsko Biała Lipnik, Bielsko Biała Leszczyny, Wilkowice Bystra, Łodygowice, Węgierska Góra

Źródło: Opracowanie własne na podstawie www.semaphorek.kolej.org.pl

8. Zakończenie

W Polsce niewiele inwestycji prowadzonych jest z wykorzystaniem ogniw fotowoltaicznych. Spowodowane jest to głównie tym, iż systemy te są stosunkowo drogie i dlatego mało powszechne, dodatkowo obawa o zwrot kosztów często skutkuje wycofaniem się z zamierzonej realizacji.

W krajach zachodniej Europy, gdzie przemysł oraz transport są dużo bardziej rozwinięte, obserwujemy, że wdrażanie nowoczesnych systemów oraz technologii jest jednym z głównych czynników szybkiego wzrostu gospodarczego i przemysłowego.

Wykonanie Lokalnego Centrum Sterowania w połączeniu z nowoczesnymi rozwiązaniami instalacyjnymi dostępnymi na rynku, likwidacja starych, niepotrzebnych budynków, a także zastosowanie systemu ogniw fotowoltaicznych jako nowoczesnych rozwiązań branży instalacyjno-budowlanej nie tylko mogłaby obniżyć koszty związane z utrzymaniem budynków, opłatami za energię elektryczną, ale także (dzięki możliwości sprzedaży energii do zarządcy sieci energetycznej), zostać wykorzystane jako dodatkowe źródło przychodów.

Bibliografia

- [1] Klugmann-Radziemska E., Fotowoltaika w teorii i praktyce.
- [2] Szymański B., Instalacje Fotowoltaiczne, Kraków 2013.
- [3] PKP PLK S.A., Studium wykonalności – dokumentacja przedprojektowa: Modernizacja linii kolejowej E65- Południe odcinek Grodzisk Mazowiecki – Kraków/ Katowice-Zwardoń/ Zebrzydowice – granica państwa, Warszawa, 2011.

- [4] Aksiuto U., Chrzan M i Kornaszewski M., Rola i funkcje Lokalnego Centrum Sterowania w prowadzeniu ruchu pociągów. Logistyka, 3/2011.
- [5] <http://www.semaforek.kolej.org>.
- [6] <http://www.fotopolska.eu>.
- [7] <http://www.kolej.of.pl>.
- [8] <http://www.transportszynowy.pl>.
- [9] <http://www.europe-solarproduction.com/pl>.
- [10] <http://www.fotowoltaika.net>.
- [11] <http://www.fotowoltaikainfo.pl>.

